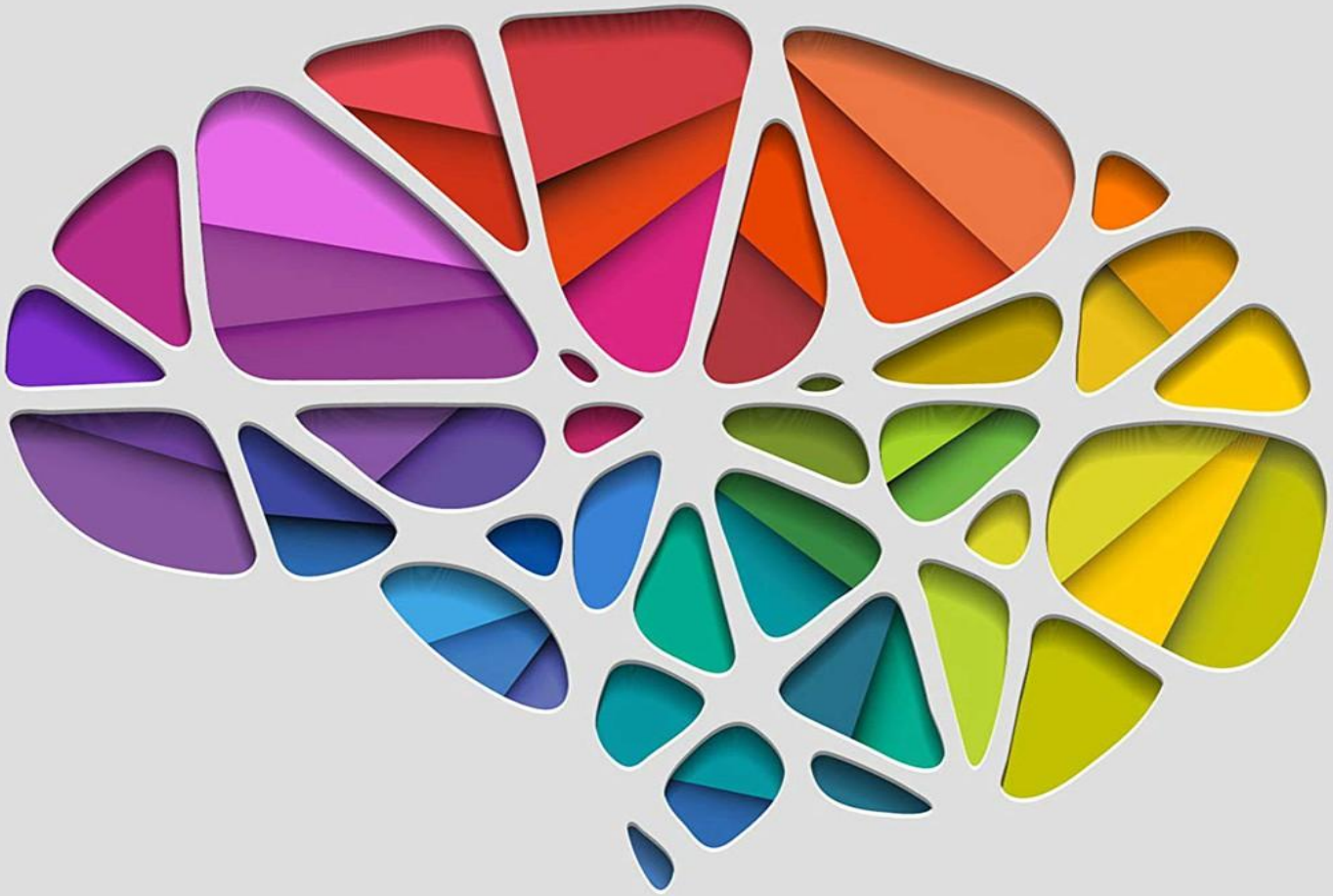
ELKHONON GOLDBERG



Creatividad

El cerebro humano en la era de la innovación

¿Cuáles son los procesos cerebrales detrás de la creatividad humana? ¿Cuáles son sus raíces evolutivas? ¿Cómo ayuda la cultura a moldear la creatividad individual? *Creatividad* es el primer libro que aborda estas y otras preguntas de una manera rigurosa y atractiva: Goldberg, neurocientífico y neuropsicólogo, se basa en los últimos descubrimientos de la investigación del cerebro y en sus propios puntos de vista para unificar historia, cultura y evolución hasta llegar a una original y a veces provocativa comprensión de la naturaleza de la creatividad humana. Los orígenes del lenguaje, la naturaleza de varios trastornos neurológicos, la cognición animal, la realidad virtual e incluso la inteligencia artificial aparecen en esta obra que viaja desde la antigüedad hasta el futuro y desde Europa occidental hasta el sudeste asiático.

Elkhonon Goldberg

Creatividad. El cerebro humano en la era de la innovación

ePub r1.0
diegoan 02.02.2020

Título original: *Creativity: The Human Brain in the Age of Innovation*
Elkhonon Goldberg, 2018
Traducción: Joan Lluís Riera Rey

Editor digital: diegoan
ePub base r2.1

Índice de contenido

Cubierta

Creatividad. El cerebro humano en la era de la innovación

Prefacio a la edición española

Introducción

Agradecimientos

1. La era de la novedad
- El equilibrio con interrupciones en la historia
- Muchos tipos de revolución
- Cultura y estilos cognitivos
- Cómo se fusionan las realidades
- El cerebro humano en la nueva era

2. La neuromitología de la creatividad
- De neurohuérfanos a neuromodas
- «Mala e inútil»
- La deconstrucción de la innovación y la creatividad
- Creatividades múltiples

3. El cerebro conservador
- Cómo sabemos lo que sabemos
- El mapeo del mundo en el cerebro
  - Agnosias y hemisferio izquierdo
  - La cuestión del diseño del cerebro
  - Agnosias y hemisferio derecho
  - «¡Tú no eres tú!»
- Cómo encontró su asiento el lenguaje
  - Palabras y patrones
  - Más sobre el diseño del cerebro
  - ¿Qué fue primero?
- «Gradientes isomórficos»
- ¿El lado positivo de la demencia?

4. La sirena y el maestro de Lego®
- ¿Cómo nace una nueva idea?
  - Imaginando el futuro
  - Manipulación del cerebro (aunque no lo que uno podría pensar)
  - Generatividad del lenguaje y lóbulos frontales

- El ensamblaje de lo nuevo a partir de lo viejo
- La mecánica tras la metáfora: la visión macro
  - Redes «canónicas»
  - Red ejecutiva central (REC)
  - Red neuronal por defecto (RND)
  - Red de relevancia (RR)
- El enigma de la memoria de trabajo
  - Cómo comenzó todo
  - Memoria de trabajo y memoria a largo plazo
  - Conocimiento a largo plazo y lóbulos frontales
- Fantasmas en el cerebro: la visión micro
  - Conectividad dinámica de redes
  - Demos entrada a los «FROP»
  - La caja de Pandora de la consciencia, reabierta
  - Cómo se crea una sirena

5. ¡Todo tiene que ver con la relevancia!

- El circuito de la relevancia
- Relevancia por defecto
- Relevancia, dopamina y excitación frontal (o falta de ella)
  - Señalización de la relevancia
  - Más sobre la dopamina
- Relevancia diluida
  - Incapaz de olvidar: la maldición de la memoria indeleble
- Recuerdos y relevancia
- Relevancia secuestrada

6. El cerebro innovador

- El desafío de la novedad
- Los hemisferios, mal entendidos
- La novedad y la rutina
- Cableado para la novedad
- Movido por la novedad
- Novedad en exceso

7. La divagación dirigida y la inefable

- No es ninguna monería
- Los lóbulos frontales extremos
  - Biestabilidad
  - Hiperfrontalidad e hipofrontalidad
  - Hipofrontalidad: trance profundo en Indonesia
  - Hiperfrontalidad: a punto de ahogarme en Italia
  - Biestabilidad dorsolateral: inspiración y perspiración
- El maestro de Lego® en acción: la perspiración creativa
  - El maestro de Lego® en reposo: ¿inspiración creativa? Todavía no
  - El mundo pequeño del cerebro
- Divagación mental dirigida: la chispa creativa
- Iteración y selección

8. ¿Son creativos los babuinos?

La novedad en la evolución
- La creatividad en otras especies
- La lateralización en otras especies

Desarrollo humano y creatividad animal
- Desarrollo próximo
- El legado que Vygotski no planeó

9. La mente creativa

Unas pocas y dignas proezas
¿Conformarse o no conformarse?
- El doble filo del conformismo
- Conformismo y cerebro

La teoría de la mente como arma de doble filo
Creatividad e inteligencia
Unos pocos test que merecen la pena
¿Hasta qué punto es mala la locura?
- Creatividad y trastornos psiquiátricos
- «Hiper» e «hipo» en la creatividad y la demencia

Creación de mentes

10. El cerebro creativo

Unos pocos cerebros realmente buenos
- El genio
- El revolucionario
- El impostor

La conectividad de la creatividad
La vida en un mundo pequeño
Las ventajas de llevar envoltorio
Las ventajas de no llevar envoltorio
¿De verdad hay «genes de la creatividad»?

Epílogo: ¿Y ahora qué?

Un resumen y una mirada hacia el futuro
Consumir innovación
- «La parte del consumidor»
- El envejecimiento cerebral y el fin del piloto automático
- La vida en un multiverso

Crear innovación
- Mentes en contexto
- Espíritus creativos en la isla de los dioses y otros lugares
- Potencia cerebral distribuida
- El cerebro digital

Sobre el autor

Notas

Dedico este libro a las mentes creativas anónimas
que se adelantaron tanto a su tiempo
que pasaron desapercibidas.
Quede aquí reconocido su valiente espíritu.

Prefacio a la edición española

España y creatividad son para mí sinónimos. Mi sala de estar está adornada con reproducciones de Dalí, Goya y Miró. Mi pequeña bodega está repleta de vinos Rioja, Priorat y Toro. Mi disciplina, la neurociencia, fue fundada por Santiago Ramón y Cajal. El Museo Picasso en el Barri Gòtic y la Fundació Joan Miró en Montjuïc se cuentan entre mis museos favoritos. ABaC es uno de mis restaurantes predilectos y el Hotel Arts uno de mis hoteles preferidos. El lector habrá adivinado ya que el lugar donde se encuentran estos variados tesoros artísticos, Barcelona, es una de mis ciudades predilectas.

Barcelona es también el hogar de un tesoro más, la editorial Crítica, mis editores en España. *Creatividad* es mi tercer libro con Crítica. Los dos anteriores, *El cerebro ejecutivo* y *La paradoja de la sabiduría* (de los cuales escribí algunas partes en un ordenador de bolsillo en la playa de la Barceloneta, a un paso del hotel Arts), fueron publicados y promocionados por Crítica con gran eficiencia y estilo, lo que me brindó la genial oportunidad de interactuar con mis lectores españoles.

La magia de la creatividad ha sido objeto de intensa curiosidad durante décadas, incluso siglos. Algunas de las personas más creativas de la historia de la humanidad, como Mozart o Einstein, intentaron desvelar sus secretos mediante la introspección. Pero no ha sido hasta tiempos mucho más recientes, hace apenas unas décadas, cuando los científicos comenzaron a abordar la creatividad como objeto de investigación rigurosa, y aún nos queda mucho por hacer para comprender la magia de la creatividad y desmitificarla. No obstante, es mucho lo que ya hemos

aprendido, y en este libro he intentado dar sentido a algunos de esos descubrimientos.

A medida que aumenta nuestro conocimiento de la neurobiología, crece también nuestra comprensión de la maquinaria cerebral de la creatividad. ¿Hay una única sede de la creatividad en el cerebro, o es la creatividad el resultado de complejas interacciones entre muchas estructuras y sistemas bioquímicos? ¿Existen biomarcadores claros de la creatividad? ¿Hay un gen, o varios genes, de la creatividad? ¿Qué relación existe entre creatividad y demencia? ¿Y entre creatividad y envejecimiento? Cada vez estamos mejor preparados para abordar estas preguntas.

La mayor parte de la investigación sobre la creatividad se ha centrado o bien en sus mecanismos cerebrales, o bien en los factores sociales y culturales que la afectan. Sin embargo, la mente y el cerebro humano son el resultado de interacciones complejas entre la biología y la sociedad. En este libro he intentado entretejer estos dos enfoques que en el pasado se han practicado de forma independiente, y he tratado asimismo de abordar de manera directa la interacción entre factores biológicos y culturales en el auge de la creatividad humana.

Nuestra época invita a formular toda una serie de preguntas peculiares sobre la naturaleza y las implicaciones de la creatividad humana que hace tan solo unas pocas generaciones ni siquiera se habrían planteado. La creatividad siempre ha sido el motor de la civilización humana, pero en la actualidad su importancia posiblemente sea mayor que en ningún otro momento de la historia. La innovación se introduce en la sociedad a un ritmo sin precedentes en las generaciones anteriores. ¿Representa la innovación el rechazo del conocimiento anterior, o se erige sobre este? La respuesta probablemente sea que ambos. A los visitantes del Museo Picasso en el Barri Gòtic posiblemente les sorprenda descubrir que el gran iconoclasta tenía un dominio exquisito de la pintura realista tradicional, que había adquirido antes de embarcarse en su audaz experimentación artística. ¿Habría florecido el genio de Picasso de no haber estado arraigado en las tradiciones artísticas que lo precedieron? Una pregunta interesante cuya respuesta, probablemente,

sea que no. La relación entre lo viejo y lo nuevo es fascinante y distinta en distintos momentos de la historia. En la actualidad, el cociente entre lo nuevo y lo viejo es más alto que nunca.

Las definiciones más habituales de la creatividad tienen en cuenta tanto la novedad como la importancia, pero el destino de toda innovación, el veredicto sobre qué es importante y qué no lo es, lo da la sociedad. ¿De qué modo afecta al consumidor de los productos de la creatividad el ritmo exponencial con el que se inyecta la novedad en la sociedad? Para comprender la naturaleza de la creatividad es necesario examinar las dos caras de la relación entre la innovación y la respuesta que le da la sociedad, que puede adoptarla, rechazarla o ignorarla y condenarla al olvido. Irónicamente, una innovación pionera que se adelante demasiado a su tiempo también corre el riesgo de ser ignorada, y es por ello que he dedicado este libro a «las mentes creativas anónimas que se adelantaron tanto a su tiempo que pasaron desapercibidas».

El ritmo sin precedentes con el que se introducen productos creativos en la sociedad está plagado de desafíos singulares, pero también de oportunidades únicas para toda la población. Ya no es posible pasarse la vida tirando de un corpus de conocimientos y habilidades adquiridos en la juventud, una tendencia que califico como «el fin del piloto automático mental». Por otro lado, la constante exposición a la novedad y la obligación de dominar los productos innovadores introducidos en la sociedad a un ritmo cada vez más acelerado pueden conllevar algunos beneficios inesperados. En contra de las predicciones apocalípticas de unas tasas de demencia que desbordarían la sociedad, la incidencia de la demencia está disminuyendo y la edad a la que aparece se está retrasando en Europa y Norteamérica. Las razones de que sea así aún no las entendemos bien, pero los avances en la medicina no pueden explicar del todo este saludable fenómeno. ¿Es posible que no disponer de la comodidad del piloto automático mental sea en realidad bueno para el cerebro, y que la constante exposición a la novedad confiera cierto grado de protección frente a las demencias al poner en marcha los efectos protectores de la neuroplasticidad?

Son muchas más las preguntas enigmáticas que he intentado abordar. He aquí unas cuantas:

La llegada de la inteligencia artificial constituye un desarrollo especialmente fascinante y de gran consecuencia en la era de la novedad, y nos obliga a redefinir la creatividad. ¿Es esta un don exclusivamente humano, o hay otros agentes potencialmente capaces de desarrollar creatividad? De ser así, ¿se cuentan las máquinas inteligentes entre esos agentes?

En el pasado, la creatividad se asociaba con un genio individual y a menudo solitario, pero en la actualidad el progreso tecnológico y científico se debe al trabajo de equipos. A medida que aprendamos más sobre el cerebro y sobre las diferencias individuales entre cerebros humanos, ¿qué implicaciones tendrán esas diferencias individuales en la creatividad? ¿Cómo podremos usar ese conocimiento para definir la composición de equipos creativos eficaces? ¿Habrá equipos creativos híbridos, formados por humanos y agentes de inteligencia artificial?

Nos guste o no, nuestro mundo está cada vez más globalizado, y eso da lugar a una mezcla cada vez mayor de culturas e historias personales de todo tipo. ¿Es distinta la creatividad de las diversas culturas o vivencias personales que conforman el mundo? y ¿afecta eso a la sociedad en general?

Espero que mi nuevo libro sobre la creatividad resulte interesante en un país conocido por su creatividad, y que dé pie a interesantes conversaciones y discusiones, en las que espero participar.

ELKHONON GOLDBERG
Nueva York, 2018

Introducción

¿Qué hace un envejecido neuropsicólogo escribiendo un libro sobre la creatividad, que es potestad de los jóvenes y valerosos? Durante toda mi vida profesional, uno de mis intereses ha sido el de comprender cómo afronta el cerebro la novedad y la toma de decisiones complejas, y no puede atribuirse enteramente a mi persona que todo eso evolucionase hacia un interés por la creatividad. A lo largo de los años, cada vez que en una conversación se hablaba sobre la novedad cognitiva alguien me preguntaba por la creatividad, con frecuencia colegas, pero casi siempre personas cultivadas. No era mucho lo que podía decir, aparte de expresar mi escepticismo general acerca de que la creatividad pueda entenderse como un rasgo monolítico, vinculado a un conjunto pequeño de estructuras neuronales, o que pueda comprenderse en términos estrictamente biológicos. Ocasionalmente les hacía partícipes de lo poco que, en términos generales, me convencían los test de «creatividad» que se utilizan en los laboratorios y que en alguna ocasión me habían solicitado que realizara; estos siempre me habían parecido limitados y de dudosa relevancia para la creatividad en la vida real, al menos desde la perspectiva del sujeto. Me parecía también que las interminables deliberaciones sobre la relación entre «creatividad» e «inteligencia» no derivarían en ninguna conclusión satisfactoria mientras cualquiera de estos dos constructos careciera de una definición coherente. Sin embargo, me daba buena cuenta de cómo, de manera natural, el discurso sobre la novedad se transformaba en un discurso sobre la creatividad. Al estar familiarizado (aunque entonces aún no demasiado) con la investigación sobre la creatividad, sabía que las estructuras implicadas en

la novedad cognitiva, que había estudiado y sobre las cuales había escrito en abundancia, a saber, la corteza prefrontal y el hemisferio derecho, se habían vinculado a menudo con la creatividad, tanto en la literatura científica como en la prensa más popular. También estaba claro que la capacidad de innovación solo es una parte de la historia de la creatividad, pues también hay que contemplar el contexto cultural y la relevancia social. Todo ello apuntaba a la necesidad de una convergencia entre la perspectiva neurocientífica y la de las ciencias sociales o las humanidades, una convergencia que siempre me ha resultado atractiva por razones intelectuales, pero también por temperamento. Introducía así en el discurso la relación entre las dos caras del proceso de innovación: su generación por parte de individuos o equipos creativos, y su recepción y aceptación (o rechazo) por parte del consumidor, el público en general, algo que de algún modo era afín a lo que Eric Kandel llamaba «la parte del espectador» en su discurso sobre las artes visuales.

El abanico de enfoques con influencia en la investigación sobre la creatividad parecía quedar definido por dos polos: en un extremo, una perspectiva cultural/humanitaria elocuentemente representada por los escritos de Mihaly Csikszentmihalyi; en el otro, estudios neurocientíficos en los que el rendimiento en tareas de «pensamiento divergente» se combinaba con diversas técnicas genéticas, bioquímicas y de neuroimagen. Sin embargo, estos dos discursos a menudo se desarrollaban en paralelo, no de forma concertada. Aunque era evidente que había que integrar ambas perspectivas, la neurocientífica y la cultural, en un discurso coherente que permitiera comprender la innovación y la creatividad, esa integración se presentaba como una tarea larga y abrumadora. Pero era un reto que merecía la pena afrontar. O al menos intentarlo.

Había también un sentido casi estético de la simetría que reclamaba ser satisfecho. Creatividad y sabiduría suelen verse como dos pilares que sustentan un mismo arco tendido sobre la esencia de una vida plena de sentido para una mente productiva. En un libro anterior, *La paradoja de la sabiduría*, examiné uno de esos pilares desde una perspectiva neurocientífica, pero el proyecto me parecía incompleto si no abordaba

el otro. La idea de escribir un libro sobre la novedad cognitiva llevaba algún tiempo dándome vueltas por la cabeza, y a medida que fueron evolucionando mis ideas sobre el futuro libro, el tema de la creatividad fue adquiriendo mayor presencia en escena. El libro que el lector tiene en sus manos es el producto de esa evolución, y entrelaza vigorosamente los temas de la novedad y la creatividad. Mientras trabajaba en él, hice un serio esfuerzo por familiarizarme con la literatura de la «investigación sobre la creatividad», pero al mismo tiempo, y de forma intencionada, la mantuve a cierta distancia y me dejé guiar sobre todo por mi propia comprensión de cómo funciona o deja de funcionar el cerebro, con la esperanza de que ese equilibrio fomentara una perspectiva original.

Como ocurre con mis libros anteriores, también este es, en cierto modo, un caballo de Troya (el caballo es uno de mis animales favoritos, solo por detrás de mis perros). Es el vehículo que me permite abordar un abanico más amplio de temas relacionados con la mente y el cerebro que trascienden el enfoque más específico de la novedad/creatividad. Al escribir el libro, he intentado que resultase de interés tanto para mis colegas científicos y clínicos como para el público culto en general, algo que, de manera inevitable, me ha llevado a entretejer unos discursos más generales con otros más técnicos, espero que con un razonable equilibrio entre ambos.

Escribo esta introducción cuando el resto del libro ya está escrito. Acabar un libro suele producirme emociones ambivalentes. Junto a la sensación de realización hay una de pérdida, pues es el fin de un viaje profundamente personal. O al menos así me ocurrió con mis libros anteriores; este, en cambio, ha resultado ser distinto porque ha avivado mi sentido de las direcciones que puede tomar mi propio trabajo en el futuro. El empeño por comprender la creatividad y la innovación mediante la convergencia de las perspectivas biológica y cultural es una empresa relativamente nueva, y tal vez por ello preñada de posibilidades, ideas e hipótesis provocadoras que podrían promover una investigación original e innovadora (la elección de palabra es intencional) en varias direcciones todavía no exploradas. Algunas de esas ideas y nuevas direcciones se presentan en este mismo libro. Además de intentar arrojar

luz sobre la naturaleza de la creatividad humana (y no solo humana), estas ideas buscan progresar en nuestra comprensión de cómo se representa el conocimiento en el cerebro, de las raíces evolutivas del lenguaje, de la tan en boga como poco comprendida «memoria de trabajo», de cómo las dos mitades del cerebro son distintas pero están aunadas en los humanos y otras especies, y de la naturaleza de la inteligencia humana. También pretenden pulir o incluso cambiar nuestra comprensión de ciertos trastornos neurológicos, establecer la necesidad de investigar la creatividad y, en términos más generales, la neurociencia cognitiva, en contextos culturales diversos y no solo en las sociedades occidentales, e incluso introducir algunas ideas potencialmente útiles para los diseños de inteligencia artificial. Aunque algunas de estas ideas o hipótesis resulten ser erróneas o desencaminadas (un riesgo que todo aquel que aspire a ser creativo debe estar dispuesto a correr), otras no lo serán. Espero que a los lectores del público general les resulten interesantes y motivadoras, y a los científicos merecedoras de atención en sus futuras investigaciones. Entre esos científicos, sin duda, me cuento a mí mismo.

ELKHONON GOLDBERG
Nueva York, 2017

Agradecimientos

Son varias las personas que de un modo u otro han hecho posible este libro. Mis agentes, Michelle Tessler y Michael Carlisle, me ofrecieron un aliento inestimable en los inicios del proyecto. Mi editor, Craig Panner, me ha guiado de forma convincente, benévola pero firme, durante todo el proceso de escritura. La asistente editorial Emily Samulski me he proporcionado una ayuda excelente en cada paso del proyecto. Richard Gallini realizó las ilustraciones con paciencia y precisión. Daniel Feldman ayudó con las búsquedas de literatura técnica y las notas de los capítulos. Anton Shaporalov diseñó las imágenes de red aleatoria y de mundo pequeño. Ida Bagus Yogi Iswara Bawa grabó el vídeo de la danza Sanghyang Jaran en la isla de Bali. Dmitri Bougakov, Bienvenido Nebres, Harry Ballan, Igor Glavatski y Luz Casimiro-Querubin me han ofrecido comentarios de inestimable valor sobre varios aspectos del manuscrito. Mi viejo *bullmastiff*, Brit, y mi nuevo cachorro de mastín inglés, Brutus, me han acompañado en varias fases de la redacción de esta obra con incondicional devoción y alegre ánimo. Vaya a todos ellos mi más sincera gratitud. Este es mi cuarto libro con Oxford University Press, una fructífera asociación con la que me siento agradecido.

1

La era de la novedad

En el antiguo Egipto, la vida apenas cambió entre la era de la Gran Pirámide de Guiza y la de Ramsés el Grande, un intervalo de unos 1300 años. Ese es aproximadamente el mismo tiempo transcurrido desde el Imperio romano, pasando por el descenso de Europa a la oscura Edad Media, hasta los albores de la revolución industrial, una época de inmensa transición. En nuestros tiempos, buena parte del conocimiento adquirido en la universidad diez años atrás ya ha quedado obsoleta. Si atendemos a la ley de los rendimientos acelerados de Ray Kurzweil, la tasa de crecimiento de la tecnología de la información, y por extensión la acumulación de conocimiento en general, es exponencial (figura 1.1)[1]. De modo parecido, la «ley de Moore» y otras estimaciones predicen que el progreso científico y tecnológico avanzarán a una velocidad cada vez más vertiginosa[2]. Como individuos y como sociedad, nos enfrentamos a la novedad a un ritmo acelerado. Esta progresión cuantitativa nos empuja a un profundo cambio cualitativo. Hace tan solo dos generaciones, las habilidades cognitivas adquiridas en la juventud servían para toda la vida; hoy, un octogenario que utiliza sin problemas un iPhone de Apple o una tableta de Samsung es obvio que no se apoya en nada que haya aprendido en su juventud. Este cambio de paradigma en la sociedad es tan generalizado que a menudo ni lo notamos, pero está presente.

En este contexto, entender cómo se enfrenta el cerebro humano a la novedad adquiere una extraordinaria importancia. Naturalmente, la

mayoría de nosotros no compartimos un interés intrínseco por la ciencia o la tecnología, pero como consumidores de tecnología habitaremos en un mundo en el cual el mañana será irreconocible desde el hoy, y en el que, nos guste o no, nuestro cerebro se verá cada vez más desafiado por la novedad.

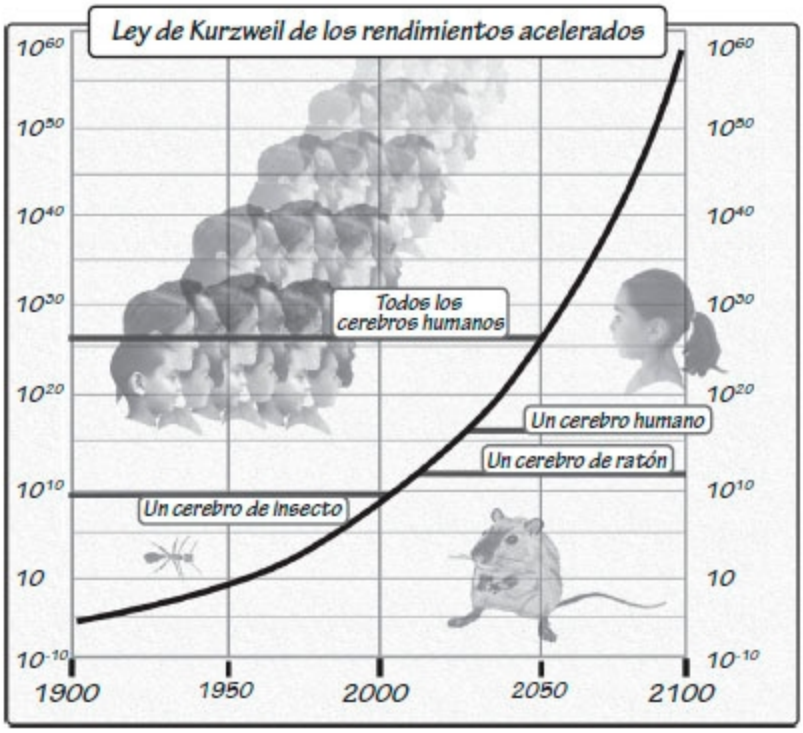


Figura 1.1. Ley de Kurzweil de los rendimientos acelerados. En el eje X, año. En el eje Y, cálculos por segundo por 1000 dólares.

En una sociedad informacionalmente estancada, en la que el cambio ocurría a un ritmo glacial, las personas inmersas en procesos creativos eran relativamente pocas; para la mayor parte de la sociedad, la vida se desarrollaba de acuerdo con unas rutinas que, una vez adquiridas, se podían seguir sin demasiados cambios durante el resto de la vida. Pero en una sociedad en la que el conocimiento y las habilidades se tornan obsoletas antes incluso de convertirse en rutina, prácticamente todos los miembros de la sociedad pasan a formar parte del proceso creativo, quizá no generando nuevas ideas, pero sí aprendiendo e incorporando a sus

vidas esas nuevas ideas, conceptos y habilidades. ¿Requiere esta tendencia que, en una sociedad que se mueve por la novedad, utilicemos de forma distinta nuestros recursos neurales, nuestra capacidad cerebral? ¿Cambiará nuestro cerebro de un modo distinto a medida que envejece? Yo sostengo que la respuesta a ambas preguntas es que probablemente así ocurra.

EL EQUILIBRIO CON INTERRUPCIONES EN LA HISTORIA

La historia de nuestra civilización está marcada por una acumulación progresiva de información, ideas y tecnologías. Sin embargo, este proceso nunca ha sido ni simple ni fácil. De acuerdo con la teoría de la evolución por «equilibrio con interrupciones»[*] de Niles Eldredge y Stephen Jay Gould, la evolución biológica no es un proceso suave o gradual, sino empujado por momentos de cambio rápido intercalados por períodos de relativa estasis[3]. En su libro *The Great and Holy War* [La gran y santa guerra] el historiador Philip Jenkins propone que lo mismo puede decirse de la evolución cultural[4]. En efecto, desde la misteriosa explosión de la expresión artística hace unos 30 000 años, en algún lugar en la frontera entre la evolución biológica y la cultura, la acumulación de conocimiento e ideas ha progresado a trompicones. El período de 2700-2500 AEC en el antiguo Egipto fue una época de gran efervescencia, la era de Imhotep, el primer gran polímata de la historia, y de las grandes pirámides. Le siguieron muchos siglos de relativa estasis cultural dominada por la tradición y la imitación. Lo mismo puede decirse de Mesopotamia, para muchos la cuna de la civilización occidental, donde el fermento cultural durante el tercer milenio AEC fue seguido por una larga sucesión de sociedades imitadoras. En la antigua Grecia, a las explosiones culturales de las civilizaciones minoica y, más tarde, micénica, en el segundo milenio AEC, les sucedió la Edad Oscura de Grecia, y a esta un periodo de relativa estasis antes del resurgir del siglo VIII AEC, que culminaría con el esplendor creativo del período clásico durante el siglo V AEC, el siglo de Pericles. A la sofisticación cultural de la Pax Romana bajo el emperador Augusto, a principios del

primer milenio AD, le siguió en Europa la Edad Oscura hasta que por fin el Renacimiento desató en el continente una nueva explosión de radical innovación. El efecto acumulado de estos picos culturales ha desembocado en una acumulación de conocimiento sin precedentes. En contra de su significado popular, el «hombre (o la mujer) renacentista» probablemente fuera el primer humano de la historia incapaz de aprehender el conocimiento esencial de su época en su totalidad, o siquiera en su mayor parte. El vertiginoso ritmo con el que se acumula y disemina el conocimiento es excitante e inspirador, pero tiene un precio, la fragmentación del conocimiento, que en su extremo se califica a veces de «balcanización». Esta expresión se describe en la Wikipedia como «término geopolítico utilizado en su origen para describir el proceso de fragmentación o división de una región o Estado en regiones o estados más pequeños, a menudo hostiles o poco cooperativos [...] El término se usa también para describir otras formas de desintegración. [...] Para algunos es peyorativo». Me incluyo entre estos últimos. Sospecho que es un problema en casi todas las disciplinas; sin duda lo es en la mía, la neuropsicología y la neurociencia. Más adelante, en este mismo libro, veremos varios ejemplos de sus efectos retardadores sobre la neuropsicología y la neurociencia, así como de los intentos por revertir sus perversos efectos.

MUCHOS TIPOS DE REVOLUCIÓN

En su ambicioso y valiente *Sapiens: una breve historia de la humanidad*, el historiador Yuval Noah Harari propone varios «puntos de inflexión» en el dominio de nuestra especie[5]. El primero, hace unos 70 000 años, fue la Revolución Cognitiva, que tiene como marca distintiva el surgimiento de un lenguaje apto para formular proposiciones especulativas. El segundo, hace unos 30 000 años, fue la Revolución Agrícola, que se caracteriza por el abandono de la vida de cazadores-recolectores, la domesticación de plantas y animales y la fundación de asentamientos permanentes. Fue esta también la era de la «revolución cultural» (que no debe confundirse con la revuelta social desatada por Mao Zedong en

China miles de años más tarde y que se conoce con el mismo nombre). El tercer punto de inflexión, hace unos quinientos años, fue la Revolución Científica, marcada por la acumulación sistemática de conocimiento empírico, la era de la expansión marítima y el descubrimiento de América por los europeos, y el auge del capitalismo. Este punto de inflexión dio paso a algo que hasta entonces había estado ausente del *zeitgeist* humano: «la admisión de ignorancia». Según Harari, hasta ese punto la sociedad funcionaba bajo el supuesto implícito de que ya se había descubierto todo lo que merecía la pena conocerse, y de que la ignorancia individual podía remediarse consultando textos antiguos; una sociedad informacionalmente estática recurre al pasado como guía para el futuro. Esta premisa fundamental cambió hace tan solo quinientos años a favor de la admisión de ignorancia social y la constante búsqueda de conocimiento. El cuarto punto de inflexión, hace unos doscientos años, fue la Revolución Industrial, caracterizada por el auge de la economía de mercado y el ascenso de las máquinas.

La cronología de estos puntos de inflexión es aproximada e imprecisa. Sin embargo, incluso con esta prevención, el examen de los intervalos de tiempo que los separa resulta muy instructivo: 40 000 años entre las revoluciones cultural y cognitiva, quizá menos de 30 000 años entre la agrícola y la científica, trescientos años entre la científica y la industrial, y tan solo doscientos años entre la industrial y la digital (figura 1.2).

La tasa de cambio no solo se ha acelerado, sino que lo ha hecho en varios órdenes de magnitud, de decenas de milenios a intervalos de pocos siglos. Y si extrapolamos hacia el futuro, es probable que el orden de magnitud de este cambio se comprima todavía más. Todo hace pensar que nos hallamos en los inicios de otra gran explosión cultural creativa impulsada por la revolución digital y por la perspectiva de una fusión casi completa de los mundos real y virtual, de la biología y el artificio: la «revolución de la fusión».

En un entorno caracterizado por tal ritmo de cambio puede hacerse necesario un gran despliegue de los recursos neurales, un gran cambio en el modo como el cerebro humano procesa la información. Los hábitos

cognitivos básicos, tal vez incluso la propia maquinaria cerebral subyacente, que también funciona en un entorno relativamente estático, podrían ser muy distintos de los hábitos necesarios para funcionar en un entorno en constante transformación. De ser así, las implicaciones de esos cambios para la sociedad serían profundos.

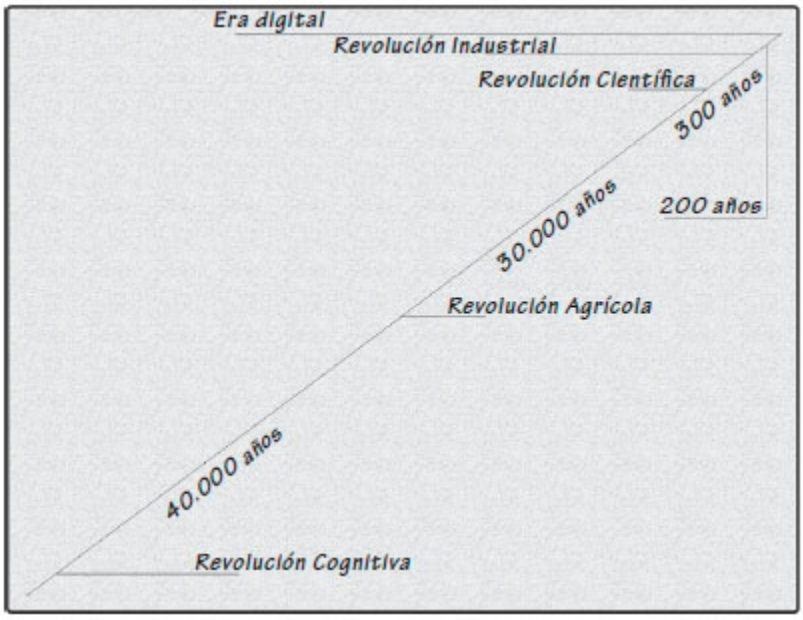


Figura 1.2. Puntos de inflexión en la historia de la civilización. Tasa de desarrollo de la sociedad humana a lo largo de la historia, según Yuval Noah Harari.

CULTURA Y ESTILOS COGNITIVOS

La dependencia cultural de los estilos cognitivos está cada vez más presente en mis pensamientos a raíz de las observaciones que vengo realizando en un «compartimento» de mi vida muy distinto. Mi día de trabajo típico suele ser una yuxtaposición de actividades muy dispares, como escribir este libro durante la mañana y dedicar la tarde a mi actividad clínica, o al revés. Tener que hacer malabarismos con varias actividades (clínica, investigación, docencia, asesoramiento industrial y escribir) ha tenido su lado bueno y su lado malo, y posiblemente haya restado algo de todas ellas, pero en conjunto me ha satisfecho trabajar así

durante muchos años, y me ha parecido que los efectos beneficiosos del enriquecimiento mutuo compensaban con creces cualquier agobio. Mi actividad clínica es en sí misma un estudio de la diversidad: siendo como es Nueva York la moderna torre de Babel, veo pacientes de todos los estratos sociales y de todos los rincones del mundo. Se da la circunstancia de que mientras escribía este libro y durante un corto período de tiempo, fui requerido para visitar a varios pacientes procedentes de diversos países en desarrollo de Asia y África. Eran todos ellos personas sencillas, de edad avanzada y sin ninguna educación formal, enteramente productos de sociedades rurales tradicionales, y aunque vivían en Estados Unidos, mantenían poco contacto con el mundo global. Por la naturaleza de los casos, los pacientes podían beneficiarse de un diagnóstico de auténtica discapacidad cognitiva, en forma de subvenciones u otras bonificaciones económicas, y mi misión consistía en realizar evaluaciones neuropsicológicas para evaluar su cognición. Es estos casos nunca puede descartarse la posibilidad de «engaño» o «amplificación de síntomas», y parte de la evaluación neuropsicológica está dirigida a determinar si realmente se dan conductas deshonestas. Existen incluso pruebas específicas para decidir si el paciente está engañando o no hace el suficiente «esfuerzo de buena fe» que requieren las tareas cognitivas que se le pide que realice. No me gustan demasiado esos test, y en alguna ocasión he dicho de ellos que no son más que un «sucedáneo de neuropsicología», pero los utilizo de todos modos cuando así se me requiere.

Sin excepción, todos los pacientes de esta tanda en particular obtuvieron resultados muy pobres en todos los test neuropsicológicos, incluidos los del «engaño», y de un modo absolutamente desproporcionado con los trastornos, conocidos o sospechados, que los habían traído a mi consulta, que no podían explicar los resultados. Sin embargo, no eran dementes, ni sufrían de depresión o ansiedad en un grado que pudiera interferir en su desempeño en los test, a los que, por otro lado, tampoco se oponían o resistían. Eran amables ancianos que realizaban obedientemente todo lo que les pedía… solo que no lo hacían. La conclusión obvia y ortodoxa que se espera de un neuropsicólogo en

estas situaciones es que el paciente está engañando o saboteando la evaluación al no realizar el esfuerzo requerido, pero como experto clínico con más de cuarenta años de experiencia estaba convencido de que no hacían ni una cosa ni la otra. Al propio tiempo, estaba claro que, pese a toda mi insistencia, no estaban haciendo el esfuerzo mental necesario para resolver las pequeñas y no muy difíciles tareas que les pedía que completaran. Estaba convencido de que estas se ajustaban holgadamente a sus capacidades cognitivas, pero requerían cierto esfuerzo mental. Iba creciendo en mí la impresión de que el obstáculo no era que los pacientes no *quisieran* hacer un esfuerzo mental, sino que sencillamente *no sabían cómo hacerlo, que carecían del hábito*. La sola idea de hacer un esfuerzo mental les era tan ajena como para mí podría serlo la de hacer piruetas gimnásticas. Cuando compartí esta observación con Bienvenido Nebres, un destacado científico y docente de Filipinas, me describió un fenómeno parecido en algunas partes de su país, «donde no hay tradición de escolarizar a los niños y los padres no entienden que sus hijos tengan que ir al colegio cada día». Estas observaciones nos llevan a una interesante distinción entre «habilidades cognitivas» y «hábitos cognitivos». Cada medio cultural genera no solo unas habilidades cognitivas distintas, sino también hábitos cognitivos distintos.

Las diferencias culturales en la cognición se vienen estudiando desde hace décadas, y se sabe, en buena medida gracias al trabajo de mi mentor, Aleksandr Lúriya[*], que existen grandes diferencias en la forma como abordan las tareas lógicas hipotéticas y conceptuales (silogismos, clasificaciones, etcétera) los miembros de las sociedades «modernas» educadas y las tradicionales sin educación formal[6]. Pero en este caso me parecía que había dado con algo más fundamental y profundo: que el «esfuerzo mental» e incluso, en términos más amplios, lo que podemos denominar «hábitos cognitivos», podrían depender de la cultura en un sentido general. Una persona sin experiencia en el esfuerzo mental que de repente se ve enfrentada a una situación que lo requiere, es como alguien que haya crecido en un medio ingrávido y de golpe se vea transportado a otro donde rigen las leyes de la gravedad: no se daría cuenta de que es necesario sostener los objetos para que no caigan al

suelo. Por descabellada que parezca esta idea, no sorprendió a mi amigo Michael Cole, un distinguido psicólogo intercultural de la Universidad de California en San Diego. Cuando compartí con él las experiencias de mis pacientes, por no hablar de mi propia sorpresa, me advirtió de inmediato de que la separación entre el pensamiento abstracto y la acción práctica es un fenómeno cultural.

Si el propio hábito del esfuerzo cognitivo, y quizá otros hábitos cognitivos básicos, dependen de las demandas informacionales de la sociedad, el crecimiento de esas demandas en un ambiente muy cambiante podría tener consecuencias profundas para el propio cerebro. Los cambios en la tasa de acumulación de conocimiento modificarán las demandas neurales, y no solo las de aquellos que creen la cultura humana, sino también de quienes la consuman, que serán todos. Esto significa que las demandas sobre el cerebro pueden ser muy distintas durante los «estallidos» culturales en comparación con los periodos de estasis cultural.

Durante los picos de fermento cultural de épocas pretéritas, los grandes cambios culturales se entretejieron con cambios sociales y políticos, algo que volvemos a presenciar hoy, a menudo en formas que nadie había imaginado, como en la «primavera árabe», cuyo desarrollo hace unos años por todo el norte de África y Oriente Medio no habría sido posible, para bien o para mal, sin internet ni los medios sociales, del mismo modo que tampoco habría sido posible el reclutamiento en todo el mundo de descontentos e insatisfechos para el Estado Islámico (EI). Al mismo tiempo que las potencias occidentales bombardeaban el EI sin demasiado éxito, la comunidad de *hackers* conocida como «Anonymous» declaraba su propia guerra al EI a través de un portavoz enmascarado en los medios sociales. Quién sabe si en un mundo en el que ha podido surgir una organización no convencional gracias a internet y a los medios sociales, no resultará más efectivo un ataque en el ciberespacio que con los medios militares convencionales. Por otro lado, el uso de Twitter por Trump, incontrolado pero probablemente eficaz, podría haber influido en su inesperada victoria en las elecciones presidenciales de Estados Unidos de 2016. ¡La vida es más extraña que las ficciones futuristas!

CÓMO SE FUSIONAN LAS REALIDADES

De los cambios sociales que promueve la tecnología, hay uno que me interesa especialmente y que podría ser profundo: la fusión de las realidades física y virtual. Los peatones que se tropiezan unos con otros en las aceras de Manhattan porque, obviamente, lo que sucede en las pantallas de sus móviles se impone a los acontecimientos físicos que los rodean en la calle, se han vuelto tan comunes que ya no solemos percibirlos como presagio de un brutal cambio social, y desde luego podemos suponer que los entorpecidos peatones conocen la diferencia entre lo real y lo virtual, por bien que en ocasiones parezcan estar inquietantemente desorientados cuando por un segundo arrancan la mirada de sus móviles para establecer un breve y renuente contacto con el anticuado mundo físico. La frontera entre la realidad física y la virtual se está tornando cada vez más borrosa, de forma intencionada y racional, en diversos programas de entrenamiento diseñados para mejorar las aptitudes en la vida real en el ámbito de la educación o la medicina y, de manera especial, en el militar. Pero también aquí abundan los consecuencias no intencionadas, o por lo menos no anticipadas. En un editorial de *The New York Times* titulado «A Band of Tweeters» [Una banda de tuiteros], John Spenser, un comandante del ejército de Estados Unidos y académico de West Point, comparaba sus observaciones del campo de batalla en Irak en 2003 y 2008. En 2003, después de un enfrentamiento con el enemigo los soldados hablaban de lo que había ocurrido; en 2008, «se sentaban frente a una pantalla de ordenador para explicar su día en Myspace o Facebook». Mientras que en 2003 se desarrollaban fuertes vínculos entre los soldados que servían en una misma unidad, en 2008 parecían estar más inmersos en su personal mundo «virtual» que en el mundo físico que compartían[7].

Más sorprendente aún es un hecho que se produjo en Corea del Sur: unos padres permitieron que su hijo biológico, real y de carne y hueso, muriera de inanición porque ellos, sus padres, estaban demasiado ocupados criando un niño virtual en un videojuego. No cabe duda de que en la cabeza de aquella pareja surcoreana que permitió que aquello

sucediera hace unos años se estaban desdibujando ya las fronteras entre la realidad física y la virtual. Estoy convencido de que en pocas generaciones, quizá en una sola generación, esas fronteras se habrán desdibujado de forma casi completa. Por extravagante que parezca esta predicción, me reafirmo en ella, sobre todo porque ya no estaré por aquí para comerme mis palabras si no llegase a materializarse. Y a modo de reflexión sobre la aserción de que el progreso tecnológico es, en su mayor parte, moralmente agnóstico, hallamos la prefiguración de esta fusión en uno de los más repugnantes fenómenos de nuestros tiempos: el auge del Ei, al que Fareed Zakaria se refiere como una maligna «máquina de mensajería». Así queda plasmado en una carta de arrepentimiento escrita por un adolescente tentado a apuntarse a EI: «Al asimilarme al mundo de internet en lugar de al mundo real, quedé absorbido en una lucha "virtual" al tiempo que me desvinculaba de lo que era real: mi familia, mi vida y mi futuro»[8]. Puedo creer que un adolescente puede cruzar, sin apenas percatarse de lo que está ocurriendo, la frontera que separa el mundo virtual, el de los gestos «heroicos», de un mundo físico atroz, de una crueldad innombrable. Las enormes consecuencias de la fusión de elementos físicos y virtuales en un mundo «sintético» resultan imposibles de imaginar para alguien tan anticuadamente arraigado en la realidad física como yo mismo, pero va a ocurrir, y muy probablemente en el curso de una sola generación, la «generación de la fusión».

Esta fusión no solo cambiará el mundo que habitarán nuestros no muy lejanos descendientes, sino que el mundo sintético *devendrá* su mundo, aquel al que los epítetos «valiente nuevo»[*] se aplicarán con mayor razón que a ninguna otra era de la historia de la civilización humana. ¡Qué ingente dosis de novedad no habrán de digerir esos «fusionistas»! Este cambio futurista será posiblemente más profundo que mudarse a un nuevo planeta, y, sin embargo, de una extraña forma, validará las reflexiones filosóficas de Immanuel Kant en el siglo XVIII, secundadas un siglo más tarde por Hermann Helmholtz y Ernst Mach, una idea que por primera vez me cruzó la mente y me divirtió enormemente hace una década y media, en los albores del siglo XXI. En

su *Crítica de la razón pura* (*Kritik der reinen Vernunft*), Kant sostenía que todo lo que experimentamos es el «mundo fenoménico», mientras que el origen físico de esas experiencias, el «mundo nouménico», poblado por «cosas[s] en sí» (*Dinge[n]-an sich*), nunca podremos aprehenderlo de forma directa y, en último término, carece de importancia, una posición que a sus coetáneos, igual que a los nuestros, debió parecerles contraria a la intuición e incluso extraña, pero que probablemente transmita una impresión de verdad evidente para las generaciones de la «fusión» y la «posfusión»[9]. Y, sin embargo, la llegada del «mundo sintético» será posiblemente el cambio más profundo y fundamental de la historia cultural de nuestra especie, uno al que la trillada expresión «cambio de paradigma» no hace justicia ni remotamente. A este cambio en la historia cultural de nuestra especie probablemente le acompañe un cambio biológico en la forma de funcionar de nuestro cerebro en condiciones tan radicalmente distintas. Las consecuencias exactas de ese cambio son impredecibles, pero sin duda serán profundas, y muchas ya han sido profetizadas por la destacada neurocientífica británica y buena amiga mía Susan Greenfield en su novela *2121*. Como implica su título, los protagonistas de la novela son de la generación «posfusión» y desarrollan su vida en un mundo sintético profundamente fusionado[10].

EL CEREBRO HUMANO EN LA NUEVA ERA

La revolución digital no modificará únicamente el funcionamiento del cerebro normal, sino también la forma en que se manifestarán las enfermedades cerebrales. La epilepsia del lóbulo temporal (ELT) puede servir de ejemplo. La ELT es uno de los trastornos neurológicos más fascinantes y, en contra de una extendida creencia popular, no «va y viene» con intervalos de completa normalidad entre ataques. A menudo los pacientes de epilepsia se ven afectados por la enfermedad en todo momento entre convulsiones, y es bien conocido que la ELT viene acompañada de cambios profundos de la personalidad, entre los cuales la «hiperreligiosidad» es especialmente enigmático. Una persona

previamente indiferente a las cuestiones religiosas y con un estilo de vida secular puede desarrollar un vivo interés por la religión, en ocasiones de una forma extrema, y comenzar a practicar la religión con fervor. Se sabe o sospecha que varias personalidades religiosas o cuasirreligiosas sufrían convulsiones (aunque no podemos saber de qué tipo), entre ellas Mahoma, Martin Luther, Juana de Arco y el papa Pío IX[11]. Sin embargo, la idea de que la ELT está necesariamente asociada con la hiperreligiosidad se ve cuestionada por el hecho de que varias personalidades históricas de las que se sabe o sospecha que sufrieron convulsiones solo fueron religiosas de forma herética o manifiestamente blasfema: Alejandro de Macedonia, que se proclamó dios a sí mismo; Julio César, a quien su título hereditario de pontífice máximo (*Pontifex Maximus*) le pareció poco y lo abandonó para convertirse en un dictador secular; o Pedro el Grande de Rusia, cuyo pasatiempo favorito durante los primeros años de su reinado consistía en humillar a los clérigos cortándoles las barbas y disfrazándolos con extraños ropajes.

¿Cuáles son los mecanismos de la hiperreligiosidad en la ELT? Su asociación con un lugar de disfunción neuroanatómicamente específico (los lóbulos temporales) ha llevado incluso a especular que la religiosidad podría estar de alguna forma preprogramada en el cerebro humano, lo que ciertamente es un terreno adobado para las especulaciones de la prensa más sensacionalista. Mi opinión, sin embargo, es que la hiperreligiosidad de la ELT es un fenómeno cultural. ¿De qué otro modo habría de interpretar uno la percepción de voces, las devastadoras premoniciones viscerales y los arrebatos emocionales de terror o de euforia, todas ellas experiencias comunes en los ataques de epilepsia temporal, en una sociedad impregnada de motivos religiosos (más aún cuando la mayoría de las sociedades avanzadas aún estaban impregnadas de esos motivos hace apenas una generación, y algunas todavía lo están)? Lo más probable en una sociedad así sería darles una explicación religiosa y a continuación «descubrir la religión». Sin embargo, mi predicción es que, a no ser que se le encuentre una cura definitiva, lo más probable es que la futura generación de «fusionistas» afligidos por la ELT en la

sociedad «sintética» interprete esas experiencias en términos de realidad virtual más que en términos religiosos.

La acelerada «curva de novedad» tendrá un efecto profundo sobre nuestra mente y cerebro porque nos forzará a consumir innovación en un grado inaudito, y entender el impacto de esa constante exposición a la novedad sobre el «cerebro consumidor» es uno de los retos a los que se enfrenta la neurociencia. Luego está el otro lado de la moneda, la creación de novedad. ¿Cómo se crea una idea nueva? En la era de la innovación, entender cómo procesa la novedad el cerebro humano es una cuestión de enorme importancia por más de una razón. Como sociedad, tenemos una doble motivación para esforzarnos por desvelar los mecanismos cerebrales con los que nos enfrentamos a la novedad: para entender cómo se consume, pero también cómo se crea. Es precisamente esta doble motivación la que me mueve a escribir este libro.

La novedad está inexorablemente ligada a la creatividad, ese preciado pero enigmático don de la mente humana que impulsa el progreso. Entender la maquinaria cerebral de la novedad es un paso crucial hacia la comprensión de la creatividad humana. Examinaremos la relación entre la creatividad y la generación de contenido novedoso en el cerebro humano, y presentaremos una nueva manera de entender cómo se aúnan las distintas funciones cognitivas y las diversas estructuras cerebrales para que se produzca el acto creativo. Especularemos sobre la manera en que la conectividad dinámica de redes, recientemente descubierta por neurocientíficos de Yale, empuja el proceso, y descubriremos cómo, cuando se queda corta, un proceso al que llamaremos «divagación dirigida», toma las riendas y produce esa inefable chispa, el momento creativo.

No hay en el cerebro humano ninguna estructura singular encargada de buscar la novedad, y mucho menos de crearla. Estas complejas funciones surgen de la interacción entre muchas estructuras cerebrales. Algunas de estas mantienen con la novedad y la creatividad una relación más directa y transparente que otras, pero, en último término, todas desempeñan algún papel. En los capítulos que siguen, examino estos

numerosos engranajes del cerebro y sus papeles complementarios en la compleja maquinaria de la innovación y la creatividad.

2

La neuromitología de la creatividad

De neurohuérfanos a neuromodas

Entender los mecanismos cerebrales que se ocupan de la novedad es uno de los pasos más importantes para comprender la cognición compleja. Como neurocientífico cognitivo, lo considero fundamental, pero reconozco que no es el tipo de pregunta que excita la imaginación del público general. Cuando decidí escribir un libro sobre la novedad cognitiva y propuse que su título girara en torno a la palabra «novedad», mi editor, sin duda más experimentado que yo en los ardides para captar la atención de los lectores y decidido a que mi libro fuera un éxito, puso objeciones. «¿Cuánta gente quiere ser novedosa?», me espetó, una pregunta retórica que daba por implícita la respuesta «pocos o ninguno». En cambio, «creatividad» tiene un atractivo muy personal. Cabe suponer que todo el mundo quiere ser creativo, o al menos (¿o no será eso lo más importante?), ser tenido por persona creativa. Además, la propia opacidad de este constructo permite todo tipo de interpretaciones al gusto. Durante las últimas décadas, los mecanismos cerebrales de la creatividad han suscitado un considerable interés tanto entre los científicos de la cognición como en la población en general, y la frontera entre estos relatos (los de los neurocientíficos y los de la ciencia popular) a menudo ha quedado desdibujada. Las estructuras del cerebro que con más frecuencia se vinculan con la creatividad son la corteza prefrontal y el hemisferio derecho.

A lo largo de todo el libro argumentaré que ambas estructuras están sin duda muy vinculadas con la creatividad y los mecanismos para abordar la novedad, pero defenderé con el mismo ahínco que ninguna de las dos ni, de hecho, ninguna otra estructura particular del cerebro puede entenderse como la «sede» exclusiva de la creatividad, que la idea misma de que una función compleja como la creatividad pueda vincularse con un pequeño grupo de regiones cerebrales es errónea e ingenua. También argumentaré que, aunque no sea tan emocionante, la investigación sobre los mecanismos cerebrales que se ocupan de procesar la novedad puede constituir un paso productivo, tal vez incluso crítico, para la comprensión de la creatividad, además de ser importante (quizá incluso más) por derecho propio.

Una de las revisiones más exhaustivas de la literatura técnica sobre la «creatividad» es la realizada por el neurocientífico Arne Dietrich. Alemán de nacimiento, Dietrich se formó en Estados Unidos y hoy trabaja en la Universidad Americana en Beirut (Líbano). Esta trayectoria profesional, que podría calificarse de poco ortodoxa, sugiere un espíritu inquieto y una mente inquisitiva, y las investigaciones de Dietrich sobre la creatividad merecen mucha atención. Tras seleccionar mediante un riguroso algoritmo y revisar meticulosamente más de sesenta artículos de investigación, Dietrich llegó a la preocupante conclusión de que no había coherencia entre los hallazgos, y que esa falta de coherencia se extendía a los supuestos papeles desempeñados por los lóbulos frontales y los hemisferios cerebrales en el proceso creativo. Aunque los lóbulos frontales se activaban en algunos estudios del proceso creativo que utilizaban técnicas de neuroimagen, en otros aparecían desactivados (más adelante intentaremos dar cuenta de esta bimodalidad). Y también ocurría que el hemisferio derecho se mostraba especialmente activo en algunos de los estudios, pero en otros era el izquierdo el que se activaba (este hallazgo, como espero que muestren los siguientes capítulos, tiene mucho sentido cuando se consideran los papeles de los dos hemisferios en la novedad cognitiva en comparación con las rutinas cognitivas)[1].

Así pues, parece que los lóbulos frontales y el hemisferio derecho desempeñan en efecto un papel en la creatividad, pero también otras

regiones del cerebro, entre ellas el hemisferio izquierdo. En los próximos capítulos intentaremos deslindar los papeles que cumplen todas estas estructuras en el proceso creativo. Entre otras cuestiones, examinaremos la relación entre la creatividad y la búsqueda de novedad, que es un prerrequisito necesario, pero de ningún modo suficiente, de la creatividad. Argumentaremos que atribuir un papel exclusivo a los lóbulos frontales y el hemisferio derecho en la creatividad es una tremenda simplificación; no así declarar su papel en el procesamiento de la novedad. Y veremos cómo mezclar estos constructos, creatividad y novedad, que están relacionados pero no son idénticos, podría haber contribuido a la neuromitología del papel de los «lóbulos frontales y el hemisferio derecho» en la creatividad.

«MALA E INÚTIL»

Irónicamente, las estructuras cerebrales que con más frecuencia invocan los neurocientíficos para explicar el procesamiento de la novedad, y la ciencia popular como algo central en el proceso creativo, han estado arrumbadas en el desván de la psicología y la neurociencia hasta no hace muchos años. La corteza prefrontal y el hemisferio derecho son cruciales para abordar la novedad, y aunque no ostentan el monopolio sobre ella, son relevantes para toda novedad que constituya creatividad. Sin embargo, durante muchos años una de estas estructuras se tenía por «inútil» (los lóbulos frontales) y la otra por «maligna» (el hemisferio derecho).

Hay en la ciencia, como en la vida, princesas y cenicientas, y como en la mayoría de las empresas humanas, en la ciencia abundan los falsos comienzos y las concepciones equivocadas. Los lóbulos frontales eran los «lóbulos huérfanos», una especie de Cenicienta de la neurología. Durante años se creyó que no hacían nada útil, dedicados a alguna función mal entendida pero en cualquier caso prescindible. Se llegó incluso a creer que varios trastornos del cerebro se podían «curar» seccionando las conexiones entre los lóbulos frontales y el resto del cerebro. Esta creencia, hoy caída en el descrédito, constituyó el

fundamento de la infame lobotomía frontal cuyo inventor, el neurólogo portugués António Egas Moniz, realizó por primera vez en 1935, y por la cual recibió en 1949 el premio Nobel de medicina, posiblemente el más inmerecido de toda la historia del galardón.

Con la ayuda de un «leucótomo», un instrumento semejante a un estilete que se insería por un orificio practicado en el cráneo del paciente, se cortaban las conexiones entre los lóbulos frontales y el resto del cerebro. Dado que las modernas tecnologías de neuroimagen, como la tomografía computarizada (TC) o la resonancia magnética (RM), todavía tardarían décadas en llegar, la lesión se infligía literalmente «a ciegas». Para cuando esta verdadera barbarie comenzó su declive en la década de 1960, un gran número de pacientes se habían convertido en una suerte de zombis, pues junto a los síntomas de la enfermedad mental se eliminada también la mayoría de los síntomas de la vida mental[*].

Inspirado por esta «innovación», el psiquiatra Walter Freeman comenzó a practicar la lobotomía frontal a escala industrial en Estados Unidos a partir de 1936. Además, simplificó el procedimiento de modo que no hiciera falta practicar un orificio en el cráneo, sino que podía realizarse insertando un estilete parecido a un picahielo hasta el cerebro a través de la cuenca de un ojo. Para realizar este terrible procedimiento quirúrgico, que en su momento de auge se conocía como «técnica del picahielo», no se consideraba necesario ningún tipo de formación en neurocirugía, y en muchos hospitales psiquiátricos de Estados Unidos la practicaban los propios psiquiatras. Con alegre ligereza, el bueno del Dr. Freeman se refería a ella como «lobotomía en un periquete», y la realizaba sin ingresar a sus pacientes, a los que hacía sentar en una silla de dentista instalada en su oficina privada en Washington, D. C. También viajaba por todo el país en una furgoneta especialmente equipada, a la que graciosamente llamaba «lobotomóvil», y con la cual se ofrecía generosa y magnánimamente a practicar lobotomías en numerosos hospitales del país. Los resultados fueron en su mayor parte desastrosos; muchos de sus pacientes sufrieron hemorragias cerebrales, y algunos murieron. A los que sobrevivieron se los podía ver deambulando sin propósito y con la mirada ausente por los pasillos de los hospitales

psiquiátricos incluso en la década de 1980 (me tocó ver a unos cuantos en mi consulta en uno de esos hospitales), pacientes lobotomizados veinte o treinta años atrás que ya nunca recobrarían ni un asomo de personalidad humana[2].

Si el lóbulo frontal era una de las cenicientas de la neurología, la otra era el hemisferio derecho. Si durante décadas se vio la corteza prefrontal como algo «inútil», el hemisferio derecho se veía como «subdominante», además de inútil. En esa tónica, el mantra de la neurocirugía de la vieja escuela era que al hemisferio izquierdo (cuya primacía en el control del lenguaje había dejado claramente establecida su importancia) había que tratarlo con sumo cuidado, mientras que en el hemisferio derecho se podía operar con relativa impunidad, sin miedo a efectos secundarios de importancia. De manera parecida, la terapia electroconvulsiva (TEC) o «terapia de electrochoque», que se utilizaba para tratar la depresión pero era bien conocida por sus efectos secundarios, se aplicaba al hemisferio derecho con mucha menos preocupación que al hemisferio izquierdo. Tan arraigada estaba entre los neurocirujanos de la vieja escuela la idea de la poca importancia relativa del hemisferio derecho que, no hace tantos años, una joven neurocirujana del profesorado de una prestigiosa facultad de medicina de la costa este de Estados Unidos me invitó a pronunciar una conferencia en su departamento (unas jornadas médicas o «grand rounds», en la jerga médica) para quitarles de la cabeza a sus colegas de más edad la idea de que el hemisferio derecho era prescindible y podía manipularse con impunidad.

Los neurocientíficos de la vieja escuela deberían haber tenido más conocimiento, pues los estudios más recientes han demostrado lo importantes que son el hemisferio derecho y los lóbulos frontales. Las personas a las que durante la infancia se extirpó quirúrgicamente uno de los hemisferios para poder manejar una epilepsia intratable tienen hoy un CI (coeficiente intelectual) más alto si perdieron el hemisferio izquierdo que si perdieron el derecho, así que, en cierto sentido, el hemisferio derecho es el más «listo» de los dos[3]. Y las personas con lesiones graves en los lóbulos frontales sufren de una desorganización catastrófica pese a

que sus habilidades cognitivas específicas (como leer o escribir) permanecen intactas[4].

¿Por qué tardaron tanto los neurocientíficos en reconocer plenamente el papel de estas estructuras en la cognición? Porque la neuropsicología tradicional y la ciencia cognitiva tendían a centrarse en habilidades mentales aisladas, por lo general «cristalizadas», que se correspondían con la taxonomía lega codificada en el lenguaje cotidiano y que, por consiguiente, creaban la ilusión de explicarse por sí mismas: movimiento, percepción, lenguaje, incluso memoria. Las contribuciones de los lóbulos frontales y el hemisferio derecho a la orquesta mental son, sin embargo, de otra naturaleza. Durante muchos siglos de la historia humana, el presente se modelaba fundamentalmente sobre el pasado porque la curva de acumulación de nuevo conocimiento, la «curva de la novedad», era relativamente lenta. En aquel entorno, referirse al hemisferio izquierdo como «dominante» era razonable. Pero en la valiente nueva era de la novedad las prioridades neurales han cambiado, y las dos estructuras huérfanas, los lóbulos frontales y el hemisferio derecho, asumen ahora un papel nuevo y dominante.

LA DECONSTRUCCIÓN DE LA INNOVACIÓN Y LA CREATIVIDAD

Innovación y creatividad son constructos poliédricos con componentes cognitivos, biológicos y sociales que no se prestan a definiciones inequívocas. Todo intento de entender la creatividad y sus bases neurales se beneficiará de identificar primero sus muchos ingredientes y de examinarlos uno a uno. Cuanto mayor es el número de componentes que subyacen a un proceso mental, cuantos más son los engranajes que lo apuntalan, menos sentido tiene la idea de localizarlo en una parte específica del cerebro.

Veamos algunos de estos engranajes, cada uno con sus propias redes neurales, y a menudo enfrentados entre sí. (Probablemente haya otros que no mencionamos aquí).

Relevancia:[*] La capacidad de plantear problemas centrales y formular preguntas de consecuencia. La creatividad requiere algo más que virtuosismo mental: también implica relevancia. Si Albert Einstein hubiera aplicado su excepcional don para la imaginación visual a toda una vida entregada a perfeccionar el arte del paisajismo y la jardinería, sería recordado en el reducido ámbito de los paisajistas profesionales, pero difícilmente se le tendría por una de las mentes más excepcionales de la historia.

Novedad: El interés y la capacidad para hallar soluciones a problemas no planteados hasta entonces. Este componente es obvio. Es poco probable que una persona que se sienta del todo satisfecha aplicando el conocimiento ya disponible o practicando formas de arte completamente desarrolladas se embarque en una empresa creativa. La atracción hacia la novedad es un prerrequisito central de la creatividad. También lo es la disconformidad intelectual, es decir, la capacidad para distanciarse de las teorías y conceptos científicos o de las formas artísticas establecidas.

Capacidad para relacionar conocimiento antiguo con problemas nuevos: Lo opuesto de lo anterior. Es la capacidad para reconocer patrones familiares en problemas aparentemente nuevos y únicos. Isaac Newton reconoció en una carta a un colega que «si he llegado a ver más lejos es gracias a que me alzo sobre los hombros de gigantes». A un amigo mío, Allan Snyder, un catedrático de la Universidad de Sídney, le gusta decir que «todo lo que es totalmente nuevo probablemente sea erróneo». Esta aseveración inopinadamente desalentadora contiene una buena dosis de verdad. Muchos de los conceptos científicos o formas artísticas más innovadores son en realidad conceptos y formas anteriores, pero evolucionados y modificados. A un visitante del Museo Picasso del Barri Gòtic de Barcelona, donde se exhibe la obra del gran pintor en un orden rigurosamente cronológico, podría sorprenderle descubrir que el fundador del cubismo fue en sus inicios un consumado pintor en la tradición del realismo. Una continuidad de ideas intrincadamente entrelazadas con la discontinuidad es también común en la ciencia.

Generatividad y flexibilidad mental: La habilidad para generar enfoques múltiples y diversos para abordar un problema es esencial para el proceso creativo de la ciencia. Los científicos serían muy afortunados si dieran a la primera con la solución a un problema difícil. Normalmente es necesario atacar el problema desde múltiples y distintos ángulos. La habilidad para experimentar con diversas formas ocupa también un lugar central en el proceso creativo de las artes. Pablo Picasso fue pintor, escultor, ceramista, grabador y escenógrafo, y en él estas diversas formas artísticas se enriquecían mutuamente.

Empuje y obstinación: En cierto sentido es lo opuesto de lo anterior, la capacidad de desplegar un esfuerzo constante hacia la resolución de un problema. Tiene que ver con la relación entre «inspiración» y «perspiración». Aunque hay ejemplos de genios perezosos (suele citarse a Claude Debussy), en la mayoría de los casos los grandes descubrimientos científicos o creaciones artísticas son el resultado de un trabajo duro a lo largo de muchos años. La capacidad para el esfuerzo constante, la entrega al tema escogido, la resiliencia ante el fracaso, son requisitos *sine qua non* en las trayectorias creativas de más éxito, salvo para unos pocos afortunados.

Divagación mental: La misteriosa capacidad para seguir a las ideas allí donde nos lleven de forma productiva y, en apariencia, sin esfuerzo. Los relatos individuales de varias personas excepcionalmente creativas dedicadas a campos muy diversos, de la música a la ciencia, aluden a estados mentales que aparentemente no suponen un esfuerzo y gracias a los cuales aparece de pronto, como de la nada, la solución a un problema o un movimiento melódico. ¿Cuáles son los mecanismos neurales que subyacen a este fenómeno, y cómo se relacionan con otros procesos mentales? ¿Es necesario que los periodos de «divagación mental» hayan sido precedidos e intercalados por periodos de esfuerzo mental consciente, sistemático y dirigido para que resulten productivos? Nos ocuparemos más a fondo de este tema en el capítulo 7.

Concentración mental: Lo contrario de la divagación mental; es la capacidad para perseguir de forma sistemática un hilo de pensamiento. Aunque menos «misterioso», este aspecto del proceso creativo es

indispensable en cualquier descubrimiento científico, y actúa de forma sinérgica con la «divagación mental».

Actitud iconoclasta: Es evidente. Para adelantarse a la sociedad, la persona creativa debe moverse por su insatisfacción con el *statu quo* intelectual, científico o artístico. Debe poseer también fortaleza de carácter y fe en la obra propia para perseverar pese al rechazo y la desaprobación. Antes de que la sociedad las aceptase, los críticos rechazaron la pintura de Vincent van Gogh y la música de Ígor Stravinski. Lo mismo les pasó a muchos otros grandes artistas y científicos.

Consonancia con los principales temas culturas y sociales: Es la cualidad opuesta a la anterior, y puede causar extrañeza, pues una persona creativa, y ciertamente un genio, va por delante de la sociedad. Sin embargo, para que su obra sobreviva, la sociedad debe reconocer su importancia, pues de lo contrario desaparecerá de la historia y la cultura. Esta idea contiene una paradoja: para ser reconocida, una persona creativa debe ir por delante de la sociedad, pero no demasiado. Si, por alguna improbable combinación de factores, las ecuaciones diferenciales las hubiera inventado un genio cromañón, el invento habría caído en oídos sordos y habría sido ignorado y olvidado. La idea de que existan individuos creativos que van tan por delante de sus coetáneos que no llegan a tener impacto alguno me resulta tan turbadora que he decidido dedicarles este libro.

Habilidades sociales: Algunos individuos extremadamente creativos han pasado a la historia como personas socialmente afables y adaptables; otras por todo lo contrario. Leonardo fue un ejemplo de lo primero y Caravaggio de lo segundo. Aunque probablemente ajenos al propio proceso creativo, es probable que los atributos sociales de la persona creativa desempeñen un papel importante, a veces definitivo, con respecto a su acceso a los recursos necesarios para sostener el proceso creativo y el destino del propio producto de su creación. En ciertas ocasiones, estos atributos pueden llegar incluso a marcar la diferencia entre la inmortalidad y el olvido.

Un medio cultural favorable: Históricamente, ciertas sociedades y épocas fueron más ricas en descubrimientos e innovación que otras. Suele citarse la «edad de oro» de Atenas y el Renacimiento florentino como ejemplos de estas sociedades, pero hubo otras. La relación entre una persona creativa y su medio social y cultural merece un examen más detenido.

CREATIVIDADES MÚLTIPLES

Habrá quedado claro de todo lo anterior que la creatividad es un constructo complejo formado por múltiples engranajes que a menudo entran en conflicto. También habrá quedado claro que es poco probable que los múltiples prerrequisitos e ingredientes de la creatividad estén fuertemente correlacionados. Esto significa que buscar una única clave del proceso creativo seguramente es una empresa vana, y que la vía hacia la creatividad puede adoptar muchas formas, del mismo modo que el «individuo creativo» puede responder a numerosos perfiles distintos. Es posible incluso que esos múltiples rasgos, perfiles y prerrequisitos encierren ciertas contradicciones.

A menudo hablamos de la creatividad como si se tratase de un atributo unitario, de algo que una persona tiene o no tiene, o que puede poseer en grados, de modo que puede ser muy creativa, moderadamente creativa o nada creativa. Pero este enfoque, llevado a su extremo lógico, implicaría que un matemático altamente creativo también podría haber sido un coreógrafo muy creativo, que un novelista muy creativo también podría haber sido un arquitecto muy creativo. ¿Alguien cree de verdad que eso sea posible? Es cierto que algunos talentos parecen estar muy correlacionados: los buenos matemáticos a menudo son buenos músicos aficionados. Pero con la misma frecuencia, o más incluso, esos talentos «específicos de un dominio» no están correlacionados en absoluto.

Ningún proceso creativo específico es una empresa abstracta, sino que se manifiesta en una área concreta de la actividad humana y se erige sobre un corpus de conocimiento, una experiencia y unas habilidades propias de esa área. Si tomamos todo eso en consideración, ¿es razonable

pensar en la creatividad como un don unitario? Del mismo modo que hay «múltiples inteligencias», y no siempre están fuertemente correlacionadas, podemos afirmar casi con seguridad que existen «múltiples creatividades» que dependen de distintas asociaciones neuronales. De ser así, la propia «pregunta de la creatividad» podría estar mal planteada, pues a menudo supone que la creatividad es un rasgo monolítico, y este supuesto es casi con seguridad falso. Que los caminos que llevan a la creatividad son muchos y probablemente muy distintos, incluso dentro de un mismo campo de actividad, es algo que queda claro cuando se examinan las vidas y formas de trabajo de los grandes matemáticos.

Las matemáticas se califican a veces como la «reina de las ciencias». Lejos de ser una simple manipulación de números, las conocidas como matemáticas puras (las teóricas, más que las aplicadas) requieren de una imaginación excepcional, de la habilidad para concebir «objetos» rigurosamente abstractos, desprovistos de todo paralelo explícito con la realidad física y evidente de nuestra experiencia. Se ha sugerido que los procesos mentales de un pionero de las matemáticas representan la creatividad en su forma más pura. Pensemos si no en dos de los matemáticos que se suelen considerar entre los más geniales y creativos de todos los tiempos: Évariste Galois (1811-1832) y Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Ambos fueron pioneros en varias áreas de las matemáticas, entre ellas álgebra, geometría, teoría de números, teoría de grupos y otras. Sin embargo, su personalidad y su forma de trabajar no podrían haber sido más distintas.

Galois fue la quintaesencia del rebelde, profundamente enmarañado en los alborotos políticos de la Francia posnapoleónica, y su corta y volátil vida estuvo marcada por la confrontación política y física. Murió a consecuencia de un balazo en el abdomen durante un duelo a la edad de veinte años. Sin embargo, a pesar de su corta vida, hizo descubrimientos pioneros en múltiples áreas de las matemáticas: álgebra, teoría de grupos y ecuaciones polinómicas, entre otras. Muchas de sus novedosas ideas matemáticas hubo de resumirlas apresuradamente en una carta que escribió a Auguste Chevalier la noche antes del duelo[5]. En marcado

contraste, Gauss fue conservador en la política, padre de seis hijos y bendecido por una larga y ordenada vida. Revisaba sus ideas una y otra vez, de una forma meticulosa y deliberada, durante años e incluso décadas antes de publicarlas. Tan minuciosa era su forma de trabajar que, a decir de algunos, demoró de manera innecesaria durante décadas la publicación de algunos resultados importantes[6].

¿Hemos de suponer que los procesos creativos de estos dos grandes matemáticos se desarrollaban de forma parecida, que seguían la misma trayectoria? Es muy improbable, sobre todo si tomamos en cuenta las sorprendentes diferencias en sus personalidades y circunstancias: la corta y volátil vida de revolucionario de Galois frente a la vida ordenada y aparentemente tranquila de Gauss, que llegó a la vejez. En mi propio ámbito, he llegado a convencerme de que se puede comprender mejor la sustancia de una idea cuando se conocen también la personalidad y circunstancias de su autor, y lo mismo debe ser cierto de cualquier intento de reconstruir el proceso creador que da luz a una idea significativa. Es muy improbable que las personalidades diametralmente opuestas de Gauss y Galois siguieran la misma trayectoria creativa hacia el panteón de las matemáticas.

Se dan contrastes parecidos en un ámbito de la expresión creativa muy distinto: la música. Wolfgang Amadeus Mozart (1756-1791) y Ludwig van Beethoven (1770-1827) nos ofrecen otro ejemplo pertinente. Mozart escribió sus tres últimas sinfonías (la n.º 39, la n.º 40 y la n.º 41) en unas pocas semanas[7]. Beethoven, en cambio, trabajaba despacio: le llevó seis años componer su Novena Sinfonía, que en opinión de algunos es la mejor[8]. Aunque vivió muchos más años que Mozart, Beethoven produjo su obra de forma mucho más espaciada en el tiempo. Cabe suponer que en estos dos grandes compositores los procesos de creación eran muy distintos. Mi amigo Harry Ballan, un musicólogo reconvertido en abogado, dice que las sinfonías de Beethoven son «arquitectónicas», como guiadas por un plano, mientras que las de Mozart son «espontáneas», probablemente desprovistas de un pensamiento guiado por un plan. Eso sugiere procesos creativos muy distintos.

Resulta evidente, por tanto, que los distintos procesos creativos pueden desarrollarse a escalas de tiempo enormemente distintas, algo que puede ser cierto incluso dentro del mismo ámbito (considerado en términos generales) de la actividad humana. Así, entre y dentro de las distintas áreas de creación abundan las diferencias individuales, lo que nos lleva a rechazar la idea de la creatividad como un proceso unitario, monolítico. Bien al contrario, la conclusión ineludible es que esfuerzos creativos que en apariencia son semejantes pueden ser el resultado de la utilización de herramientas cognitivas muy distintas y depender de múltiples y diferentes estructuras neurales.

Ninguna de las escalas de tiempo implícitas en estos procesos creativos que se han producido en la vida real y han sido realmente significativas tiene mucho en común con las escalas de tiempo de los test de laboratorio que se suelen usar para estudiar la creatividad, como los Test de Torrance de Pensamiento Creativo, los test de «razonamiento divergente» y otras técnicas por el estilo diseñadas para medir la «creatividad» en el laboratorio[9]. Esta es una de la muchas razones por las que debe cuestionarse la relación de estas técnicas con la creatividad de la vida real, que es la verdaderamente relevante. Las distintas escalas de tiempo seguramente no son simplemente versiones comprimidas o estiradas la una de la otra, sino que, con toda probabilidad, tienen composiciones cognitivas muy distintas.

Dada la multiplicidad de los ingredientes cognitivos, metacognitivos y sociales del proceso creativo, sus múltiples formas y mutuas contradicciones, ¿hasta qué punto es razonable o realista esperar que exista en el cerebro un único y mágico centro de la «creatividad»? ¡Muy poco! Lo que realmente ocurre es que el proceso creativo depende de múltiples regiones y estructuras cerebrales que actúan de forma concertada, en ocasiones contradictoriamente, y de una forma altamente interconectada. Más aún, esta cooperación (o tensión) puede adoptar formas muy diversas e implicar la interacción de distintas constelaciones de estructuras cerebrales en distintas personas, aunque su trabajo creativo se desarrolle en el mismo ámbito general de actividad.

En los capítulos que siguen examinaremos varios procesos cognitivos que trabajan de forma concertada para sustentar el proceso creativo, así como su maquinaria neural.

3

El cerebro conservador

CÓMO SABEMOS LO QUE SABEMOS

Comentábamos en el capítulo anterior que los neuropsicólogos de la vieja escuela solían ignorar, por inconsecuentes, los lóbulos frontales y el hemisferio derecho. ¿Cuáles eran, entonces, las áreas neurales que les interesaban? Esas «áreas» eran en realidad bastante escasas: ciertas partes del hemisferio izquierdo. Pero incluso en eso, la ciencia de la vieja escuela seguía un camino torcido, o por lo menos no del todo recto (ya no digo correcto). Es cierto que en una persona adulta el hemisferio izquierdo es la sede del lenguaje (algo que sabemos desde hace bastantes años), pero hace mucho más que eso. Y para poder entender por qué reside el lenguaje en el hemisferio izquierdo, primero debemos reconocer y analizar otras funciones, más fundamentales, que también residen en este hemisferio.

El cerebro no teje de la nada el nuevo conocimiento o las ideas creativas. Buena parte de lo que hacemos, tal vez la mayor parte de lo que hacemos, se modela en mayor o menor grado sobre información adquirida con anterioridad, incluso cuando se trata de la innovación más original y de los más sobresalientes actos de creatividad. La relación entre lo viejo y lo nuevo es íntima y fluida. El propio impulso de embarcarse en una búsqueda creativa suele tener sus orígenes en la impresión de que el conocimiento o las teorías establecidas son incapaces de dar solución a los problemas de interés, o que las formas

estéticas y artísticas no encuentran eco en las sensibilidades de la época o no satisfacen las necesidades expresivas del propio autor. Además, la innovación no es necesariamente un rechazo en bloque del conocimiento, las ideas o las creencias previamente acumulados. A menudo lo viejo se transforma en lo nuevo de una forma sutil y fluida.

Esto es cierto también con respecto a los mecanismos cerebrales de la innovación y la creatividad. El cerebro es una gran red. Aunque existan en ella subredes diferenciadas y dedicadas a tareas específicas, nunca están del todo separadas, sino estrechamente interconectadas y fuertemente superpuestas. Para entender los mecanismos cerebrales de la innovación y la creatividad, debemos entender también los mecanismos cerebrales de la representación del conocimiento establecido, del conocimiento que sirve de punto de partida para todo proceso creativo. En este capítulo, examinaremos cómo se representa el conocimiento en el cerebro.

¿Cómo se representa el conocimiento en el cerebro? Antes de abordar lo sublime debemos ocuparnos de lo aparentemente banal, porque la maquinaria cerebral subyacente es básicamente la misma. Pensemos en lo siguiente: constantemente encontramos en nuestro entorno objetos que son, en sentido estricto, nuevos para nosotros y singulares, y sin embargo no tenemos problemas para relacionarnos con ellos como si nos resultasen familiares. Durante unas vacaciones en un país exótico, paseamos por el mercado y vemos una chaqueta de un color insólito hecha con una tela que nunca habíamos visto, o quizá una lámpara de una forma inusual. Técnicamente, nunca antes nos habíamos encontrado con estos objetos, pero al instante sabemos qué son. Podemos comprarlos con una moneda que no nos es familiar, pero que de inmediato reconocemos como dinero. ¿Y a nadie se le ha ocurrido pensar en cómo es posible que en un restaurante exótico, durante unas vacaciones en una país exótico, seamos capaces de manejar al instante unos cuchillos, cucharas y tenedores de formas extrañas, pese a que nunca antes nos habíamos encontrado con esos cubiertos?

No hace falta que vayamos muy lejos para repetir esta *oximorónica* hazaña cada día y cada hora de nuestras vidas. Cuando en la calle nos

encontramos con gente que no conocemos, sabemos que son humanos y no perros, como sabemos también que los desconocidos perros que salen a pasear con aquella gente extraña son perros y no humanos. ¿Quién se ha preguntado alguna vez por qué ocurre así, por qué nos encontramos con cosas desconocidas pero al instante sabemos qué son? Es un proceso tan habitual, tan fácil, tan natural, igual que comer o beber, que lo más probable es que la mayoría nunca se hayan parado a apreciarlo.

El proceso que nos permite realizar estas hazañas, y en el que sobresale el hemisferio izquierdo, se conoce como «reconocimiento de patrones». A medida que nos vamos encontrando con objetos únicos pero parecidos, en nuestro cerebro se forma una representación mental que capta las propiedades esenciales que comparten esos objetos al tiempo que ignora los atributos superfluos. La representación mental de un «lápiz» recogerá su obligatoria forma alargada, con un extremo afilado y el otro romo, pero ignorará el color. La representación mental de un «plato» captará su forma redondeada y relativamente plana, con una concavidad en el medio, mientras que ignorará el diseño decorativo del borde. Eso son patrones. Así que cuando nos encontramos con un objeto nuevo que pertenece a la misma categoría de cosas, lo reconocemos como lo que es porque evoca y activa uno de los patrones previamente almacenados en el cerebro.

¿Cómo se representa un patrón en el cerebro? En términos neurobiológicos, un patrón es una red de neuronas fuertemente interconectadas. Cuando una parte de esa red es activada por una entrada sensorial (por ejemplo una imagen visual de un objeto de nuestro alrededor), el resto de la red también se activa. Esa activación de toda la red por una de sus partes es el mecanismo de reconocimiento de patrones mediante el cual el cerebro reconoce un objeto nuevo como miembro de una categoría familiar: una mesa, una silla o lo que sea.

Las ideas complejas se representan en el cerebro de una forma esencialmente parecida. Del mismo modo que experimentamos el mundo físico cotidiano a través del prisma de los patrones previos, también un científico, artista, empresario, político o líder corporativo

afronta sus retos a través del prisma de conceptos, formas artísticas o instituciones formados con anterioridad. Cuando un matemático mira una fórmula y reconoce en ella una ecuación lineal y no una cuadrática, el proceso de reconocimiento también se produce mediante la activación de una red que representa las propiedades esenciales que comparten las ecuaciones lineales. Cuando un crítico de arte mira un cuadro y lo reconoce como un producto de la Escuela Flamenca y no de la Escuela Holandesa, es también porque la imagen del cuadro activa neuronas de la red que codifica las propiedades esenciales que comparten los maestros flamencos en número suficiente para activar toda la red. Y cuando un médico examina a un paciente y al momento diagnostica la enfermedad, también eso es posible porque, sobre la base de la experiencia previa del médico, en su cabeza se ha formado una red neuronal que representa las propiedades esenciales de ese trastorno. Las redes neuronales que representan atributos esenciales de clases enteras de objetos parecidos (y aquí usamos la palabra «objeto» en un sentido laxo) reciben a veces el nombre de «atractores» porque «atraen» una multitud de entradas específicas. Es un término tomado de las matemáticas, pero de uso habitual en la neurociencia computacional. Esa atracción neural es el mecanismo de la experiencia subjetiva del reconocimiento. El hemisferio izquierdo es especialmente experto en el almacenamiento de atractores de todo tipo, sean o no de naturaleza verbal[1].

Supongamos ahora que un paciente presenta una serie de síntomas que el médico no ha encontrado con anterioridad; o que un físico encuentra un proceso que no puede describir por ningún tipo de ecuación; o que un artista tiene una idea, una pulsión creativa que no se presta a ser expresada mediante ninguna de las tradiciones artísticas establecidas; o, de manera más prosaica, que un simple objeto no se reconoce como algo familiar. El acto de reconocer no se produce porque el impacto de ese objeto sobre el cerebro no consigue activar ninguna de las redes atractoras previamente formadas.

El cerebro se ha encontrado con un nuevo reto. El sentimiento subjetivo de haber de enfrentarse a una novedad es, en muy buena parte, la consecuencia de que el hemisferio izquierdo no haya logrado dar con

una solución porque la información entrante no ha conseguido repercutir en ninguna de las redes atractoras formadas con anterioridad. De lo que ocurre entonces en el cerebro nos ocuparemos en los capítulos 6 y 7. Lo importante, llegados a este punto, es comprender que la búsqueda de una solución nueva suele ir precedida de la incapacidad de hallar soluciones conocidas para resolver el problema que nos ocupa.

EL MAPEO DEL MUNDO EN EL CEREBRO

Agnosias y hemisferio izquierdo

El reconocimiento de patrones es algo en lo que apenas reparamos, pero ciertas lesiones cerebrales pueden dar al traste con este proceso. Estas lesiones pueden ocasionar un tipo de trastornos que se conocen como «agnosias asociativas», en las que el paciente pierde la capacidad de reconocer objetos por su significado, o también «apraxias», en las que el paciente pierde la capacidad de realizar habilidades motoras que anteriormente tenía bien aprendidas. En cierto modo, es como si estas personas no se hubieran encontrado nunca antes con esos objetos. Si a un ciudadano del antiguo Egipto o de la Roma clásica le enseñáramos un teléfono móvil, podría describir sus características —plano, rectangular, de superficie lisa y cierto color—, pero no tendría la menor idea de lo que es, y no a causa de una lesión cerebral, sino porque en su cabeza no se habría formado anteriormente un patrón, una representación mental apropiada. De igual modo, y por la misma razón, tampoco sabría cómo dar cuerda a un reloj, manejar un volante o ir en bicicleta,.

Conviene observar que existen varias formas de agnosia asociativa y apraxia, y que, aunque pueden estar causadas por dolencias distintas (accidente cerebrovascular, demencia o trauma cerebral), todas comparten la misma propiedad neuroanatómica: para que se pierda la capacidad de reconocer cosas particulares como miembros de categorías genéricas, es necesario que quede afectado el hemisferio izquierdo[2]. Esta es la observación que ha llevado a concluir que el hemisferio izquierdo debe desempeñar un papel especialmente importante en el

almacenamiento y mantenimiento de los patrones que representan clases particulares de objetos o acciones. Claramente, la existencia de esos patrones es esencial para nuestra capacidad de desenvolvernos en nuestro entorno y manejarlo. Si se borraran de nuestro cerebro, o se degradaran, tendríamos que volver a aprender el significado de cada objeto, además de los movimientos necesarios para manipularlo. La vida sería imposible de manejar, imposible de vivir. Pero eso es justamente lo que les ocurre a algunos pacientes cuando su hemisferio izquierdo se ve afectado por una enfermedad.

Imaginemos que a uno de esos pacientes le enseño un lápiz (¡un ejemplo evocador en la era digital!) y le pido que lo describa. «Es una cosa larga y fina, con punta en un extremo, de sección redonda y aspecto brillante», nos diría, añadiendo una descripción precisa del color del lápiz. Hasta aquí, bien, pero cuando le pido que nombre el objeto, responde: «Es un cuchillo». ¿Acaso el paciente ha olvidado el significado de las palabras? Pues no, porque cuando le pregunto que describa la función del objeto y la demuestre con una pantomima, me dice que sirve para cortar comida, y se pone a representar la acción de cortar algo. El paciente ve realmente el lápiz como un cuchillo pese a haber identificado correctamente las características visuales del objeto.

Lo que acabamos de presenciar es una *agnosia visual de objetos*, una forma de agnosia asociativa. Aunque relativamente rara en su forma pura, este trastorno ha sido estudiado por diversos neurólogos y neuropsicólogos. Un paciente que describió Aleksandr Lúriya miró unas gafas y aventuró: «un círculo, luego otro círculo y una barra entre ambos… una bicicleta». Henry Hecaen y Martin Albert describieron a un paciente que percibía un lápiz y un cigarro como «objetos cilíndricos o palos diversos» y una bicicleta como «una barra con dos ruedas, una delante y otra detrás», pero era incapaz de identificarlos[3]. Lo que hace tan notable a la agnosia visual es que el paciente puede identificar correctamente los atributos visuales de un objeto o un dibujo, puede incluso dibujarlo correctamente, pero no sabe qué es. Tampoco es un déficit en su capacidad para nombrar las cosas, pues las palabras que utiliza para describir el objeto coinciden con la forma que describe y con

la pantomima que hace de su función. El paciente se comporta como si nunca antes hubiera visto ese objeto, aunque seguro que lo ha hecho. Es como si las representaciones mentales de las categorías de cosas, las que nos permiten reconocer objetos específicos como miembros de esas categorías (lápices como lápices y bicicletas como bicicletas), se hubieran borrado del cerebro del paciente, o al menos se hubieran degradado gravemente. Y eso es precisamente lo que ocurre. Hans-Lucas Teuber describió la percepción de esos pacientes como «despojada de significado».

Pero ahora llega el momento de la revelación. Si permito que el paciente tome el objeto en sus manos y lo examine al tacto, reconoce al momento que se trata de un lápiz. Y si aprieto varias veces el extremo romo del lápiz mecánico para exponer y esconder la punta de la mina, produciendo los peculiares sonidos de clic, también el paciente, al oír ese ruido característico, reconoce el objeto como un lápiz. Ahora sabemos que la representación mental de la categoría «lápiz» no se ha borrado del todo, solo su aspecto visual, pues en el momento en que se usan otras modalidades sensoriales, como la propioceptiva o la auditiva, el paciente reconoce sin problemas el objeto. La lesión responsable del peculiar trastorno conocido como *agnosia visual de objetos* se encuentra en el hemisferio izquierdo, en concreto en su región occipitotemporal.

Si nos movemos un poco más arriba y hacia delante en la corteza cerebral, pero sin salir del hemisferio izquierdo, nos encontramos con una área del lóbulo parietal que, si se lesiona, puede provocar un trastorno parecido, pero que afecta a la capacidad para reconocer objetos al tocarlos, a través de los canales táctiles y propioceptivos. Este trastorno se conoce como *astereognosia* pura. Imaginemos que colocamos un lápiz en las manos del paciente mientras este mantiene los ojos cerrados. La respuesta del paciente puede ser algo así: «Es una cosa larga y delgada, de forma cilíndrica y superficie lisa… Un palo de algún tipo». Pero en el momento en que abre los ojos, sabe exactamente de qué se trata, y dice: «un lápiz». Como en el ejemplo anterior, el paciente puede hacer una buena descripción de la forma y superficie del lápiz, pero no es capaz de integrar estos detalles sensoriales en un precepto

coherente, como si nunca antes se hubiera encontrado con esos objetos, solo que en este caso el déficit afecta y queda limitado al sentido táctil y propioceptivo.

Las lesiones en otra área del hemisferio izquierdo, esta vez en el lóbulo temporal, provocan un trastorno parecido, pero que afecta a la modalidad auditiva. Un paciente afligido por esta dolencia, conocida como *agnosia auditiva asociativa*, tendrá dificultad para identificar el origen de distintos sonidos de su entorno. Oirá el clic de un lápiz de punta retráctil y no sabrá de qué se trata. O, desde su casa, oirá el ruido de un buen chaparrón y, sin embargo, saldrá sin paraguas, salvo que vea la lluvia por la ventana. O, al contrario, quizá oiga el retumbar de una banda de tambores y salga de casa con un paraguas, convencido de que está cayendo un buen aguacero. En un test típico de la agnosia auditiva asociativa, al paciente se le pide que escuche grabaciones de distintos sonidos ambientales y señale en unos dibujos los objetos o seres vivos que producen los sonidos grabados. Esta tarea le resultará tremendamente confusa, y señalará el dibujo de un coche cuando escucha el sonido de un perro ladrando, o el dibujo de un perro al oír el rugido de un motor de automóvil.

Luego está la *apraxia*, un déficit en la planificación y ejecución de habilidades motoras aprendidas y familiares. La apraxia puede adoptar formas distintas que reciben nombres distintos. En la *apraxia ideacional* (o *ideatoria*) el paciente es incapaz de realizar los movimientos apropiados para la acción motora aprendida (por ejemplo, sostendrá un lápiz del mismo modo que uno sostendría un cepillo de dientes, o al revés). En la *apraxia ideomotora*, puede realizar una acción motora aprendida de forma automática, pero es incapaz de representarla mediante pantomima, sin sostener el objeto en cuestión (no puede, por ejemplo, hacer ver que se peina, pero sin peine, o que se cepilla los dientes, pero sin cepillo). En la *apraxia cinética* se ve afectada la transición suave entre los componentes de una habilidad motora compleja, como atarse los zapatos o ponerse la corbata.

Cualquiera de estos extraños trastornos puede tener su causa en lesiones cerebrales bilaterales, pero si la lesión es unilateral, lo más

probable es que el hemisferio afectado sea el izquierdo[4]. Eso nos lleva a pensar que, de algún modo, los patrones que nos permiten reconocer y manipular cosas nuevas y únicas como si fuesen familiares, los que nos libran de la pesadilla de tener que aprender de nuevo la función de cada objeto que encontramos en nuestro entorno, «reside» en el hemisferio izquierdo.

La cuestión del diseño del cerebro

¿De qué modo están representados esos patrones en el hemisferio izquierdo? Imaginemos que somos el diseñador (no me atrevo a decir «creador», que tiene demasiadas connotaciones que no pretendo invocar) de un cerebro artificial e intentamos averiguar de qué modo podemos representar el mundo exterior. Podemos considerar dos principios de diseño muy distintos. Según el primero de estos, todos los atributos de un objeto, como su tamaño y color, el sonido o el olor que emite, se «aglutinan» en una región concreta del cerebro. Según el otro principio, la representación está distribuida de manera que los distintos atributos del objeto residen en distintas partes del cerebro. Como nuestro cerebro es un producto de la evolución y no el resultado de un inspirado «diseño inteligente», y como eso de que «la evolución es sabia» es un concepto bastante vaporoso, no debatiremos las fortalezas y debilidades relativas de estas estructuras alternativas.

La neuroanatomía de las agnosias asociativas nos ofrece una ventana para ver cómo se representa el mundo físico en un cerebro sano, y resulta que el principio que prevalece es el segundo. ¿Cómo lo sabemos? Porque en ninguna de las agnosias asociativas se pierde o degrada gravemente toda la información sobre un objeto, solo sobre una parte, la vinculada a un sentido concreto: visual, táctil o auditiva. Los territorios que ocupan las distintas agnosias asociativas se encuentran bastante dispersos por la corteza del hemisferio izquierdo. Por consiguiente, podemos concluir que los procesos normales cuyo deterioro produce agnosias también se encuentran distribuidos por el cerebro (véase la figura 3.1). La mayoría de las cosas tienen múltiples atributos (visuales,

auditivos, táctiles) y estos atributos se codifican en distintas partes del hemisferio izquierdo, lo que da lugar a representaciones mentales altamente distribuidas.

Así pues, a raíz de los estudios sobre los efectos de las lesiones cerebrales, podemos decir que es sobre todo el hemisferio izquierdo el que sirve de repositorio donde guardar nuestra experiencia previa con el mundo. Esta experiencia se recoge de una forma generalizada en forma de patrones que nos sirven para interpretar nueva información a su llegada.

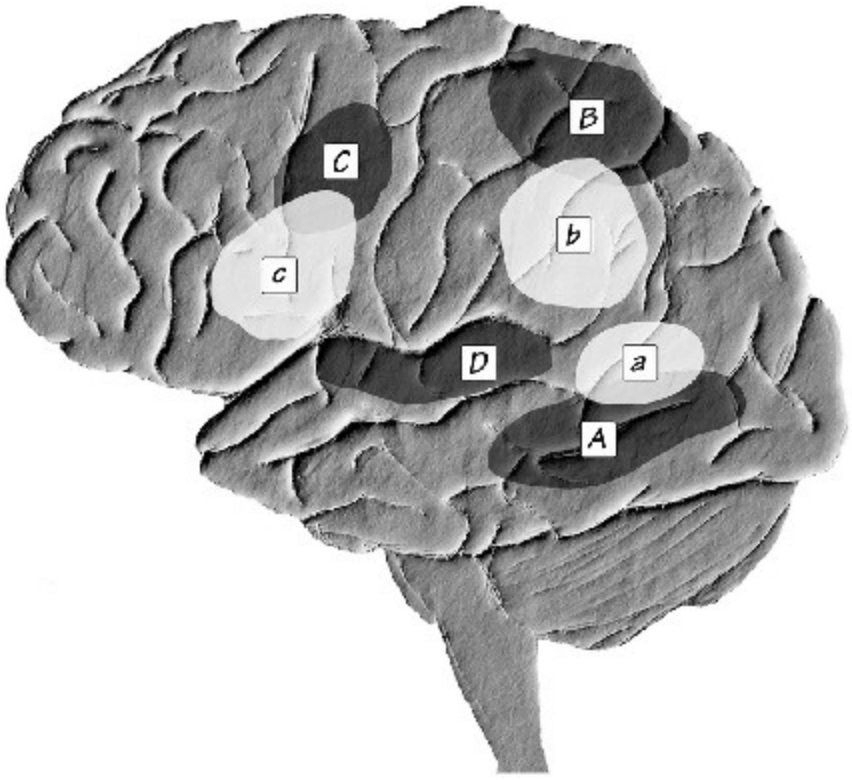


Figura 3.1. Territorios corticales de las anomias, apraxias y agnosias asociativas. (A) agnosia visual de objetos, (B) astereognosia pura, (C) apraxia, (D) agnosia auditiva asociativa.

(a) Anomia para colores y palabras de objetos, (b) anomia para términos de relación, (c) anomia para palabras de acción.

Agnosias y hemisferio derecho

Los efectos de los daños cerebrales nos permiten vislumbrar también la función del hemisferio derecho, y la imagen que se forma es muy distinta. Las lesiones en el hemisferio derecho pueden provocar *agnosias aperceptivas*, en las que el paciente pierde la capacidad de reconocer un objeto o un ser vivo como una misma entidad en un entorno que cambia de manera constante. Pensemos en ello. Vemos una cosa, por ejemplo un utensilio de la casa o una pieza de vestir, en numerosas ocasiones, y no dudamos que se trata del mismo objeto, y eso a pesar de que las entradas sensoriales nunca son exactamente las mismas: nunca observamos el mismo objeto a la misma distancia exacta, con el mismo ángulo o bajo la misma luz. Tampoco lo tocamos exactamente con la misma fuerza y el mismo agarre (por no mencionar el desagradable hecho de que a veces, por suerte no siempre, podemos tener la mano sudorosa). Tampoco, y por razones parecidas, es exactamente igual la entrada sensorial que recibimos de la cara o la voz de una misma persona cada vez que hablamos con ella. De algún modo, el cerebro posee la capacidad de desechar el «ruido» sensorial y reconocer las cosas por sí mismas, por mucho que sus impresiones sensoriales en nuestro cerebro nunca sean exactamente iguales. Esta capacidad, que suele conocerse como *constancia perceptual*, parece estar vinculada de una manera especialmente estrecha con el hemisferio derecho, ya que son las lesiones en este hemisferio las que con mayor probabilidad la trastornan.

La agnosia aperceptiva se presenta en formas diversas. Para una especie social como la nuestra, la capacidad de conocer objetos únicos bajo unas condiciones sensoriales en continuo cambio es especialmente importante cuando se refiere a los rostros humanos, pues conviene saber que Anna es Anna, y no Mary ni un rostro genérico de mujer caucásica de edad mediana. Cuando se pierde la capacidad de reconocimiento facial se produce una forma especialmente dramática de agnosia aperceptiva conocida como *prosopagnosia* (que, en traducción literal del griego, significa «carecer del conocimiento de caras»), que suele tener su causa en lesiones en la corteza fusiforme, en la región occipitotemporal del cerebro. Si a uno de estos pacientes se le enseñan fotos de varias personas tomadas desde ángulos distintos, tiene dificultades para decidir

qué fotos corresponden a la misma cara. En los casos más graves, esta capacidad puede verse trastornada incluso ante las propias personas. Imaginemos lo que sería entrar en una oficina o una clase y encontrarse rodeado de personas que conocemos, pero que somos incapaces de reconocer, de saber quién es quién. ¡Como poco, una inconveniencia! El neurólogo y escritor Oliver Sacks, que diagnosticó en sí mismo una forma leve de este trastorno, lo describió en su famoso libro *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*[5].

«¡Tú no eres tú!»

Un trastorno peculiar, relacionado con el anterior, es el *síndrome de Capgras* (por su descubridor, el psiquiatra francés Joseph Capgras), que también se conoce como «síndrome de reduplicación»[6]. Un paciente con síndrome de Capgras reconocerá un rostro familiar pero se negará a aceptarlo a primera vista, por así decirlo. Mirará a una persona que le es familiar y dirá: «Desde luego, te pareces a mi vecino John, pero no eres John, eres su doble». El síndrome de Capgras suele explicarse postulando una disociación entre la percepción de una persona y la experiencia afectiva asociada con su cara. Esta explicación podría ser acertada, pero hay otra más sencilla y parsimoniosa: que el síndrome de Capgras es una manifestación de un deterioro de la constancia perceptual. En términos técnicos, a un observador otra persona nunca se le presenta de la misma manera, y si se debilitan los mecanismos de la constancia perceptual, se magnifica la experiencia de que esa otra persona «no parece la misma». Dependiendo del punto de vista, podemos pensar en el síndrome de Capgras como una forma de prosopagnosia, como el déficit de reconocimiento facial, o bien como su inverso, como un reconocimiento más fino de las más pequeñas diferencias entre caras. En cualquier caso, el reconocimiento facial está claramente afectado, y también en este caso debe producirse una lesión en el hemisferio derecho para que se manifieste este peculiar trastorno.

En su conjunto, estas observaciones clínicas apuntan a una marcada división del trabajo entre los dos hemisferios. El izquierdo se ocupa

sobre todo de identificar las cosas como miembros de amplias categorías previamente aprendidas (como cuando reconocemos distintos objetos por lo que son). En cambio, el hemisferio derecho se ocupa sobre todo de identificar cosas como entidades únicas (como los rostros humanos). Ambas habilidades cognitivas son esenciales para desenvolverse en el complejo y siempre cambiante mundo que nos rodea, y la disrupción de cualquiera de ellas disuelve ese mundo en un caos perceptual, pero de maneras muy distintas.

CÓMO ENCONTRÓ SU ASIENTO EL LENGUAJE

Palabras y patrones

El lector, sin duda atento, puede sentirse perplejo por el poco parecido entre el contenido de este capítulo y la explicación más habitual del hemisferio izquierdo «dominante» que habrá encontrado en tantos libros y artículos. ¿Dónde está el lenguaje? ¿Qué relación existe entre el papel que desempeña el hemisferio izquierdo en el reconocimiento de patrones y el papel que desempeña en el lenguaje? ¿Qué vínculo existe entre estas dos narrativas? No hay razón para preocuparse. El lenguaje está muy presente en la imagen que estamos esbozando, y bien podría decirse que debe su afiliación con el hemisferio izquierdo, e incluso su propia existencia, a los mecanismos de reconocimiento de patrones que acabamos de describir. Pero ¿de qué modo?

El lenguaje es una herramienta cognitiva de tan extraordinario poder gracias a diversos atributos. Es una herramienta de comunicación. Es una herramienta para crear un número casi infinito de enunciados (más sobre esto en el capítulo 4). Y es también una herramienta para representar el mundo que nos rodea. Este es un aspecto fundamental del lenguaje, pues sin él no habría habido nada que comunicar ni contenido alguno que generar. Sí, estoy completamente de acuerdo con Noam Chomsky, sin reserva alguna, cuando dice que la generatividad y la estructura gramatical son las dos principales características que definen el lenguaje (más sobre esto también en el capítulo 4), pero sin el contenido

representacional, la generatividad no pasa de ser un conjunto de formalismos vacíos[7].

Representamos el mundo que nos rodea, así como nuestras intenciones, planes y suposiciones, por medio de palabras que representan diversos objetos, acciones y relaciones, además de conceptos abstractos. Es habitual distinguir entre palabras concretas (mesa, silla, sentarse, caminar) y abstractas (independencia, sabiduría, equivocarse, deducir). Cada palabra es más que una voz: representa un concepto, y hasta las palabras más concretas son abstracciones de orden superior. No inventamos una palabra distinta para cada silla o cada mesa, para cada acto de caminar o de sentarse. El solo hecho de que usemos la misma palabra, «silla», para referirnos a un enorme número de sillas individuales refleja el alto nivel de abstracción inherente a esta humilde y prosaica palabra. Aunque usemos palabras como esta para referirnos a objetos específicos, en realidad se refieren a abstracciones. Durante los primeros estadios de formación del lenguaje, en los albores de nuestra especie, antes de desarrollar un léxico (la colección de piezas fundamentales para construir todo lenguaje), nuestros antepasados lejanos ya debían poseer la habilidad de abstraer patrones a partir del mundo que los rodeaba, desconcertante por su diversidad y en continuo cambio, de manera que la misma palabra pudiera relacionarse con una multitud de objetos específicos. Sin este requisito previo, sin la habilidad para extraer patrones del entorno, los primeros léxicos no habrían podido dar lugar a una herramienta cognitiva eficaz, pues cada objeto concreto habría tenido que ser representado por una palabra distinta, y eso habría introducido más confusión que orden en el mundo ya de por sí desconcertante de nuestros ancestros.

En efecto, la capacidad para la abstracción como requisito previo de las primeras palabras de un «protolenguaje» ya ha sido señalada por diversos psicólogos evolutivos. La habilidad para extraer patrones que capten las propiedades compartidas por grandes números de objetos específicos del entorno está presente en grado variable en cualquier animal capaz de aprender, y alcanza un considerable nivel de abstracción en los primates. Según el psicólogo evolutivo Richard Byrne, el

perfeccionamiento de esta habilidad se produjo hace aproximadamente dieciséis millones de años en el antepasado común de los grandes simios y los humanos, y sirvió como «precursor esencial del posterior desarrollo del lenguaje en el linaje de los homínidos»[8]. (Curiosamente, en el desarrollo individual de un niño o niña en el mundo moderno, la relación entre la percepción y el lenguaje suele estar invertida, de manera que es en el curso de la adquisición del lenguaje cuando los niños aprenden a ordenar en patrones el mundo que los rodea, ahorrándose así el desarrollo cognitivo individual gracias a que internalizan el conocimiento previamente acumulado por la especie, que está codificado en el lenguaje).

¿Cómo acabó el lenguaje en el hemisferio izquierdo? Para empezar, consideremos la siguiente paradoja. El lenguaje es un recurso cognitivo fundamentalmente nuevo que nos separa de otras especies, incluso de nuestros parientes más cercanos, como el chimpancé y el bonobo. Sin embargo, la aparición del lenguaje no vino acompañada de la aparición de una estructura neural distinta y totalmente nueva; por así decirlo, no se formó en el cerebro humano un lóbulo nuevo que faltase en otros primates. No cabe duda de que el cerebro humano es distinto del de otros primates en muchos sentidos, pero su macroarquitectura fundamental es muy parecida. De algún modo, el lenguaje se asentó en un terreno que ya existía en otros primates. Pero ¿cómo?

Hay muchas teorías que intentan explicar el vínculo entre el lenguaje y el hemisferio izquierdo. Una explicación posible es la que propuso Norman Geschwind, posiblemente el neurólogo evolutivo más destacado de su generación, y sus colaboradores. Lo que descubrieron fue que la región del cerebro conocida como «plano temporal» es mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Al poco tiempo se descubrió que otra área, llamada *porción opercular* (u *opérculo frontal*), era mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Y lo mismo pasaba con otra región adyacente, la *porción triangular*[9].

Estas áreas son importantes para el reconocimiento y la producción del habla, y esto, suponiendo que «cuanto más grande, mejor», podría explicar por qué el hemisferio izquierdo está mejor preparado para

sustentar el lenguaje. Pero estas regiones también son más grandes en el hemisferio izquierdo de los grandes simios, los cuales, con el debido reconocimiento que merecen sus habilidades cognitivas, carecen de lenguaje, al menos no en su definición convencional estricta. Esto, a su vez, significa que cualquier vínculo posible entre el lenguaje y el mayor tamaño del plano temporal o del opérculo frontal es el resultado de una «reasignación» funcional de ciertas características de la estructura del cerebro cuyo desarrollo original respondía a unas presiones evolutivas muy distintas, o incluso fueron el resultado de procesos aleatorios. La aparición de nuevas funciones en la evolución es un proceso que ni es ordenado ni es parsimonioso, sino que a menudo es un revoltijo de múltiples adaptaciones distintas y separadas que de algún modo son «apropiadas» para sustentar nuevas funciones de un modo que un «diseñador inteligente» consideraría bastante extraño. Esto significa, a su vez, que muchas adaptaciones evolutivas son el producto conjunto de muchos procesos. La parsimonia es algo que uno podría esperar de un «diseñador inteligente» contratado por Google para producir un cerebro artificial, pero está fuera de lugar cuando se trata de entender los trompicones que se suceden en todo proceso evolutivo. Junto a estos factores (como las asimetrías del plano temporal y el opérculo frontal), la organización cortical de reconocimiento de patrones debe haber desempeñado algún papel en la formación de la representación cortical del lenguaje. Del mismo modo que la *existencia de reconocimiento de patrones* muy probablemente jugara un papel al permitir la aparición del lenguaje, la *neuroanatomía del reconocimiento de patrones* debió influir de algún modo en la neuroanatomía del lenguaje.

Más sobre el diseño del cerebro

Metámonos una vez más en la piel de un imaginario diseñador. Para el léxico (el uso y significado de las palabras), hay dos diseños posibles y radicalmente distintos: uno consiste en juntarlo todo y colocarlo en un lugar concreto del cerebro, y el otro en distribuirlo por todo el cerebro. Del mismo modo que los estudios sobre las agnosias nos informan sobre

cómo resolvió el cerebro este dilema en el caso de la percepción, los estudios sobre los trastornos del lenguaje, las *afasias*, arrojan luz sobre cómo está organizada la representación cortical de un léxico.

El segundo diseño ganó la partida. La representación cortical del léxico está distribuida, y además lo está de forma paralela a la representación cortical del mundo físico. En un hablante nativo adulto, la capacidad de entender y usar correctamente palabras que denotan objetos (nombres), acciones (verbos) o relaciones espaciales o de otro tipo (preposiciones) queda trastornada a consecuencia de lesiones en regiones distintas y separadas del hemisferio izquierdo. Las lesiones en la región posterior del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo, en la frontera con el lóbulo occipital, altera la producción y comprensión de palabras que denotan objetos (nombres). En cambio, las lesiones en un área de la región posterior del lóbulo frontal izquierdo altera la producción y comprensión de palabras que denotan acciones (verbos). Ambos tipos de lesiones pueden provocar un fenómeno conocido como «parafasia», un trastorno en el que la palabra que se pretende utilizar queda sustituida o bien por una palabra incorrecta, o bien por un neologismo, una «no palabra» que suena como una palabra (los neologismos no son exclusivos de los pacientes neurológicos; muchas palabras que hoy usamos con frecuencia, como «friki» o «chatear»[*] comenzaron siendo neologismos y luego se adoptaron como palabras reales). Pero los tipos de parafasias que provocan las dos lesiones focales que acabamos de mencionar son distintas y reveladoras: cuando la lesión afecta a la región posterior del lóbulo temporal izquierdo, el paciente tiende a usar palabras de acción (verbos) para compensar su incapacidad para encontrar las palabras de objetos (sustantivos), de modo que usa «mirador» en vez de «gafas» o «escritor» en lugar de «bolígrafo». Cuando la lesión afecta a la parte posterior izquierda de la región frontal, ocurre lo contrario: el paciente puede decir «yo gafas» en lugar de «yo miro» cuando se le pregunta qué hace con las gafas[10].

Los estudios con neuroimagen son coherentes con estas antiguas observaciones clínicas. En un elegante experimento con tomografía por emisión de positrones (TEP), Alex Martin y sus colaboradores les

pidieron a sus sujetos, neurológicamente sanos, que examinasen dibujos de animales y herramientas y dijesen cómo se llamaban. En ambos casos, en el cerebro se encendían «áreas del lenguaje», pero con diferencias: nombrar animales activaba la corteza visual izquierda del lóbulo occipital, donde se almacena la información sobre la apariencia visual, mientras que nombrar herramientas activaba la corteza premotora izquierda, que también está involucrada en la ejecución de una acción[11]. Los resultados de estudios realizados con estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr) apuntan en la misma dirección: la supresión de la región anterior de la circunvolución frontal media del hemisferio izquierdo (donde reside el control de las acciones) interfiere en la producción de verbos (palabras que denotan acciones relacionadas con lo que hacemos con las cosas), pero no en la producción de nombres[12].

Conviene aclarar qué muestran y qué no los estudios de lesiones con neuroimagen. Lo que nos muestran es que ciertas regiones corticales son especialmente importantes para representar diversos aspectos del mundo físico mientras que otras lo son para representar varias partes del léxico. Sin embargo, no nos muestran que la representación cortical de tipos específicos de objetos o ítems léxicos (palabras) esté restringida a territorios corticales específicos y estrictamente definidos. Bien al contrario, estas representaciones están ampliamente distribuidas por la corteza, y su topografía cortical exacta probablemente se halle sujeta a una considerable variabilidad, que reflejaría las diferencias individuales en las experiencias. No obstante, ciertas regiones están más estrechamente vinculadas que otras con estas representaciones distribuidas.

La siguiente observación es crítica para entender cómo acabó el lenguaje en el hemisferio izquierdo. Resulta que las dos representaciones distribuidas, la del mundo físico y la del lenguaje que lo describe, se encuentran estrechamente enlazadas: los nombres implican a áreas adyacentes a la representación visual del mundo físico (curiosamente, en los primates, como en nosotros, la modalidad visual es la dominante), los verbos implican a áreas corticales adyacentes a la corteza motora que controla los movimientos, y las preposiciones implican a áreas corticales

adyacentes que representan los atributos del mundo físico que conocemos a través de los canales táctil y propioceptivo (véase la figura 3.1).

¿Qué fue primero?

Las dos representaciones corticales, la del mundo físico y la del lenguaje, se encuentran distribuidas y unidas entre sí como un par de gemelos pegados por la cadera. Esta disposición paralela de la percepción y el lenguaje tiene demasiado sentido desde un punto de vista computacional como para ser una simple coincidencia: es mucho más probable que el lenguaje resida en el hemisferio izquierdo porque la representación genérica del mundo físico ya se había establecido en este hemisferio. En la «búsqueda» evolutiva de un terreno cortical donde erigir un nuevo recurso cognitivo (el lenguaje), las áreas adyacentes a las áreas corticales donde reside aquello que denotan, o incluso solapadas con ellas, proporcionan la asignación de espacio cortical más económica desde un punto de vista computacional. Al fin y al cabo, el léxico representa el mundo en términos genéricos, del mismo modo que los patrones distribuidos cuya disrupción provoca las agnosias asociativas.

Nos encontramos ahora con un interesante problema del tipo de «la gallina y el huevo»: ¿fue el mapeo cortical del reconocimiento de patrones el que determinó el mapeo cortical del léxico, o fue más bien el mapeo cortical del léxico el que determinó el del lenguaje? La segunda de estas posibilidades ha sido considerada por varios científicos cognitivos bajo el nombre de «efecto bola de nieve» del lenguaje sobre la percepción. De acuerdo con este punto de vista, la percepción categórica acabó en el hemisferio izquierdo porque está dirigida por el lenguaje y por la afiliación de este con el hemisferio izquierdo[13]. Este punto de vista resulta atractivo, y adquiere cierto sentido porque está muy arraigada la idea de que el lenguaje es la función definitoria del hemisferio izquierdo. Hay algo bueno y algo malo en este punto de vista. Lo bueno es que, a diferencia de muchas teorías psicológicas, es falsable. Lo malo es que probablemente sea incorrecto.

Comencemos por lo de que es falsable y sigamos un razonamiento lógico. Supongamos que el reconocimiento de patrones acabó en el hemisferio izquierdo porque también es ahí donde reside el lenguaje. Eso implicaría que la división del trabajo entre los dos hemisferios que hemos comentado primero, con la percepción categórica vinculada con el hemisferio izquierdo y la percepción de lo único con el hemisferio derecho, debería estar presente solamente en los humanos, pues solo ellos poseen el lenguaje. Al contrario, si se comprobase que esa división del trabajo entre hemisferios ya se encuentra en otras especies, implicaría, como poco, que su aparición habría sido anterior a la aparición del lenguaje durante la evolución. Esto, a su vez, implicaría que el hecho de que el lenguaje también acabase en el hemisferio izquierdo es o bien una coincidencia con el hecho de que el hemisferio izquierdo sea también la sede del reconocimiento de patrones, o, lo que es más probable, que se sigue de este. Más aún, cuanto mayor sea la variedad de especies caracterizadas por esa división del trabajo entre los hemisferios (categorías en el izquierdo, entidades únicas en el derecho) y cuánto más alejadas se encuentren esas especias de la nuestra en términos evolutivos, menos fuerza le quedará a la retaguardia que sostiene que algún tipo de misterioso «protolenguaje» desempeñó un papel en la génesis de esa división.

Son abundantes las pruebas de que la división del trabajo que ha llevado al hemisferio izquierdo a destacar en el reconocimiento de patrones genéricos («categóricos») y al derecho a sobresalir en el reconocimiento basado en características únicas está generalizado entre especies, y no todas de primates, ni tan solo de mamíferos[14]. Tomemos como ejemplo el caso de las palomas. Cuando se las entrena para reconocer imágenes de humanos, procesan esos estímulos categóricamente si se presentan las imágenes al ojo derecho (y, por consiguiente, al hemisferio izquierdo, puesto que los nervios están cruzados) y en términos de características únicas si las imágenes se presentan al ojo izquierdo (y, por lo tanto, al hemisferio derecho)[15]. Las palomas también son mejores con el ojo derecho que con el izquierdo (con el hemisferio izquierdo más que con el derecho) cuando

aprenden patrones generales, y manifiestan una clara lateralización del procesamiento ascendente (*bottom-up*, impulsado por las entradas sensoriales) en el hemisferio derecho y del procesamiento descendente (*top-down*, guiado por patrones previamente formados) en el hemisferio izquierdo[16].

En varias especies de mamíferos (monos, perros, leones marinos, ratones y gerbillos), el hemisferio izquierdo es mejor en el reconocimiento de llamadas que sirven para transmitir información a otros miembros de la misma especie y son reconocidas por todos ellos, un proceso que es claramente categórico aunque no sea verbal. En cambio, el hemisferio derecho es mejor que el izquierdo en el reconocimiento de voces conespecíficas, es decir, de ejemplares únicos de su propia especie, en ovejas[17] y monos rhesus. Y nuestros mejores amigos, los perros, emplean sobre todo el hemisferio derecho para reconocer rostros humanos concretos[18]. De igual modo, en los monos las lesiones cerebrales lateralizadas provocan efectos muy parecidos a las agnosias humanas descritas al principio de este capítulo. Por ejemplo, los macacos japoneses y los monos rhesus reconocen mejor las voces específicas de la especie (conespecíficas) con su oído derecho, y las lesiones en el lóbulo temporal izquierdo del mono (pero no en el derecho) tienen un efecto particularmente disruptivo sobre esta capacidad[19]. Todas estas observaciones implican que el reconocimiento de patrones ya existe en otras especies, y lo mismo ocurre con la división del trabajo entre el reconocimiento de patrones categóricos y el reconocimiento de patrones únicos. La capacidad para el reconocimiento de patrones y su afiliación con el hemisferio izquierdo es un rasgo generalizado de la organización cerebral en muchas especies, y se adelantó a la aparición del lenguaje en varios millones de años.

Por todas estas razones, no es en absoluto descabellado concluir que la organización cortical del reconocimiento de patrones desempeña un papel importante en la génesis de la organización cortical del lenguaje, y en particular del léxico, y lo dirige hacia el hemisferio izquierdo. Es así como resolvemos el dilema de «la gallina y el huevo» y enlazamos los dos discursos, el que vincula el hemisferio izquierdo con el reconocimiento

de patrones y el que lo vincula con el lenguaje. En consecuencia, propongo una nueva manera de entender cómo acabó el lenguaje en el hemisferio izquierdo: el vínculo entre el lenguaje y el hemisferio izquierdo fue no ya precedido en la evolución, sino en gran medida causado por el vínculo entre el hemisferio izquierdo y el reconocimiento de patrones perceptivos genéricos. (Como se ve, es posible introducir ideas nuevas sin rechazar las antiguas, un buen ejemplo de la íntima y fluida relación entre lo viejo y lo nuevo).

Los estudios sobre la especialización hemisférica en otras especies tienen una historia relativamente larga, y hace tiempo que sabemos que la percepción ya está lateralizada en los primates y, por consiguiente, debe ser independiente del lenguaje[20]. Investigaciones más recientes han confirmado esta semejanza básica en la forma en que se organiza la percepción en distintas especies de primates[21] (mucho más sobre este tema en el capítulo 8). Pero, entonces, ¿por qué este conocimiento no ha logrado hacer mella en el modo en que aún hoy siguen pensando en la especialización hemisférica la mayoría de los neurocientíficos y neuropsicólogos cognitivos? ¿Se debe acaso a la arraigada suposición sobre la exclusividad de nuestra especie o a los fastidiosos efectos de la balcanización (la fragmentación de un área de conocimiento, que ya hemos comentado), o acaso a ambas?

«GRADIENTES ISOMÓRFICOS»

La lección general que extraemos de los efectos de las lesiones cerebrales es que el modo en que las categorías perceptivas y lingüísticas se representan en la corteza no es modular: no se representan como un conjunto de «células de la abuela»[*], ni siquiera de «regiones de la abuela», sino de un modo continuo y distribuido. Yo me sentí atraído hacia esta conclusión siendo estudiante en la Universidad de Moscú en la década de 1960, probablemente como reacción a la concepción modular y localizacionista del cerebro que me estaban enseñando. Para aprehender esta idea, desarrollé el concepto de «gradientes cognitivos», mapeos continuos del espacio cognitivo sobre el espacio neocortical, y

escribí un artículo con un título digno de la ambición de la juventud, «La aproximación de gradientes a la organización funcional neocortical», en el que llegué incluso a proponer un «isomorfismo neuroanatómico-funcional». La idea iba tan a contracorriente del dogma modular imperante en aquel momento que me resultó difícil publicar el artículo, y tras ser rechazado por varias revistas en las que creía que tendría más impacto, fue finalmente publicado veinte años más tarde en una revista (y luego como capítulo de libro) en el que su impacto, como era de esperar, fue bastante modesto[22].

Sea como fuere, aquellas primeras intuiciones sobre la naturaleza de gradiente de la organización cortical funcional y sobre el «isomorfismo funcional-neuroanatómico» se sustentaba en observaciones de baja tecnología sobre efectos de lesiones cerebrales, por su propia naturaleza poco finas y desprovistas de precisión neuroanatómica o cognitiva. Fueron necesarios otros veinte años para que fuera confirmada, elaborada y precisada mediante un método de neuroimagen funcional conocido como «análisis de similitud representacional», gracias a un importante estudio llevado a cabo por un equipo de neurocientíficos del Instituto Helen Wills de Neurociencia de la Universidad de California en Berkeley, dirigido por Alexander Huth[23].

Estos investigadores usaron resonancia magnética funcional (RMf) para registrar la actividad cerebral de sujetos sanos mientras miraban películas. ¿Por qué películas? Porque las películas contienen una gran variedad de objetos y actividades representativas de la experiencia humana cotidiana. A partir de estos registros se extrajeron los patrones de activación cortical de 1705 categorías de objeto y acción, y la relación entre estos patrones de activación cortical se comparó con la relación entre las categorías semánticas correspondientes, tal como se especifican en WordNet, una base de datos de la lengua inglesa concebida por George Armitage Miller, uno de los más destacados psicólogos americanos y padre fundador de la psicología cognitiva como disciplina[24]. Lo que encontraron fue que las categorías semánticas se mapeaban sobre el espacio cortical siguiendo «gradientes suaves». Este mapeo sugería una relación prácticamente isomórfica entre el espacio

semántico y el espacio cortical que además era similar entre los cinco sujetos que participaron en el estudio. En una segunda investigación con RMf, los neurocientíficos de Berkeley elaboraron un mapa cortical del sistema semántico basado en los patrones de activación cortical mientras los sujetos escuchaban unos largos relatos. Una vez más, se puso de manifiesto un mapeo de las categorías semánticas sobre la corteza cerebral en forma de gradiente[25].

¿EL LADO POSITIVO DE LA DEMENCIA?

La demencia es, sin duda, un terrible trastorno que se presenta en formas muy diversas. Todo el mundo ha oído hablar de la enfermedad de Alzheimer y de los déficits de memoria que la acompañan. Pero ni esta enfermedad es la única forma de demencia, ni la memoria la única función cognitiva que puede quedar afectada. La demencia frontotemporal (DFT, antiguamente conocida como enfermedad de Pick) afecta a los lóbulos frontales (sobre todo a sus subdivisiones orbitofrontales) y al lóbulo temporal (en particular a su parte anterior). Según cuál de estas regiones quede más afectada, el resultado puede ser o bien un deterioro de la razón, con un pobre control de los impulsos y pérdida de inhibiciones sociales; o bien un deterioro del lenguaje; o bien ambos. La DFT tiende a afectar a una edad más temprana que la enfermedad de Alzheimer, a menudo cursa con un deterioro más rápido, y cuando están afectados los lóbulos frontales, suele presentarse con «anosognosia», es decir, el paciente no es consciente de sus déficits. Cuando oímos hablar de una persona de edad avanzada que comienza a mostrar conductas impulsivas, inanes, socialmente inadecuadas e impropias de su carácter, debe considerarse la posibilidad de la DFT. En mi anterior libro, *The New Executive Brain*, comento el caso de un cirujano que después de realizar una operación con plena competencia técnica, grabó sus iniciales en el abdomen del paciente y luego explicó que la operación quirúrgica que había realizado era una «obra maestra» que no podía dejar de firmar. Cuando, como era de esperar, fue acusado de un delito, sus abogados argumentaron con éxito que sufría la

enfermedad de Pick. Y no hace mucho una paciente a la que acabé diagnosticando DFT insistía en bailar en mi consulta con mi (mucho más joven) ayudante de clínica en prácticas.

No obstante, en algunas ocasiones la DFT viene con un peculiar lado positivo. Se ha observado que a pesar del impacto, por lo general devastador, de esta demencia, a veces los pacientes exhiben una creatividad artística de la que carecían antes de la enfermedad. Bruce Miller y colaboradores estudiaron cinco pacientes que se convirtieron en artistas visuales en los primeros estadios de la DFT. En cuatro de los cinco, el lenguaje y las habilidades sociales se habían visto gravemente afectados, pero las habilidades visuoespaciales se habían salvado. La neuropatología o SPECT (siglas en inglés de tomografía computarizada de emisión monofotónica) indicaron que la corteza prefrontal dorsolateral no se había visto afectada, pero sí el lóbulo temporal anterior, probablemente con una especial afectación del hemisferio izquierdo[26].

¿Cuál es el mecanismo que subyace a este agridulce don al final de la vida? La repuesta podría estar en los experimentos del neurocientífico australiano Allan Snyder. Allan propuso que el papel generalmente útil de los patrones que residen en el hemisferio izquierdo se cobra un precio. En efecto, estos patrones nos permiten percibir el mundo en términos categóricos, con todos los beneficios adaptativos que ya hemos comentado anteriormente en este capítulo, pero también nos fuerzan a percibir el mundo en ciertas formas preconcebidas y predecibles. Este fenómeno, un tanto afín a los fenómenos Gestalt originalmente descritos por los psicólogos alemanes de principios del siglo XX Kurt Koffka, Wolfgang Koehler, Max Wertheimer y Kurt Lewin, nos lleva a percibir el mundo exterior tal como esperamos que sea más que como realmente es. Al «liberar» a la percepción de la influencia de los patrones previamente formados, es posible que se torne más precisa, más sensible a los matices y abierta a nuevas posibilidades. Allan intentó conseguir lo mismo mediante la estimulación magnética transcraneal (EMT) de baja frecuencia aplicada a las regiones corticales del lóbulo temporal izquierdo de sujetos sanos, con el objetivo de inhibir de forma temporal

la parte del cerebro donde normalmente residen los patrones. Además, como la relación entre los dos hemisferios es, en buena medida, de inhibición mutua a través del cuerpo calloso y las comisuras, la inhibición del hemisferio izquierdo probablemente estimulase la activación del hemisferio derecho. El resultado fue una mejora drástica de la precisión y los detalles y matices de los dibujos realizados por los sujetos. A partir de estos hallazgos, Allan afirmó que en todos nosotros hay oculto un «savant» artístico, que «reside» en el hemisferio derecho y que puede ser «liberado» si se elimina el impacto restrictivo del hemisferio izquierdo[27].

Pero no tenemos que centrarnos en esos «savants»; basta con que examinemos de qué modo estos fascinantes hallazgos nos ayudan a entender la tardía «creatividad» de pacientes de DFT. Hay observaciones que indican que la atrofia cerebral es asimétrica en los afectados por DFT: las estructuras orbitofrontales y del lóbulo temporal del hemisferio izquierdo quedan más afectadas que las del hemisferio derecho. Las causas de esta asimetría no están claras, pero podrían reflejar una aberración de la expresión génica asimétrica en la neocorteza[28]. De ser así, el efecto de estimulación de la creatividad que Allan Snyder provocó en sus sujetos neurológicamente intactos al suprimir temporalmente ciertas regiones de su hemisferio izquierdo mediante EMT, podrían dibujar un paralelismo con lo que ocurre en pacientes de DFT a causa de la lateralización de su atrofia cerebral, aunque en este caso de forma irreversible y con un coste inaceptable.

Se han descrito efectos parecidos en tres pacientes con «demencia semántica», un trastorno que afecta al lenguaje y que se encuentra estrechamente emparentado con la demencia frontotemporal. En cierta fase del progreso de la enfermedad, los pacientes comienzan a demostrar una creatividad verbal hasta entonces desconocida en ellos, y entonces escriben poesía, disfrutan con innovadores juegos de palabras y hasta escriben un falso libro de estilo. En estos tres casos, la atrofia cortical era especialmente prominente en las estructuras temporales mediales del hemisferio dominante para el lenguaje (habitualmente el izquierdo)[29].

Obviamente, toda creatividad que aparezca en pacientes de DFT a consecuencia de su dolencia, tarde o temprano queda anulada y negada por los catastróficos efectos del curso de su enfermedad. Pero el dudoso «lado positivo» de la demencia frontotemporal puede abrirnos una interesante ventana hacia el papel del hemisferio derecho en el proceso creativo, una vez se ve «liberado» de la influencia conservadora del hemisferio izquierdo. Nos ocuparemos más a fondo de esta cuestión en los capítulos 6 y 7.

4

La sirena y el maestro de Lego® (y el hombre león)

¿CÓMO NACE UNA NUEVA IDEA?

La neurociencia cognitiva se ocupa en nuestros días de la memoria de trabajo, las neuronas espejo y muchas otras cuestiones que merecen la pena mucho, poco o no demasiado. Se ha dirigido bastante interés a la pregunta de cómo se seleccionan las ideas. Sin embargo, antes de ser seleccionadas, las ideas hay que generarlas, pues de lo contrario no habrá nada entre lo cual seleccionar. Curiosamente, la cuestión de cómo surgen las ideas no suele plantearse de forma directa, y ya es hora de que lo hagamos. Y para hacerlo de un modo convincente, no bastará con hablar del cerebro, sino que habrá que hilvanar también en nuestro discurso el papel de la cultura y la estructura del conocimiento.

Las soluciones a los problemas nuevos y la creación de contenidos nuevos no se producen en un vacío. El conocimiento nuevo se construye sobre el antiguo, pero es nuevo. ¿Cómo puede obtenerse conocimiento nuevo a partir del antiguo? La sociedad siempre cambia, incluso en las épocas más conservadoras de la historia, aunque lo haga con lentitud. Las ideas científicas evolucionan, y lo mismo ocurre con las formas artísticas. Es cierto que están arraigadas en el pasado, pero también son novedosas. ¿Cuál es la relación entre lo viejo y lo nuevo en el proceso creativo? ¿Cómo surge la novedad a partir del pasado sin ser una mera reiteración de este?

La mayoría de los gigantes creativos «se alzan sobre los hombros de gigantes» que los precedieron. Casi sin excepción, antes de poder contribuir al progreso de sus campos de creación, las personas creativas destacadas adquieren un dominio de sus campos respectivos tal como existen. Así queda reflejado en la «regla de los diez años», que es lo que tarda, por término medio (pero con numerosas excepciones), un miembro de una profesión creativa o un científico en adquirir pericia en su propio campo antes de poder realizar aportaciones verdaderamente innovadoras e importantes (al menos así ha sido hasta ahora; falta por ver si la regla de los diez años sobrevivirá al rápido incremento de la tasa de acumulación de conocimiento)[1]. La idea de que a un ingenuo absoluto se le ocurra «de la nada» una genialidad puede tener cierto atractivo romántico, pero no es lo que ocurre en el mundo real. Puede ser tentador invocar a los «sapientes» como ejemplos de inesperadas hazañas artísticas o matemáticas, pero la mayoría de las personas a las que reconocemos aportaciones verdaderamente importantes a la cultura humana no son sapientes.

Como ya vimos en el capítulo 2, un visitante del Museo Picasso en el Barri Gòtic de Barcelona descubrirá que el fundador del cubismo se inició como un consumado pintor en la tradición del realismo. De igual modo, un historiador de la ciencia nos dirá que la teoría de la selección natural de Darwin fue influida por las reflexiones de Malthus sobre el crecimiento de la población, y la teoría de la relatividad especial de Einstein por la mecánica cuántica de Planck. Por revolucionaria que fuera la fórmula $E = mc^2$, los conceptos de masa y energía ya existían. E incluso el arte del extravagante iconoclasta del siglo XX Salvador Dalí encuentra un eco lejano en las pinturas del siglo XV de El Bosco, cuyas caprichosas y fantásticas imágenes prefiguran el surrealismo. Todo acto creativo individual debe entenderse en el contexto cultural en el que se produce, algo que ya argumenta con elocuencia Mihaly Csikszentmihalyi en su libro fundamental *Creativity: The Psychology of Discovery and Invention*[2].

En contra de lo que dice la sabiduría popular, la creación no es un proceso solitario, ni siquiera cuando el individuo creativo es de

temperamento huraño y subjetivamente cree que la suya es una empresa solitaria. Al contrario, está inmersa y es movida por el entorno cultural en el que se produce. Y, sin embargo, esa empresa no es una simple réplica. La grandeza de Picasso, Darwin y Einstein está en su don creativo para la innovación, no en el simple dominio de sus campos respectivos tal como ya existían en su tiempo.

Imaginando el futuro

¿Cómo consigue el cerebro imaginar el futuro a partir del pasado? Aunque esta sea una empresa que atañe a todo el cerebro e implica a múltiples estructuras cerebrales, hay una estructura del cerebro que desempeña un papel especialmente importante en este proceso: la corteza prefrontal frontopolar, esa famosa parte «inútil» del cerebro cuyas conexiones con el resto del organismo se seccionaban en la lobotomía, como aprendimos en el capítulo 2.

La corteza prefrontal surgió bastante tarde en la evolución, posiblemente como respuesta a las presiones por superponer orden y organización sobre las cada vez más complejas demandas cognitivas del organismo. Mientras que la mayoría de las otras partes de la corteza tienen asignadas funciones relativamente específicas, la corteza prefrontal se ocupa de la «metacognición». Interviene en la organización y coordinación de todas aquellas funciones específicas para conformar conductas complejas, con sentido y propósito. Es importante en el establecimiento de objetivos, en la planificación, en la toma de decisiones, en la predicción del resultado de las acciones propias y de otros, y en el control de los impulsos. Para realizar estas tareas, la corteza prefrontal parece tener acceso a la información específica almacenada en otras partes del cerebro, pero especialmente en la corteza de asociación posterior (parietal, temporal y occipital). En mis libros anteriores *El cerebro ejecutivo* y *The New Executive Brain* [El nuevo cerebro ejecutivo], establecí una analogía entre el desarrollo de la corteza prefrontal en los estadios tardíos de la evolución y el desarrollo de los motores de búsqueda, los «lóbulos frontales digitales». Tanto los

«lóbulos frontales» biológicos como los digitales surgen como respuesta a la creciente complejidad del sistema y a la necesidad de anular la posibilidad del caos informacional biológico o la «anarquía digital», respectivamente. Tanto los lóbulos frontales como los motores de búsqueda digitales son «capaces de restringir los grados de libertad del sistema en una situación encaminada a objetivos específicos, al tiempo que se conservan esos grados de libertad en principio»[3].

Las distintas partes de la corteza prefrontal contribuyen de manera distinta a estos complejos procesos «metacognitivos». Aunque sus papeles se solapan, la corteza orbitofrontal es especialmente importante a la hora de decidir qué es «relevante» para el bienestar del organismo, la corteza prefrontal lateral para organizar las conductas dirigidas al mundo exterior, y la corteza frontopolar para integrar las funciones de las dos primeras regiones (véase la figura 4.1). La corteza prefrontal es la parte más joven del cerebro en la evolución, y está mucho más desarrollada en los humanos que en ninguna otra especie, incluidos los grandes simios. Además, es una de las últimas partes del cerebro en madurar durante la vida del individuo: no acaba de desarrollarse hasta pasados los treinta y hasta alrededor de los treinta y cinco años.

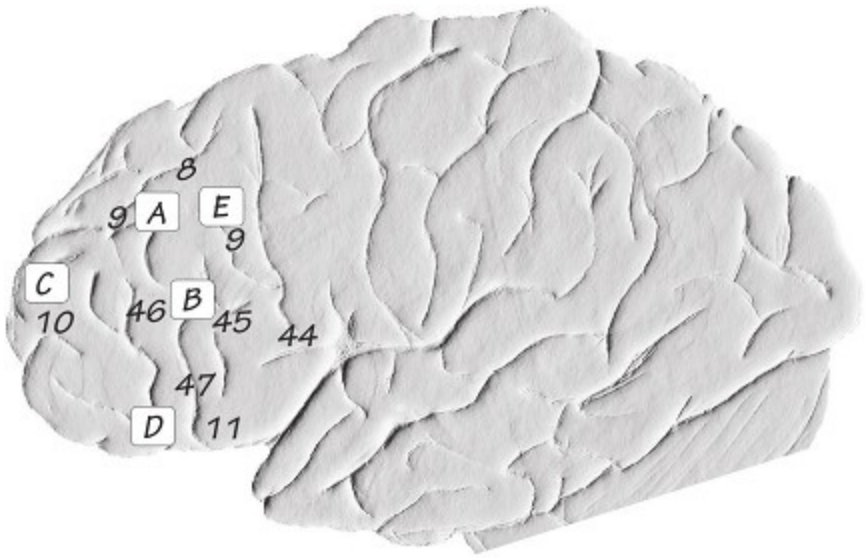


Figura 4.1. Principales subdivisiones prefrontales. (A) Dorsolateral, (B) ventrolateral, (C) frontopolar, (D) ventromedial/orbitofrontal, (E) cingulada anterior. Los números corresponden a las áreas de Brodmann (una taxonomía estándar de las regiones corticales).

Manipulación del cerebro (aunque no lo que uno podría pensar)

La corteza prefrontal lateral, en particular, tiene la capacidad de manipular las representaciones mentales almacenadas en el cerebro como si fueran piezas de Lego®: puede unirlas en configuraciones nuevas mediante un proceso deliberado y guiado por unos objetivos. Las «piezas de Lego®» en cuestión, la información manipulada por la corteza prefrontal, puede estar almacenada en otras partes del cerebro, en buena medida en los lóbulos parietal, temporal y occipital, y la corteza prefrontal actúa como el jugador que coge piezas de distintos compartimentos de acuerdo con un plano mental que ha diseñado.

Este proceso nos permite formar nuevas representaciones mentales a partir de fragmentos de otras más antiguas y ya formadas; y estas nuevas representaciones mentales no tienen por qué corresponderse con nada que hayamos experimentado en la vida real hasta el momento (o nunca). La «generatividad», la habilidad para yuxtaponer elementos viejos en

nuevas configuraciones, es esencial en muchas de las actividades y funciones que realizamos. Si algo hay que distingue al cerebro humano de los cerebros de otras especies, por avanzadas que sean, probablemente sea su capacidad para la generatividad, que está mediada por la corteza prefrontal. En cierto sentido, estas representaciones mentales ensambladas de una forma novedosa son predicciones, son modelos del futuro tal como esperamos o pretendemos que devenga, una tesis enunciada con una elocuencia casi poética por Joaquín Fuster[4].

Otro distinguido neurocientífico, David Ingvar, acuñó la expresión, un tanto extravagante, de «recuerdos del futuro» para referirse a estos modelos neurales predictivos de cosas que están por venir[5]. Se ha dicho, con razón o sin ella, que la corteza prefrontal, la estructura encefálica central en el ensamblaje de «recuerdos del futuro» a partir de fragmentos de «recuerdos del pasado», es lo que nos hace humanos. Yo, que no soy entusiasta de una visión excepcionalista y antropocéntrica de nada, me inclino por una visión más gradualista del desarrollo de los caracteres a lo largo de la evolución. No obstante, al no ser primatólogo, me veo obligado a recurrir a lo que tengo más a mano para hacer mis observaciones un tanto de aficionado: los perros. Mi añorado *bullmastiff* Brit lograba desarrollar, en cierto modo, un muy modesto modelo del futuro, aunque este no alcanzaba más allá de unos pocos minutos. Cuando me veía coger la correa, listo para sacarlo a pasear, Brit corría a un rincón del apartamento para devorar su comida antes de verse separado de ella, pero solo comenzó a presentar este comportamiento a la edad de la madurez canina: desarrollar este rudimentario «recuerdo del futuro» le llevó ocho o nueve años de su vida. Mi nuevo cachorro de mastín inglés, Brutus, que apenas cuenta once meses en el momento en que escribo esto, todavía no muestra el menor asomo de un comportamiento predictivo. Al parecer, en los perros hasta las más rudimentarias formas de «recuerdos del futuro» tardan mucho en formarse, y no llegan muy lejos en el tiempo.

Generatividad del lenguaje y lóbulos frontales

Hay un territorio en el que mis suposiciones gradualistas se desmoronan, o al menos así puede argumentarse, y es el lenguaje. Se han propuesto muchas teorías sobre los prerrequisitos para el desarrollo del lenguaje, pero a menudo olvidan la advertencia de Noam Chomsky de que aquello que distingue al verdadero lenguaje de otros sistemas de comunicación es su generatividad[6]. El lenguaje humano puede generar un número prácticamente infinito de enunciados que no necesariamente tienen que reflejar la realidad empírica, y puede hacer referencia a cosas que no existen o ni siquiera son posibles, por ejemplo: «los unicornios púrpuras tricéfalos de edad negativa vuelan de Marte a Saturno y atrás en el tiempo a velocidad de oruga sobre una alfombra mágica impulsada por energía solar» (acabo de inventarlo). Esta generatividad es un atributo único de la corteza prefrontal, y su aparición tardía durante la evolución permitió el desarrollo de un genuino lenguaje, el mayor de los Lego®. El lenguaje humano también posee capacidad para la recursividad, lo que permite generar estructuras lingüísticas en las que unos enunciados completos están incluidos en otros enunciados mayores, como si fueran muñecas rusas o *matrioshkas*: «con la esperanza de encontrarse con los multicornios acéfalos rayados de edad positiva, los unicornios púrpuras tricéfalos de edad negativa vuelan de Marte a Saturno atrás en el tiempo y a velocidad de oruga sobre una alfombra mágica impulsada por energía solar primorosamente fabricada por mastodontes alados de la Luna». La construcción de una recursión, y en particular de múltiples recursiones (ahí va otra recursión; ¡es que no podemos evitarlas!) es en esencia un proceso jerárquico, y el ensamblaje de jerarquías cognitivas también se encuentra bajo el control de la corteza prefrontal. Es dudoso que un organismo que carezca de una corteza prefrontal bien desarrollada pueda llegar a generar estructuras lingüísticas recursivas[7]. Chomsky argumentaba que la recursión, que es la capacidad para la organización jerárquica, es una característica universal de todos los lenguajes. Aunque esta suposición se haya puesto en duda en su forma absoluta, en un desafío a la teoría que a su vez ha sido desafiado (¡otra recursión!), la recursividad es sin ninguna duda una propiedad de la mayoría de los lenguajes[8].

El ensamblaje de lo nuevo a partir de lo viejo

La capacidad de combinar elementos de ideas viejas en configuraciones nuevas es esencial para generar nuevas ideas y conceptos, lo que a su vez es esencial para la creatividad. Así nacen los productos de la imaginación humana, como las sirenas (habitantes de cuentos y leyendas que son mitad pez y mitad humano) y los unicornios, y así nacieron muchas ideas científicas, invenciones tecnológicas y creaciones artísticas importantes. Como ya sabemos, las nuevas ideas, soluciones y formas de arte no se crean en el vacío, sino que, en muy buena medida, surgen como configuraciones nuevas de elementos de ideas, soluciones y formas de arte previamente formadas. La corteza prefrontal está especialmente capacitada para configurar y ensamblar formas nuevas a partir de elementos de conocimientos e ideas previamente adquiridos. No necesitamos la corteza prefrontal para evocar una imagen mental de un humano o un pez, que se asientan en nuestra experiencia, pero sí para construir una imagen mental de una sirena o un unicornio, de los productos de la imaginación humana que no se asientan en la experiencia. Por extravagante que parezca, también podemos ver las ideas científicas y los conceptos artísticos de importancia como sirenas y unicornios de nuestra imaginación.

En su libro *Sapiens: de animales a dioses. Una breve historia de la humanidad*, Yuval Noah Harari[9] reflexiona sobre la naturaleza de la «revolución cognitiva» que supuestamente tuvo lugar hace unos 70 000 años y desembocó en un alud de invenciones, como barcos, lámparas de aceite, arcos y flechas, agujas, que por fin señalan de manera indiscutible el surgimiento del «humano moderno». ¿Qué había en las raíces de esta revolución? Harari y muchos otros creen que una mutación que afectó al cerebro de *Homo sapiens* y confirió a esta especie (a nosotros) el dominio, no siempre benevolente, sobre el reino animal e incluso sobre otras especies de homínidos que por aquel entonces habitaban en distintas partes de Eurasia: neandertales, denisovanos, *Homo erectus* y unos pocos más. Pero, exactamente, ¿cómo cambió el cerebro esa hipotética mutación? No lo sabemos de cierto, y cualquier intento de

responder a esta pregunta no pasa de especulación, pero una respuesta plausible es la que nos ofrece la famosa figurita de marfil de un «hombre león» o una «mujer leona», que también menciona Harari en su libro, con cuerpo humano y cabeza de león (supuestamente la del león de las cavernas que por entonces habitaba en Europa) (figura 4.2).

El «hombre león», uno de los primeros ejemplos de arte prehistórico representacional, fue hallado en la cueva de Hohlenstein-Stadel, en Alemania, y tiene 30 000-40 000 años de antigüedad. La creación de este lejano ancestro de la sirena muy probablemente requiriera de una corteza prefrontal razonablemente bien desarrollada, igual que la requirió el desarrollo de un lenguaje que satisface la definición de Chomski, pues en ambos casos es necesaria una generatividad como la que hace posible Lego®. Como ya hemos argumentado, no se necesita esta habilidad para evocar la imagen de un humano, un pez o un león, pues estas representaciones están enraizadas en la realidad y, por tanto, en la propia experiencia. La imagen de una sirena, en cambio, no está anclada en la experiencia real, como tampoco lo está la imagen del hombre león, porque esos animales no existen en el mundo físico. Estas imágenes tuvieron que ser realmente creadas mediante la combinación de elementos previos para formar una configuración *de novo* que no se correspondía con nada de lo experimentado con anterioridad. Sean cuales sean los otros efectos que esta misteriosa mutación pueda haber conferido al cerebro humano, su efecto sobre los lóbulos frontales debieron ser parte de la historia, o quizá toda la historia. Algunos paleoantropólogos creen que lo que selló el destino de los neandertales fue su incapacidad para adaptarse a un medio cambiante. Durante muchas generaciones, a lo largo de milenios, persistieron con la misma dieta y utilizaron los mismos métodos de caza. La capacidad para el cambio, la flexibilidad mental conferida por el desarrollo de los lóbulos frontales, estaba ausente[10]. Otro humano arcaico, *Homo erectus*, que habitó en Asia oriental durante casi dos millones de años, siguió haciendo, según nos dice Harari, el mismo tipo de herramientas durante todos esos miles de años sin apenas modificaciones.

Figura 4.2. El hombre león de la caverna.

Harari propone que la manifestación de mayor alcance de la Revolución Cognitiva fue la capacidad de *Homo sapiens* de crear ficciones cognitivas (o «constructos sociales», o «realidades

imaginadas»), constructos que no se corresponden de manera inmediata con ninguna realidad física, experimentada de forma directa. En sus más altas expresiones, conceptos como «ley», «estado», «corporación» o «religión» son ejemplos de tales constructos. Complejos e intangibles desde un punto de vista sensorial, todos estos constructos comenzaron con un «hombre león» o una «sirena», en los que solo un paso separa el producto de la imaginación del mundo físico tangible. A partir de aquí, el proceso, compartido a través de individuos y generaciones, se va repitiendo con niveles de abstracción cada vez más elevados, y cada vez más alejado de la realidad física tangible[*].

Así pues, si en verdad hubo en algún momento una mutación crucial que afectase al cerebro y convirtiera al *Homo sapiens* arcaico en el moderno *Homo sapiens sapiens*, muy probablemente involucrara a la corteza prefrontal, dotándola de una capacidad al estilo del Lego® para ensamblar a voluntad los diversos componentes de las representaciones mentales de uno mismo, y cada vez más liberada de las restricciones impuestas por la realidad física. De una extraña manera, esto invierte la dirección de la causación. Mientras que una cognición más limitada queda restringida a las representaciones mentales que reflejan el mundo físico, en la cognición empoderada por la corteza prefrontal y otras estructuras relacionadas son las representaciones mentales montadas de manera arbitraria, es decir, la «realidad imaginada», las que moldean el comportamiento y, en último término, cambian la realidad física de acuerdo con esas ficciones cognitivas.

Tanto el acto individual de innovación de modestas consecuencias como la construcción de «ficciones sociales», con sus efectos sísmicos sobre la sociedad, basculan sobre la capacidad del organismo para combinar elementos viejos en configuraciones nuevas, y esto, a su vez, requiere una corteza prefrontal altamente desarrollada. Aunque otras especies de mamíferos tienen lóbulos frontales bien desarrollados, su desarrollo solo alcanzó un rápido auge en *Homo sapiens sapiens*, haciendo posible la Revolución Cultural y el moderno lenguaje.

LA MECÁNICA TRAS LA METÁFORA: LA VISIÓN MACRO

Naturalmente, los lóbulos frontales como un maestro de Lego® y el proceso generativo de innovación como una nueva colocación de piezas de Lego no es más que una metáfora. Como tal, puede transmitir la idea general de cómo surgen soluciones nuevas de la experiencia previa, pero no nos dice nada sobre cómo se producen realmente esos procesos en el cerebro. ¿Estamos preparados ya para ir más allá de la metáfora y echar un vistazo a la maquinaria neural de la innovación? Estamos preparados al menos para intentarlo. ¿Disponemos de una amplia comprensión de esa maquinaria? En absoluto, al menos por el momento, pero ya comenzamos a hacernos preguntas pertinentes para conocerla. Estas pueden plantearse a distintos niveles: al nivel macro de las grandes estructuras cerebrales y sus interacciones; y al nivel micro de los intrincados circuitos neurales.

Redes «canónicas»

¿Cómo interacciona la corteza prefrontal con otras estructuras cerebrales durante una tarea cognitiva compleja? Por su propia naturaleza, esta interacción no puede entenderse fijándose en estructuras cerebrales de forma aislada: tenemos que estudiar redes. Uno de los grandes desarrollos de la neurociencia cognitiva de las últimas décadas ha sido el cambio de la investigación sobre la funciones de las distintas regiones cerebrales al estudio de constelaciones de estructuras cerebrales interactivas (es decir, de redes). En la actualidad, hay tres redes que suelen invocarse en la investigación sobre el cerebro: la red ejecutiva central (REC), la red neuronal por defecto (RND) o red de modo automático y la red de relevancia o prominencia (RR)[*]. Estas redes aparecen representadas de forma esquemática en la figura 4.3.

La red ejecutiva central y la red neuronal por defecto son las más estudiadas, y a menudo se supone entre ellas una marcada discontinuidad. Están «anticorrelacionadas»: cuando una está activada, la otra no lo está. Cada una de estas dos redes está formada por un número relativamente pequeño de «nodos centrales» (*hubs*) macroscópicos, áreas

que sabemos que poseen conexiones bilaterales con un número especialmente grande de estructuras y regiones cerebrales[11].

Un neurobiólogo inteligente pero ingenuo, un ingeniero o un matemático podrían sentirse perplejos ante la frecuente invocación de estas dos redes (REC y RND) por la neurociencia cognitiva para explicar un amplísimo abanico de procesos cognitivos. También podrían poner en duda el realismo de reducir todas las interacciones posibles que permite la rica matriz de vías mielinizadas del cerebro a unas pocas redes, así como la suposición de que dos de las principales no puedan actuar en paralelo. De hecho, se han introducido varias otras redes más o menos solapadas, como la red de la atención, la red del lenguaje o la red de control frontoparietal (FPN). Las dos últimas se consideran únicas de los humanos, y la FPN, en particular, se considera que refleja el patrón de expansión evolutiva de la corteza, especialmente pronunciada en las regiones frontal y parietal[12].

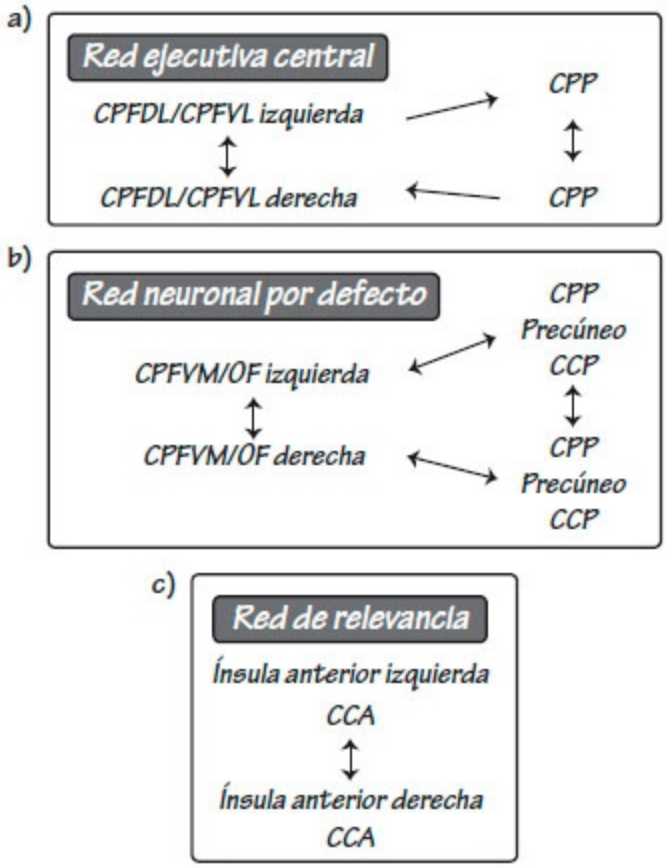


Figura 4.3. Principales redes a gran escala. (a) La red ejecutiva central (REC) implica a la corteza prefrontal dorsolateral y ventrolateral (CPFDL y CPFVL) y a la corteza parietal posterior (CPP). (b) La red neuronal por defecto (RND) implica a la corteza prefrontal ventromedial (CPFVM)/orbitofrontal (OF), a la corteza parietal posterior (CPP), el precúneo y la corteza cingulada posterior (CCP). (c) La red de relevancia (RR) implica a la ínsula anterior y a la corteza cingulada anterior (CCA).

Antes de que nos diéramos cuenta, las viejas tentaciones se iban reafirmado bajo un nuevo disfraz: la ansia por una lista finita (y preferiblemente no muy larga) de módulos netamente definidos. Durante las décadas de 1970 y 1980, los neurofisiólogos se sentían seducidos por la idea de la corteza como un conjunto de «módulos», de entidades discretas con límites rígidos y funciones fijas. Fue el último «hurra» de la peculiar situación de una ciencia cognitiva fundamentalmente desconectada de la neurociencia, y a medida que fue

avanzando la fusión de ambas disciplinas hacia el final del siglo XX (gracias en muy buena medida al advenimiento de las técnicas de neuroimagen funcional), la idea de la «modularidad cortical» se fue arrumbando a favor de una concepción más matizada de la organización cortical. En la actualidad, aunque en lugar de regiones del cerebro los nuevos módulos se definan como «redes», su proliferación guarda un sospechoso parecido con el punto álgido de la vieja escuela de la modularidad, hace unas cuantas décadas, y representa la misma estética epistemológica (que nunca me resultó especialmente atractiva). A medida que crece el número de redes propuestas, se van pareciendo cada vez más a los sistemas funcionales clásicos, ensamblados *ad hoc* como respuesta a las demandas cognitivas del momento y redescubiertos con las herramientas de la neuroimagen funcional[13]. El hecho de que en distintos estudios la neuroanatomía de cada una de estas redes se dibuje de forma un tanto distinta también sugiere que los intentos por encorsetar todas las observaciones en un pequeño número de redes «canónicas» es un ejercicio de dudosa utilidad cuyo resultado no debe leerse de forma literal. En lugar de redes canónicas únicas, probablemente resulte más útil, desde una perspectiva heurística, pensar en términos de «categorías de redes», al tiempo que se reconoce que potencialmente hay tantas redes como permita la topología de las vías largas del cerebro. No sería demasiado sorprendente que el auge de esta nueva versión de la modularidad siguiera una trayectoria parecida a la de la antigua, y que, como la «modularidad» de las regiones cerebrales, la «modularidad» de las redes neuronales sea atemperada a su debido tiempo a favor de un conocimiento más matizado[14].

No obstante, aunque probablemente demasiado tosca, la taxonomía macro de las redes es «lo bastante cierta» para muchos aspectos del estado actual de muchas cuestiones neurocientíficas, y no deja de poseer cierto valor explicativo. Resulta útil ver estas redes como las principales redes de carreteras, que pueden servir a un amplio abanico de pautas de tráfico y contener subsistemas específicos. Cada una de las tres redes que con más frecuencia se traen a colación se tratará con más detalle en capítulos posteriores.

Red ejecutiva central (REC)

La red ejecutiva central, también conocida como red de control cognitivo (CCN, por sus siglas en inglés), es una compleja constelación de regiones cerebrales que trabajan de forma conjunta cuando nos esforzamos, de forma consciente y persistente, en resolver una tarea cognitiva que supone un desafío. Por eso a menudo se dice que es una red «orientada a tareas» (*task-positive*). La descripción precisa de los componentes de la REC puede variar de un estudio a otro, lo que probablemente refleje diferencias en las tareas cognitivas implicadas, pero de manera invariable sus componentes principales son la corteza prefrontal lateral (cuyas divisiones dorsal y ventral se suelen juntar y denominar conjuntamente como «corteza prefrontal dorsolateral» o CPFDL) y la corteza parietal posterior (CPP).

La dinámica temporal en el interior de la REC arroja luz sobre la relación entre la corteza prefrontal y la corteza de asociación posterior, donde se representa el conocimiento complejo en las tareas que suponen retos cognitivos. Cuando los científicos examinaron el orden en que se activan distintos componentes de la red, vieron con claridad que la activación dentro de la red está dirigida por la corteza prefrontal[15]. Esta es la primera en activarse, y le sigue la activación de los otros componentes de la REC, las regiones de los lóbulos parietales y, en ocasiones, temporales.

La REC podría no ser exclusiva de los humanos. Con la ayuda de técnicas de espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) y potenciales de campo de superficie (SFP), Joaquín Fuster y sus colaboradores describieron una red anatómicamente muy parecida a la REC en macacos rhesus mientras realizaban tareas que implicaban la memoria de trabajo. La red, en la que intervenían las regiones prefrontal lateral y parietal posterior, se caracterizaba por un complejo patrón de sincronizaciones y desincronizaciones en tiempo, frecuencia y espacio encefálico, lo que resaltaba el hecho de que la identificación de las vías no es más que el primer paso para entender los patrones de tráfico neuronales, y que se necesita un análisis más detallado de estos patrones[16].

Red neuronal por defecto (RND)

La RND es una red que se activa cuando los procesos cognitivos de la persona no responden a una tarea impuesta externamente, de manera que el cerebro se queda actuando por su propia cuenta. A veces se la califica como «no orientada a tareas», pero no es correcto, puesto que el cerebro no queda ocioso, sino que, en lugar de responder a una tarea impuesta externamente, se ocupa de tareas internamente seleccionadas e internamente dirigidas[17].

Ahondaremos más en la RND en el capítulo 5; aquí nos limitaremos a comparar estas dos redes, la REC y la RND, en términos de sus componentes neuroanatómicos. Ambas redes se centran alrededor de dos nodos centrales macroscópicos: la corteza prefrontal y la corteza parietal posterior. Estas dos áreas reciben el calificativo de cortezas de asociación heteromodales, y se reconoce desde hace tiempo su papel destacado en la mayoría de los procesos de cognición complejos, además de su gran conectividad y su propensión a trabajar de forma concertada[18]. Visto bajo esta luz, el descubrimiento de las dos redes a gran escala fue una confirmación y reelaboración mediante neuroimagen funcional de una característica básica de la organización cortical funcional que ya era bien conocida.

Sin embargo, aunque tanto la REC como la RND involucran a la corteza prefrontal y a las cortezas de asociación heteromodales, las subdivisiones que participan en cada una de estas redes son distintas; por eso su descubrimiento fue especialmente interesante. La diferencia más marcada entre la REC y la RND es evidente en la corteza prefrontal. Mientras que en la REC se activan los aspectos lateral dorsal y lateral ventral del lóbulo frontal, en la RND se activan los aspectos orbital y ventromedial.

Los componentes posteriores de la REC y la RND parecen solaparse, pero en realidad difieren un poco. Ambos implican a la corteza de asociación heteromodal del lóbulo parietal lateral posterior, pero de manera más amplia en la REC que en la RND. En cambio, la RND implica a la corteza cingulada posterior y al precúneo (un área que se

encuentra en el aspecto mesial del lóbulo parietal posterior), mientras que la REC no lo hace.

Basándonos en lo que sabemos sobre estas estructuras cerebrales, la REC parece estar orientada a la información sobre el mundo exterior, mientras que la RND se orienta a las entradas generadas internamente. Cabe notar que el aspecto lateral de la corteza prefrontal (REC) es algo mayor en el hemisferio derecho que en el izquierdo, y al contrario para las cortezas orbitofrontal y cingulada (RND)[19]. En la medida que «cuanto más grande, mejor» (un *motto* burdo pero que a menudo se revela sorprendentemente válido por lo que respecta a la relación entre estructura y función en el cerebro) esta asimetría podría darnos una pista sobre los papeles relativos de los dos hemisferios en la REC respecto a la RND.

Red de relevancia (RR)

La RR proporciona una interfaz entre la REC y la RND. Como se ha descrito hace menos tiempo, no está tan estudiada. Está formada por la ínsula anterior y la corteza cingulada anterior y al parecer se activa (sobre todo la ínsula derecha) cuando se cambia entre la RND y la REC. En los experimentos que condujeron al descubrimiento de la RR, el cambio era unidireccional, de RND a REC pero no al contrario, y lo que desencadenaba el cambio, la transición, era una variación abrupta en las entradas sensoriales, por ejemplo un cambio brusco en los «movimientos» musicales (temas) o la aparición de un estímulo infrecuente («oddball»). Dada la naturaleza unidireccional de la transición, podría argumentarse que en realidad el cambio es precipitado por la detección de la novedad más que por la «relevancia» o «prominencia», en el sentido de «importancia» (más sobre los múltiples usos del término «relevancia» y la confusión que pueden generar, en el capítulo 5). Como veremos en el capítulo 6, el hemisferio derecho es esencial para el tratamiento de la novedad, lo que ayuda a entender la implicación asimétrica (más derecha que izquierda) de la ínsula en este proceso de transición[20].

Otra característica notable del proceso de transición es que no conlleva únicamente la activación de la REC, sino también la mitigación concurrente de la RND (recordemos que estas dos redes están «anticorrelacionadas», es decir, cuando una está activa la otra está inactiva), lo cual implica una relación inhibitoria entre ellas. ¿Cómo ocurre eso? Curiosamente, las dos regiones prefrontales que guían las dos redes presentan propiedades funcionales opuestas en un amplio abanico de contextos. Las lesiones dorsolaterales producen síntomas parecidos a la depresión, y por eso en la antigua literatura neurológica, el síndrome prefrontal dorsolateral se conocía como «pseudodepresión». Las lesiones orbitofrontales, en cambio, suelen tener como consecuencia una euforia superficial y una jocosidad que se conocen como *Witzelsucht*. De igual modo, en la depresión, la corteza dorsolateral a menudo es hipoactiva, mientras que la corteza orbitofrontal es hiperactiva[21]. En conjunto, estos datos llevan a postular una relación recíprocamente inhibitoria entre estas dos regiones prefrontales.

El sistema nervioso central abunda en mecanismos inhibitorios recíprocos. ¿Es posible que la relación opuesta, «anticorrelacionada», entre la REC y la RND sea una consecuencia de la relación mutuamente inhibitoria entre las dos regiones prefrontales que las «impulsan»? De hecho, la corteza prefrontal lateral (ventral y dorsal) y la corteza prefrontal medial trabajan de acuerdo con regímenes opuestos: cuando una está activa, la otra no lo está. Por otro lado, se ha argumentado que la relación efectiva a gran escala de mutua inhibición, anticorrelacionada, entre las dos grandes redes no requiere de la presencia de vías de larga distancia claramente inhibitorias, sino que podría ser una consecuencia de la dinámica global de las redes[22]. Así pues, la cuestión sigue sin dirimirse.

Sea como fuere, la RR podría ser el relé a través del cual tiene lugar la inhibición mutua efectiva. De hecho, la ínsula anterior está interconectada con amplias áreas corticales, en particular con múltiples regiones de la corteza prefrontal, entre ellas las regiones orbitofrontal y ventrolateral. Eso la convierte en un probable relé de relaciones inhibitorias entre los impulsores de la REC y la RND, que son,

respectivamente, la región prefrontal lateral y la orbital. De acuerdo con esta perspectiva, la RR es más el «interruptor» que «la mano que acciona el interruptor»: una vez que el hemisferio derecho reconoce la novedad, la corteza prefrontal lateral extrovertida inhibe a la corteza ventromedial/orbitofrontal introvertida. A consecuencia de ello se activa la REC al tiempo que se mitiga la RND.

La suposición de una relación mutuamente inhibitoria «anticorrelacionada» entre la corteza prefrontal lateral y la mesial/orbital nos lleva a otra interesante conclusión, que cada una de las regiones prefrontales en cuestión tiende a gravitar hacia niveles de activación relativamente extremos y opuestos, evitando las medias tintas: en todo momento, una de ellas se encuentra en un estado de alta excitación mientras que la otra se halla en un estado de baja excitación. La propensión a evitar los niveles de activación neutros a favor de niveles relativamente extremos nos lleva al concepto de «biestabilidad» como una de las principales características del funcionamiento de la corteza prefrontal lateral y mesial. Más sobre esto en el capítulo 7.

EL ENIGMA DE LA MEMORIA DE TRABAJO

Cómo comenzó todo

Las redes a gran escala proporcionan una vista aérea de cómo interacciona la corteza prefrontal con el resto del cerebro. Pero todavía estamos en tierra de metáforas, y hay preguntas cruciales que siguen sin hallar respuesta. ¿Qué significa que la corteza prefrontal «involucre» a la corteza parietal posterior (CPP) y a otras estructuras corticales donde se representa el conocimiento? ¿Acaso extiende una pequeña «mano» neuronal para manipular los circuitos neuronales? Probablemente no, pero entonces, ¿qué es exactamente lo que ocurre? Todavía no tenemos respuestas para estas preguntas, pero se han realizado importantes progresos, en buena medida gracias al trabajo de cuatro notables neurocientíficos: C. F. Jacobsen, Joaquín Fuster, Patricia Goldman-Rakic y Amy Arnsten.

Fue C. F. Jacobsen, mientras trabajaba en la Universidad de Yale en la década de 1930, quien demostró por primera vez experimentalmente que las lesiones bilaterales en los lóbulos frontales afectaban al rendimiento de monos en las pruebas de respuesta retardada y respuesta retardada alternada, en las que el mono tenía que «recordar» en cuál de dos lugares había encontrado el cebo anteriormente y dirigirse o bien en la misma dirección o en la dirección contraria. Jacobsen describió esta deficiencia como una conducta del tipo «fuera de la vista, fuera de la mente», y fue el primero en vincular los lóbulos frontales con cierto tipo de memoria[23]. Las investigaciones de Joaquín Fuster confirmaron y acabaron de clarificar el papel de los lóbulos frontales en la respuesta retardada. Demostró que la depresión criogénica (congelación) de los lóbulos frontales interfería en la respuesta retardada, y logró además identificar neuronas de los lóbulos frontales de *Macaca mulatta*[*] que incrementaban la tasa de disparos neuronales durante el retraso entre la presentación de la señal y la respuesta[24]. Gracias a estas investigaciones se identificó una forma particular de memoria, vinculada a los lóbulos frontales y que en la literatura coetánea se conocía como «memoria de trabajo»[25]. Aún muchos años más tarde, Patricia Goldman-Rakic, una de las pioneras de la investigación sobre la memoria de trabajo, sentía un gran apego por la expresión «fuera de la vista, fuera de la mente» para transmitir la esencia de los efectos de las lesiones del lóbulo frontal, pero también para bromear con sus conocidos en situaciones sociales.

¿Es la conducta de «fuera de la vista, fuera de la mente» de los monos lesionados el resultado de una verdadera pérdida de memoria, o más bien el resultado de perder la capacidad de tratar el recuerdo como importante o prominente, es decir, el resultado de dejar de designarlo como «relevante»? La respuesta a esta pregunta no está clara, al menos no para mí. Al fin y al cabo, al mono no podrían importarle menos los objetivos de la investigación científica: solo le importa hacerse con el cebo. Aunque la conducta de «fuera de la vista, fuera de la mente» suele interpretarse como una forma de olvido, la explicación alternativa de «pérdida de relevancia» es posible y merece ser investigada más a fondo. La diferencia entre ambas posibilidades es mucho más que semántica, e

introducir la relevancia en la explicación podría llevarnos a cambiar nuestro modo de entender la «memoria de trabajo». El hecho de que el neurotransmisor dopamina desempeñe un papel crucial tanto al sustentar la función del lóbulo frontal *como* al marcar información como relevante (nada de lo cual era conocido en tiempos de los experimentos de Jacobsen) da credibilidad a la segunda posibilidad (más sobre esto en el capítulo 5).

Memoria de trabajo y memoria a largo plazo

Partiendo de las investigaciones de Jacobsen, Patricia Goldman-Rakic fue de las primeras en proponer que el atributo exclusivo de la corteza prefrontal es su capacidad para «trabajar con representaciones mentales» de las cosas, incluso cuando esas cosas ya no están presentes en el entorno físico del animal; y que las células piramidales de la capa III de la CPFDL desempeñan un papel central en estos procesos.

Goldman-Rakic sentó los cimientos para entender los mecanismos subyacentes cuando demostró que, en los monos, las regiones del lóbulo temporal que se ocupan de procesar la identidad del objeto (parte de la vía del «qué») y las regiones del lóbulo parietal que procesan la localización del objeto (parte de la vía del «dónde») envían proyecciones por separado a las distintas áreas de la CPFDL y, por consiguiente, están representadas allí; y que en los lóbulos frontales existen representaciones parecidas para la señal auditiva y su localización. También demostró que las proyecciones entre las regiones de los lóbulos frontales y los de la corteza temporal y parietal posterior son bidireccionales, lo que permite una comunicación reentrante en ambos sentidos entre los lóbulos frontales y la corteza posterior; y que esa conectividad es fija e innata[26]. La descripción de circuitos proporcionada por Goldman-Rakic para los modelos animales clásicos de la memoria de trabajo fue notable por su claridad y su precisión sobre los mecanismos. En términos más amplios, son varias las regiones subcorticales y corticales posteriores que pueden verse implicadas en esta interacción reentrante con la corteza prefrontal

en forma de bucle reverberante, dependiendo de las características específicas de la tarea que se esté realizando[27].

Sin embargo, quedan muchas preguntas por responder, preguntas que se tornan especialmente interesantes si suponemos, como hoy suponen la mayoría de los neurocientíficos, que los descubrimientos de GoldmanRakic sobre las representaciones del «qué» y el «dónde» en los lóbulos frontales del mono constituyen un caso particular de una relación más general entre los lóbulos frontales y la corteza de asociación de los lóbulos parietales y temporales, y que en el cerebro humano se establece una relación parecida.

Algunas de estas preguntas deben dirigirse a abordar un diferencia importante entre los paradigmas experimentales habitualmente utilizados en la investigación de la «memoria de trabajo» en los animales, y el modo en que los humanos, y probablemente otras especies desarrolladas, usan esa memoria de trabajo en la vida real. En un experimento típico, el mono tiene que mantener «en línea» información sensorial que se le ha presentado en un pasado relativamente reciente acerca del lugar donde se encuentra el cebo; esta tarea no requiere acceso al contenido de la memoria a largo plazo. En cambio, en los humanos, el acceso en la vida real al contenido de la memoria a largo plazo es una parte muy importante de los procesos que involucran a la memoria de trabajo. Mientras escribo este capítulo, barajo en la mente varias «líneas temáticas» y tomo decisiones sobre cómo organizarlas sobre la marcha: las metáforas del Lego y la sirena, la historia del descubrimiento de la «memoria de trabajo», las propiedades de las neuronas piramidales de la capa III, el contenido de capítulos anteriores a fin de no repetirme, el plan para los capítulos siguientes para no adelantarme, las digresiones sobre paleoantropología, y otras. Me esfuerzo por organizar todos estos temas de un modo coherente y lógico (el lector juzgará mi éxito o fracaso) y debo mantenerlos «en línea» en mi cabeza en todo momento mientras escribo. Hacerlo pide mucho de mi memoria de trabajo, algo que puedo sentir de una forma casi visceral mientras escribo estas palabras. Pero a diferencia de los experimentos de Jacobsen con monos, nada de la información con la que estoy «trabajando» proviene de

entradas sensoriales recientes, sino de mi almacén de memoria a largo plazo, que contiene conocimiento adquirido hace mucho tiempo, representado en diversas regiones corticales de mi envejecido cerebro, en su mayor parte probablemente fuera de mi corteza prefrontal.

La memoria a largo plazo entra en juego no solo en el uso real de la memoria de trabajo, sino también en paradigmas experimentales diseñados para estudiarla en humanos. Pensemos, por ejemplo, en la «prueba n-atrás» (*n-back task*). Desarrollada por Wayne Kirchner hace más de medio siglo, ha experimentado un resurgimiento en nuestros tiempos como una de las herramientas principales de la investigación sobre la memoria de trabajo (figura 4.4)[28].

La idea en la que se basa la prueba n-atrás es simple y elegante. Imaginemos una cinta continua sobre la que se desplazan diversos objetos tras una pared que los separa del observador. En la pared hay una ventana, de manera que en todo momento el observador solo ve un objeto. Al observador se le pide que diga si el objeto que aparece en la ventana es el mismo o distinto del que apareció un paso atrás (n = 1), dos pasos atrás (n = 2), tres pasos atrás (n = 3), etcétera. La prueba obliga al observador a actualizar de manera continua qué dos objetos debe comparar, en lugar de mantener cierta información en la memoria de forma pasiva. Si los objetos son garabatos sin sentido que el observador no había visto nunca, el experimento es en cierto modo afín al experimento de la «memoria de trabajo» con animales, en el sentido de que implica entradas sensoriales recientes. Sin embargo, si los objetos son letras, palabras o dibujos de objetos comunes, se incorpora al proceso el contenido del almacén a largo plazo del sujeto.

No hay que ser humano, no obstante, para que el comportamiento sea guiado por la memoria a largo plazo más que por entradas sensoriales recientemente adquiridas. Aunque la habilidad de mi perro para formar «recuerdos del futuro» sea, como poco, limitada, su habilidad para usar su almacén a largo plazo es más sustancial, lo cual constituye una interesante distinción que muy probablemente esté relacionada con el grado de implicación del lóbulo frontal en estos procesos. Mi antiguo *bullmastiff* Brit era muy quisquilloso con la comida, a la que a menudo no

prestaba ningún caso durante horas mientras sabía que la tenía en «su» rincón. Sin embargo, en el momento en que me veía coger su correa, lo que implicaba que saldríamos y quedaría separado de su posesión, corría a «su» rincón desde donde estuviera en el apartamento, se zampaba toda su comida, se bebía su agua, y solo entonces se acercaba a mí para que le atara la correa. Como ya he comentado, Brit tardó años en desarrollar el aspecto predictivo de este comportamiento, que solo comenzó a manifestar hacia el final de su vida (murió con doce años, y todavía lo echo de menos), pero había en su conducta otro componente: memoria a largo plazo. Es más que probable que el comportamiento de Brit estuviera guiado por el conocimiento del lugar donde solía encontrar sus cuencos de agua y comida, que no había cambiado en años y formaba parte de su almacén de recuerdos a largo plazo, más que por el recuerdo reciente de la colocación allí de su alimento, algo que normalmente ni siquiera presenciaba (salvo que, naturalmente, siendo un perro, el comportamiento de Brit se viera guiado por el olfato, que le informaría sobre el lugar donde se encontraba su comida a través de entradas sensoriales en tiempo real). Mi nuevo mastín inglés, Brutus, muestra un comportamiento todavía más inequívoco. Cuando lo traigo a casa del «hotel de perros» donde lo alojo después de una ausencia de dos semanas, corre enseguida al rincón del apartamento donde suele tener su agua y su comida, aunque allí todavía no haya nada, pues el lugar se había vaciado, limpiado a fondo y desodorizado antes de mi partida. Su comportamiento muestra buena «memoria de trabajo», pero está guiada por el contenido de la memoria a largo plazo y no por entradas sensoriales recientes o concurrentes. A los once meses de edad, el comportamiento de Brutus revela una disociación bastante drástica: una ausencia prácticamente total de comportamiento predictivo, orientado al futuro, pero al mismo tiempo una habilidad bastante bien desarrollada para utilizar su almacén de memoria a largo plazo, que representa el pasado en su comportamiento. Esto probablemente refleje el desarrollo del lóbulo frontal en los cánidos, un desarrollo modesto pero no despreciable, casi comparable al del mono rhesus en términos de su tamaño en relación con la corteza total[29].

Figura 4.4. La prueba n-atrás. ¿Es la imagen de la ventana igual o distinta de la mostrada *n* pasos antes?

Conocimiento a largo plazo y lóbulos frontales

Así pues, entender la naturaleza de la interacción entre la corteza prefrontal y el almacén de memoria a largo plazo, que se supone distribuido por toda la neocorteza, reviste una importancia fundamental. Sin ese conocimiento, expresiones habituales como «poner información en línea» o «cuaderno de notas mental» no pasan de ser metáforas heurísticas que, por útiles y evocadoras que sean, carecen de significado preciso y de claridad sobre los mecanismos.

Obviamente, el cerebro de un ser humano cualquiera, por no hablar del de un intelectual ambicioso, se ocupa de cuestiones muchísimo más complejas que la información básica sobre objetos simples y su localización en el espacio, como el cuenco de comida de mis perros, Brit y Brutus, en mi apartamento. Si la maquinaria mental de un pensador contemporáneo que forja nuevas ideas mientras se alza «sobre hombros de gigantes» depende de la interacción entre estas dos regiones corticales altamente evolucionadas (la corteza prefrontal y la corteza de asociación heteromodal posterior, donde supuestamente se almacena buena parte de nuestro conocimiento general, y que son componentes principales de la red ejecutiva central, la «orientada a tareas», y de la red neuronal por defecto, que «se ocupa de sí misma»), entonces, ¿qué tipo de información se intercambian y de qué manera? En la medida que tiene lugar cierta reducción de la información, ¿cuál es su naturaleza y cómo

se transmite? Que toda esa información se «copiase» de modo permanente desde la corteza posterior, donde inicialmente estaba almacenada, a la corteza prefrontal sin ningún tipo de compresión implicaría una especie de extravagancia evolutiva, una redundancia con un consumo de recursos que, a la postre, resultaría maladaptativa. Además, probablemente fuese un oxímoron computacional, puesto que una copia permanente exacta podría requerir que el volumen informacional de la fuente (amplias áreas de la corteza posterior) superara la capacidad informacional del receptor (la corteza prefrontal lateral). Eso iría en contra de los teoremas de incompletitud de Gödel y de indefinibilidad de Tarski, dos de las más importantes formulaciones de las matemáticas del siglo XX, que dictan que un sistema no puede representarse completamente a sí mismo o a otro sistema de igual o mayor complejidad[30].

He aquí unas pocas preguntas que conviene abordar para clarificar la relación entre la corteza prefrontal y el almacén de memoria a largo plazo que se encuentra distribuido por el cerebro e implica en gran medida a la neocorteza posterior:

- Sabemos que existe una relación reentrante, de doble sentido, entre las cortezas prefrontal y posterior en las tareas que implican a la memoria de trabajo[31], pero, en términos precisos, ¿qué información se intercambia?
- El contenido del almacén de memoria a largo plazo que la corteza prefrontal pone «en línea» cuando se realiza una tarea cognitiva, ¿permanece allí de manera exclusiva, aunque en un estado de activación, o de algún modo se «copia» de manera temporal a la corteza prefrontal?
- Si es lo segundo, ¿se «copia» a los lóbulos frontales toda la información relevante para la tarea, o se produce alguna forma de compresión?
- Si es lo segundo, ¿de qué naturaleza es esa compresión?, ¿es una compresión «sin pérdida», por usar la jerga de la tecnología de compresión de datos, lo que implicaría que no se pierde ninguna

información relevante; o es «con pérdida», caracterizada en mayor o menor grado por la pérdida de información?
- Si es lo segundo, ¿qué información se pierde y cuál se retiene?
- Sea cual sea el contenido informacional transmitido de la corteza de asociación posterior a la corteza prefrontal, ¿cuál es el «mecanismo» neuronal que subyace a este proceso?

FANTASMAS EN EL CEREBRO: LA VISIÓN MICRO

Conectividad dinámica de redes

Las respuestas a todas estas preguntas siguen envueltas en misterio, al menos por el momento, pero algunos hallazgos recientes podrían proporcionarnos una pieza importante para resolver el puzle. Amy Arnsten y sus colaboradores de la Universidad de Yale descubrieron un tipo de interacción dentro de las redes neuronales que es exclusivo de la corteza prefrontal: la conectividad dinámica de redes (CDR). La CDR implica modificar la conectividad dentro de un circuito neuronal sin cambiar la arquitectura estructural de la red. Los cambios son rápidos, efímeros y reversibles, y se producen a nivel molecular, no sináptico (por eso la arquitectura estructural de la red no se ve alterada). Eso convierte a la CDR en algo muy distinto del almacenamiento de información a largo plazo (ALP), mucho más estudiado, que es varios órdenes de magnitud más lento e implica la creación de nuevas sinapsis que modifican la conectividad dentro de la red de una forma estable y estructuralmente robusta[32].

Según Arnsten y colaboradores, la CDR involucra fundamentalmente a las células piramidales de la capa III (una de las seis capas neuronales que componen la corteza cerebral humana) en la CPFDL. Estas neuronas, que recibieron su nombre a causa de sus cuerpos triangulares, ya se habían relacionado con la cognición compleja hace más de un siglo, de la mano del hombre que las descubrió, el gran neuroanatomista español Santiago Ramón y Cajal. Con sus larguísimos axones, una larga dendrita apical y múltiples dendritas basales, son

perfectamente aptas para integrar información de múltiples fuentes y formar redes complejas. Las células piramidales se encuentran en muchas partes del cerebro, pero destacan sobre todo en la corteza prefrontal, donde su conectividad es particularmente rica. La excepcional habilidad de las neuronas piramidales prefrontales para integrar información diversa y compleja se refleja en la complejidad y densidad de sus ramificaciones. Esto es cierto sobre todo de la capa III, la capa «externa», que se encarga de conectar la corteza prefrontal con la mayor parte del resto del cerebro. En los humanos, una célula piramidal prefrontal de la capa III posee hasta veintitrés veces más espinas dendríticas (las proyecciones microscópicas que establecen contacto con otras neuronas) que una célula piramidal de la corteza visual. La densidad y riqueza de la conectividad de las células piramidales prefrontales ha aumentado de manera continua a lo largo de la evolución de los primates, alcanzando su cima en el cerebro humano. Una célula piramidal prefrontal humana posee, por término medio, casi el doble de espinas dendríticas basales que una neurona equivalente de un macaco, y casi cuatro veces más que la de un tití[33].

Estos atributos estructurales están repletos de consecuencias funcionales que nos permiten relacionar las redes neuronales con la cognición compleja de varias y nuevas maneras, algunas de la cuales comentaremos aquí. Es por esta razón que creo que el descubrimiento de la CDR por Amy Arnsten y su equipo de neurocientíficos de Yale se cuenta entre los avances recientes más destacables de la neurociencia, y podría darnos la clave para resolver algunos de los enigmas centrales de nuestro campo, hasta ahora intratables. Lo que sigue es un conjunto de hipótesis interrelacionadas, un relato especulativo que debería tenerse por tal, recordando que una hipótesis no es más que eso hasta que encuentra apoyo o es rechazada; pero también, y en la misma medida, que los avances más importantes empiezan por una simple hipótesis, por una especulación.

Demos entrada a los «FROP»

Al menos en términos hipotéticos, podemos imaginar un mecanismo que cuando se activa una red estable, mediada por sinapsis y que representa cierto conocimiento en el almacén a largo plazo, realiza una «copia» temporal de esa red (o de varias redes) en los lóbulos frontales en forma de CDR mediante un mecanismo que todavía no conocemos. Nos referiremos a este proceso como «resonancia frontal», y a la copia efímera hipotética como «fantasma frontal» o FROP (por el inglés *frontal phantom*). Como en todo momento solo se «fropea» a los lóbulos frontales un pequeño subconjunto de todas las redes neuronales que existen en la corteza posterior, se esquiva el problema de la capacidad informacional que hemos mencionado antes. Supongamos asimismo que, para que se produzca la resonancia frontal, la corteza prefrontal (y, en particular, la CPFDL) debe encontrarse en estado activo, «orientado a tareas». De este estado de activación frontal, que a veces se conoce como «hiperfrontalidad», nos ocuparemos más a fondo en el capítulo 7.

Nuestra hipótesis no especifica el grado de detalle de los «FROP», si captan toda o solo parte de la información contenida en la red cortical posterior que es objeto de la copia, o sea, si se trata de una copia exacta o de una copia «básica». En el caso de que fuera «básica», la representación prefrontal de una red posterior extensa no sería, en sentido estricto, una copia, pero podría ayudar a mantener activa la red neuronal posterior original en tanto exista la representación «básica» en una forma mediada por la CDR.

A un neurocientífico riguroso y de mente conservadora, esta concepción de los FROP y de la resonancia frontal bien podrá parecerle una fantasía casi frívola, pero esa impresión se desvanecerá en el momento en que reconozca su semejanza con la conjetura más ampliamente aceptada para describir los mecanismos de «mantenimiento en línea» de la memoria de trabajo en los experimentos con animales. La diferencia es que, en lugar de simple información sensorial con limitado contenido informacional, ampliamos la conjetura para aplicarla a la información, muchísimo más compleja y diversa, que se guarda en el almacén de memoria a largo plazo, donde se ha acumulado durante años o décadas. No obstante, esta conjetura modificada requiere de un

mecanismo que permita representar en la corteza prefrontal, aunque solo sea de forma temporal y durante breves periodos de tiempo, esa información compleja, diversa y continuamente cambiante. La capacidad de la CDR para mediar en tales representaciones es consecuencia de sus ricas propiedades combinatorias, que a su vez son consecuencia de la exquisitamente rica conectividad de las neuronas piramidales. Además, el surgimiento de la CDR durante la evolución ha dotado a la memoria de trabajo de la capacidad para manipular el complejo contenido del almacén a largo plazo, sin limitarse a la información sensorial, que es relativamente simple.

Amy Arnsten fue estudiante y cercana colaboradora de Patricia Goldman-Rakic, lo que se refleja en la fuerte continuidad que existe en su trabajo. (Siendo yo también estudiante y cercano colaborador de un gran científico, Aleksandr Lúriya, sé muy bien que un linaje afamado conlleva tanto una distinción como una carga). El descubrimiento de la CDR permite imprimir contenido mecanicista al concepto de «memoria de trabajo», a cuyo conocimiento tanto contribuyeron Fuster y Goldman-Rakic, pero que, pese a ello, durante tanto tiempo se ha mantenido opaco y esquivo, para frustración de todos. Como ya he dicho, se han invocado tantas veces metáforas como «cuaderno de notas mental» o «poner información en línea» para destacar la naturaleza de la memoria de trabajo que han creado una cierta ilusión de conocimiento. Pero por evocadoras que sean, esas metáforas no llegan a ofrecernos una comprensión mecanicista de los verdaderos procesos cerebrales implicados en la memoria de trabajo humana. El descubrimiento de la CDR por Amy Arnsten y colaboradores podría ser un paso importante hacia esa comprensión.

La caja de Pandora de la consciencia, reabierta

Suponiendo que la resonancia frontal y los fantasmas frontales (FROP) con base en la CDR sean fenómenos neuronales reales y no simples fantasmas de mi desquiciada imaginación, ¿qué relación mantienen con el fenómeno de la experiencia consciente?

Me dejo llevar hacia esta deliberación en contra de mi buen juicio, pues la consciencia es una caja de Pandora de la que suelo mantenerme alejado. Para empezar, siempre me ha parecido que se ha dado a este tema más importancia de la que merece, puesto que la gran mayoría de nuestros procesos cognitivos son automáticos, guiados más por el «piloto automático mental» que por un proceso consciente. Además, me daba la impresión de que la fascinación que muestran por este asunto tanto los neurocientíficos como el público en general era una forma de escurrir el bulto epistemológico (la renuencia, en el fondo, a despojarse del todo del dualismo cartesiano), de que la consciencia era el alma disfrazada y de que «como muchos conversos recientes, seguimos adorando en secreto a los viejos dioses, al dios del alma disfrazado de consciencia»[34]. En cuanto a la propia experiencia consciente, mi posición ha sido minimalista hasta decir basta: que no es ni más ni menos que una red neocortical suficientemente grande activada durante un período de tiempo suficientemente largo con suficiente intensidad. Entendida la consciencia de este modo, el verdadero papel de la «investigación sobre la consciencia» debería centrarse en caracterizar tres parámetros críticos: el tamaño de la red, la duración de su período de actividad y la intensidad de la activación necesarios para que un fenómeno neuronal se convierta en una experiencia consciente. Un fenómeno relacionado, el de un pensamiento efímero, vago y pobremente articulado al que a veces llamamos «intuición» o «corazonada», también puede estudiarse con los mismos parámetros, puesto que puede entenderse dentro de este marco como la activación de una red más pequeña, o activada durante menos tiempo o con un nivel de intensidad más bajo.

Sin embargo, podía entender también que a muchos, quizá a la mayoría de los interesados en el tema, esta concepción minimalista de la consciencia les pareciera terriblemente inadecuada. Intuitivamente, la consciencia implica la capacidad autorreferencial del organismo, es decir, la capacidad de formar una representación de sí mismo, de sus propios estados internos. Los filósofos de la mente han visto en la capacidad autorrepresentacional una propiedad fundamental de un sistema

nervioso desarrollado[35]; sin embargo, faltaba una comprensión mecanicista de cómo se producía realmente, y yo soy el primero en reconocer que una conceptualización minimalista de la consciencia similar a la descrita aquí tampoco la proporciona.

Suponiendo que sean reales, los fantasmas frontales o «FROP» salvan esta brecha conceptual porque son en esencia autorrepresentacionales, y, justamente por ello, pueden servir de base para el mecanismo de la experiencia consciente. Puesto que, de acuerdo con nuestra conjetura, el «fropeo» autorrepresentacional se produce en la corteza prefrontal, esta se sitúa en el núcleo de la explicación sobre la consciencia, haciéndose eco de algunas aseveraciones anteriores sobre el papel de la corteza prefrontal en la consciencia y sobre la relación entre el surgimiento de la consciencia y el desarrollo del lóbulo frontal a lo largo de la evolución[36]. En todo momento, las redes fantasma «copiadas» en la corteza prefrontal son de limitado alcance, y pueden ser rápidamente suplantadas por otras redes fantasma de alcance igualmente limitado, lo que concuerda con la experiencia subjetiva del reducido foco de la consciencia en un momento dado. En cambio, el alcance de las representaciones neuronales potencialmente disponibles para ser copiadas como fantasmas en la corteza prefrontal es muy amplio, lo que concuerda con la sensación subjetiva de la diferencia entre aquello de lo que un individuo es consciente en un momento dado y lo que se encuentra potencialmente disponible para la experiencia consciente, siendo lo primero reducido y lo segundo muy amplio. Últimamente se ha popularizado la idea de un «espacio de trabajo global» como metáfora del foco de la consciencia con un contenido fugaz y continuamente cambiante[37]. En la medida en que la metáfora sea útil, la corteza prefrontal lateral, con una corriente rápida y caleidoscópicamente fluida de «fantasmas frontales», constituiría ese «espacio de trabajo global».

Cómo se crea una sirena

El descubrimiento de la CDR también podría arrojar luz sobre el tema central de este libro: cómo se crean las sirenas, los hombres-león, los

asertos chomskianos imposibles o las grandes ideas científicas. La creación de todo ello necesita de la combinación de elementos de varias redes neuronales, cada una de las cuales representa cierta «antigua» información, imagen o concepto, en una sola red «nueva». Estas distintas representaciones pueden tener muy poco en común en la mayoría de las circunstancias, y las redes neuronales que las recogen pueden estar poco o nada solapadas. Ahí radica el enigma. Descartada la mano mágica del homúnculo, ¿cómo pueden juntarse estas redes neuronales no solapadas? Se da por hecho que esta capacidad es exclusiva de la corteza prefrontal. Para ilustrarlo, consideremos una prueba neuropsicológica muy utilizada, la prueba de fluidez verbal, en la que se pide al sujeto que genere tantas palabras como pueda de un tipo determinado durante un período de tiempo especificado, por lo general unos pocos minutos. La tarea puede adoptar dos formas distintas, cada una de las cuales sondea, supuestamente, la integridad funcional de distintas partes de la corteza. En una de las formas, al sujeto se le pide que genere tantos miembros como pueda de una categoría particular, por ejemplo nombres de piezas de vestir o de animales. En la otra forma, se le pide que genere tantas palabras como pueda que comiencen por cierta letra. A primera vista, las dos tareas son bastante parecidas, pues ambas requieren acceder al léxico propio y extraer de él ciertos elementos. Sin embargo, muchos neuropsicólogos creen que, a pesar de su aparente semejanza, las demandas neurales de estas dos pruebas en apariencia tan parecidas son distintas: la segunda requiere la participación de los lóbulos frontales, la primera no. ¿Por qué? Porque el léxico está organizado en el cerebro en función de jerarquías semánticas y no en función de las formas fonológicas o grafémicas de las palabras. Lo que esto significa es que si la tarea consiste en generar nombres de cosas que pertenezcan a la misma categoría, el sujeto accederá a representaciones neuronales almacenadas en la corteza unas junto a otras, y las redes neuronales subyacentes estarán fuertemente solapadas. En cambio, para generar palabras que comiencen por una letra determinada el cerebro tiene que «violentar» la métrica natural de las representaciones corticales del lenguaje y acceder a redes dispares y localizadas unas lejos de las otras, con poco

solapamiento. Yuxtaponer ideas, conceptos o datos distantes en combinaciones insólitas e inesperadas se encuentra también en el núcleo de la innovación y la creatividad de mayor importancia, y la maquinaria neuronal subyacente a estas podría ser fundamentalmente similar a la que explica el rendimiento en la humilde prueba neuropsicológica descrita aquí.

¿Cómo ocurre eso en el cerebro? ¿De qué modo se integran unos elementos de redes neuronales diferentes, tal vez neuroanatómicamente dispares, en redes nuevas y cohesionadas? Lo que sigue quizá no merezca siquiera el calificativo de hipótesis científica, así que lo llamaré «fantasía científica», y me permitiré el lujo de exponerla aquí a riesgo de que mis pares académicos la puedan tachar de cliché o de disparate, acogiéndome a la posibilidad de que resulte ser profética. Como mínimo, la idea se presta a ser validada o refutada mediante interesantes modelos de redes neuronales.

Consideremos dos escenarios no mutuamente excluyentes para explicar el proceso. Uno de los escenarios incorpora la resonancia de «fantasmas frontales» y el otro no, pero ambos se fundamentan en la exquisitamente rica conectividad inherente a las células piramidales de la capa III involucradas en la CDR.

Escenario 1 – «FROP» y «doble resonancia»: Supongamos que varias redes neuronales robustas, sinápticamente codificadas, que residen en áreas no solapadas de la corteza de asociación posterior (parietal, temporal y occipital) se «copian» (o «fropean») de manera casi simultánea en la corteza prefrontal a través del mecanismo de resonancia frontal mediado por la CDR. Estas «copias neuronales» se encuentran ahora en un territorio cortical más restringido, una especie de limitado espacio de trabajo donde literalmente se solapan, aunque de forma efímera. Que las réplicas «fantasma» de los circuitos neuronales que se encontraban alejados en el espacio cortical posterior ahora se encuentren literalmente solapados en la corteza prefrontal es crucial para la idea que estamos desarrollando aquí, pues facilita la formación de conexiones entre sus componentes que anteriormente no habrían sido posibles, o al menos habrían sido altamente improbables. En cierto modo, es como

mezclar distintas bandas sonoras y obtener como resultado una nueva tonada (figura 4.5).

Las redes neuronales que residen en áreas muy distintas de la corteza, donde no se solapan, son «copiadas» conjuntamente y de manera temporal a un espacio cortical restringido (los lóbulos frontales), siempre y cuando su activación fuese cercana en el tiempo. La red neuronal temporal combinada puede dar lugar a patrones de activación completamente nuevos que conectan elementos que nunca antes se habían combinado. Aunque la mayor parte de estos patrones de activación no representan soluciones nuevas ni valiosas para la tarea a la que se enfrenta el organismo, alguna quizá sí. Como Linus Pauling, dos veces galardonado con el premio Nobel, dijo en una ocasión: «La mejor manera de tener una buena idea es tener muchas ideas».

Figura 4.5. Fantasmas frontales superpuestos. Redes que no se solapan y que se encuentran distribuidas por áreas alejadas de la corteza posterior se «copian» temporalmente en la corteza prefrontal, donde sí se superponen.

Ahora son varias las combinaciones posibles de componentes de estas redes que anteriormente no habían estado relacionados. Supongamos además que el cerebro «juzga» que algunos de esos productos *de novo*, resultado del solapamiento, satisfacen las metas de la tarea cognitiva de la que se está ocupando. Todavía tenemos que descubrir de qué modo se realiza esta valoración, pero es casi seguro que en ella interviene la corteza prefrontal, y el hecho de que las redes *de novo* se formen precisamente en la corteza prefrontal facilitaría el proceso. Las redes neuronales seleccionadas de este modo se «copian» ahora a la corteza posterior, donde serán tratadas de un modo parecido a como se tratan las impresiones provenientes del mundo exterior. Con el tiempo, podrían adquirir una forma robusta, estructural, mediada por sinapsis, y pasar a formar parte del almacenamiento a largo plazo; o podrían acabar desvaneciéndose. A este proceso bidireccional de copiado entre las áreas prefrontales y el resto de la neocorteza lo llamaremos «*doble resonancia*». La mediación en este proceso de resonancia bien podría ser una de las funciones principales de la red ejecutiva central (la «orientada a tareas»).

¿En qué condiciones se «copian» redes neuronales en un sentido y en el otro entre las regiones prefrontales y el resto de la neocorteza? En todo momento se activan en nuestro cerebro redes neuronales robustas, estructuralmente representadas. Cuando me tropiezo con un amigo en la calle y digo: «Hola, Bob», se activa la red que contiene el conocimiento de que el nombre de esa persona es Bob y de la asociación de ese nombre con esa cara. ¿Significa eso que, de acuerdo con nuestro escenario, se «copiará» automáticamente a la corteza prefrontal? Casi con seguridad no, pues tal falta de selectividad inundaría la corteza prefrontal de ruido neural, convirtiéndola en un auténtico basurero de información que dificultaría cualquier proceso útil de toma de decisiones en lugar de facilitarlo. Pero ya hemos restringido nuestro escenario (es demasiado vago para que pueda llamarlo «modelo») cuando hemos postulado que, para que la red estructural se «copie» a la corteza prefrontal por medio del mecanismo de la CDR, el cerebro debe hallarse en un estado *hiperfrontal*, «orientado a tareas». Un mecanismo de restricción parecido

debe controlar la doble resonancia, de manera que, para que se produzca, tanto la corteza prefrontal como las cortezas de asociación posteriores deben hallarse en una estado de excitación óptimo «orientado a tareas».

Claramente, este es un escenario muy vago sobre cómo pueden generarse nuevas ideas a partir de elementos de conocimiento previo, poco más que un primer borrador con más hueso que carne. Por apuntar algunos de los aspectos que quedan por dilucidar, no sabemos qué información se retiene ni cuál se pierde durante el proceso de doble resonancia, y tampoco comprendemos sus mecanismos neuronales. No obstante, podría ser un comienzo, un punto de partida heurístico para investigaciones futuras y modelos computacionales que el descubrimiento de la CDR ha hecho posible. Un aspecto central de este escenario es la proposición de que cuando se activan circuitos neuronales estructuralmente articulados, y bajo ciertas circunstancias que todavía no hemos identificado, estos circuitos se «copian» a la corteza prefrontal por medio de la CDR, y de que varias de esas «copias» acaban solapándose de manera simultánea en las mismas regiones restringidas de la corteza prefrontal, lo cual posibilita el ensamblaje de los fragmentos de redes «viejas» en redes «nuevas».

Escenario 2 – la «superred»: Gracias a su riqueza dendrítica, las células piramidales prefrontales de la capa III se conectan con grandes redes neuronales por toda la neocorteza. Cada una de estas neuronas recibe entradas de una gran red y, lo que es más importante, envía salidas hacia ella. Supongamos ahora que, a través de un mecanismo de la CDR, se monta una red de neuronas piramidales prefrontales que se encuentran activas en el mismo momento. Como cada una de estas neuronas está conectada con un gran número de neuronas a través de su axón altamente ramificado, el resultado será la activación simultánea de varias grandes redes en otros lugares de la neocorteza, que por lo general no se solapan, o lo hacen solo mínimamente. En conjunto, conformarán una «superred» temporal que permitirá una interacción de representaciones corticales que de otro modo no habrían interactuado. En consecuencia, serán posibles yuxtaposiciones novedosas de los

elementos de representaciones «viejas», lo que conduciría a la formación de nuevas imágenes, conceptos e ideas (figura 4.6)[38].

Estos escenarios hipotéticos, o una combinación de ambos, representan los componentes esenciales de un proceso de solución de problemas deliberado, consciente y que persigue un objetivo. Aunque de momento ambos sean muy especulativos, sus propiedades pueden estudiarse mediante modelos computacionales y quizá también experimentalmente.

Estos escenarios proporcionan un marco mecanístico hipotético para reflexionar sobre cómo se genera la novedad en el cerebro, y sobre el papel que desempeña la corteza prefrontal en el proceso creativo.

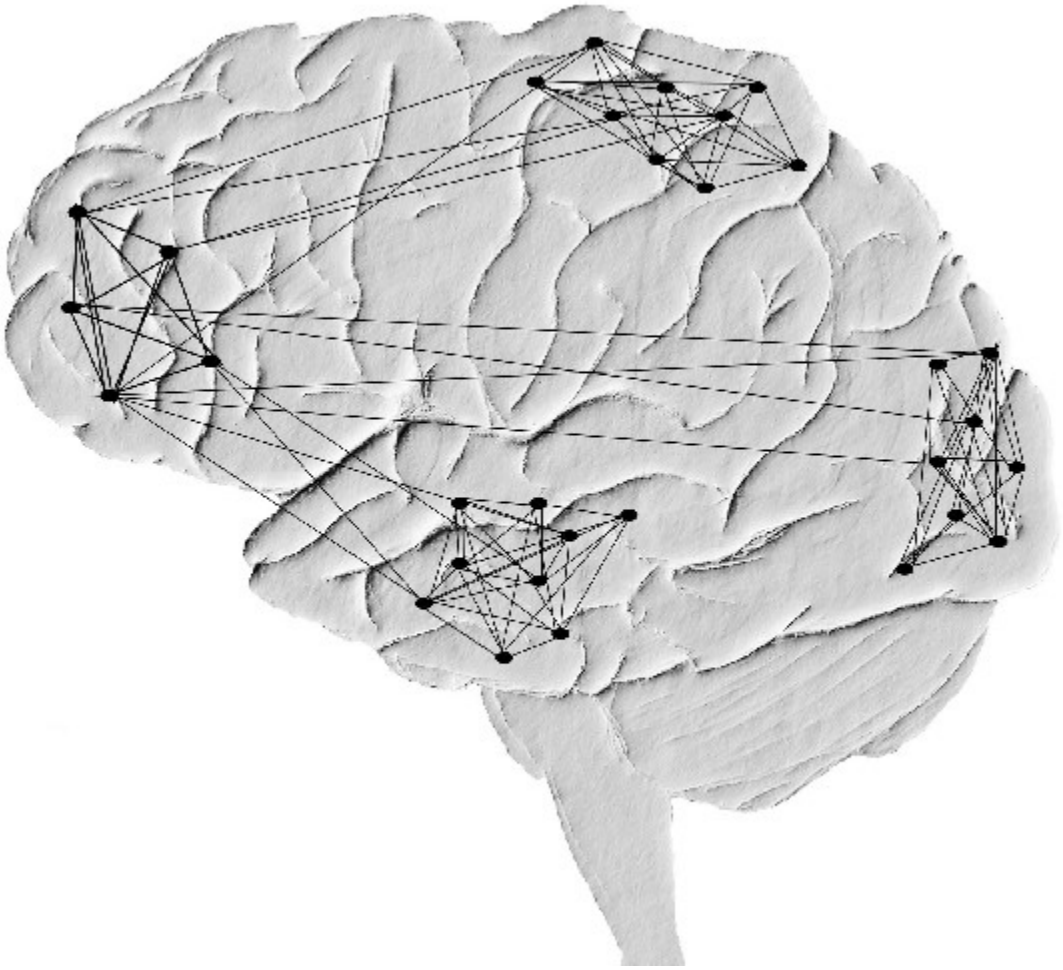


Figura 4.6. Formación de una superred. Una red formada de manera temporal en la corteza prefrontal coactiva redes posteriores que de otro modo no interactuarían.

La maquinaria sistemática y orientada a objetivos de la corteza prefrontal, que hemos intentado esbozar aquí, a menudo llega bastante lejos en el propósito de llevar a buen puerto el proceso creativo. A menudo tiene éxito, pero no siempre, o no hasta el final. Cuando estos mecanismos no bastan, hay que involucrar a otros mecanismos cerebrales para complementar los procesos dirigidos por la corteza prefrontal. Comentaremos estos mecanismos en los capítulos 6 y 7. Pero incluso cuando no basta por sí sola, la búsqueda de soluciones dirigida a objetivos que guía la corteza prefrontal sigue siendo necesaria en la

mayoría de los casos porque prepara el terreno para la proverbial «chispa creativa».

5

¡Todo tiene que ver con la relevancia!

EL CIRCUITO DE LA RELEVANCIA

El libre albedrío tiene que ver con la elección. Elegir las batallas es tan importante como ganarlas. La elección de nuevas metas es tan significativo como su resultado final. A diferencia de los exámenes académicos o las pruebas cognitivas que usan los psicólogos, la mayoría de los desafíos de la vida real no se nos presentan como preguntas formuladas de forma precisa. Corresponde a la persona decidir qué es *relevante*, cuál debería ser el tema central de un proyecto científico o artístico. *Relevancia* es un término ambiguo, y esta ambigüedad se ve reflejada en sus definiciones. *The Cambridge Dictionaries Online* define *relevancia*[*] como «el hecho de ser importante para o relacionado con lo que está ocurriendo o se está discutiendo». En *The Oxford Advanced Learner's Dictionary*, se define como algo «especialmente destacable o importante»[1].

Así pues, relevancia puede referirse tanto a que algo es importante, como a que es destacado. A medida que la palabra «relevancia» se convertía en un término en boga, se ha usado en distintas disciplinas y por distintos autores con significados distintos. Como los neuropsicólogos la usan a menudo y aparece de forma prominente en este libro, conviene empezar por explicar cómo la usaremos aquí. Algunos autores usan *relevancia* para referirse a prominencia sensorial: los psicólogos suelen calificar de «relevantes» a un sonido muy fuerte o

una luz intensa, pero no es así como usaremos nosotros el término. *Relevancia* se usa a veces para referirse a algo inesperado, algo que supone un cambio rápido o una novedad, pero tampoco es así como lo usaremos aquí. Finalmente, *relevancia* puede significar algo de considerable importancia o pertinencia, y es así como usaremos el término en este libro. Como algunos autores (no es mi caso) pueden usar el término «relevancia» de forma intercambiable con «novedad», las diferencias en la forma de expresarse no implican necesariamente contradicciones en el significado pretendido.

¿Qué empujó a Albert Einstein a centrar su atención en la relación entre el espacio y el tiempo y no en otras relaciones posibles entre variables físicas? ¿Que impelió a Lev Tolstói a escribir una obra maestra de la literatura sobre la invasión napoleónica de Rusia, y no sobre alguno de tantos otros temas posibles? (Que por cierto se resistía a calificar a su obra de «novela», y *Guerra y paz* probablemente sea una mala traducción; *Guerra y sociedad* podría acercarse más a la intención del autor, aunque en ruso el título es, posiblemente de manera intencionada, creativamente ambiguo).

A un nivel menos elevado, imaginemos un grupo de estudiantes que toman apuntes durante una clase. El comportamiento del grupo será muy asíncrono. Los distintos estudiantes apuntarán sus notas en momentos distintos de la clase porque variará su juicio sobre la importancia relativa de los diversos datos o ideas presentados por el profesor, sobre cuáles son más relevantes y cuáles menos. Esto es un *comportamiento guiado por la relevancia*, guiado por el juicio subjetivo de lo que es importante más que por una instrucción explícita e impuesta desde fuera.

Para entender la maquinaria cerebral que subyace a la determinación de la relevancia, necesitamos considerar la corteza prefrontal y otras estructuras relacionadas. La función correcta de estas estructuras es necesaria para garantizar el prerrequisito central de un proceso creativo que conduzca a una innovación: que aborde algo de relieve para la sociedad y no algo frívolo, intrascendente o marginal. Sin esta capacidad, un individuo puede tener talento y tesón, pero sus esfuerzos serán

«mucho ruido y pocas nueves» y, por consiguiente, no satisfarán la primera prueba de fuego de la creatividad y serán ignorados. En este capítulo examinaremos el papel de los protagonistas centrales del cerebro por lo que se refiere a la decisión sobre qué es importante y qué no lo es: los lóbulos frontales, el hemisferio izquierdo y la dopamina.

La mayoría de las situaciones de la vida real son ambiguas y no se nos presentan con una «orden de avanzar» prescrita desde fuera. Corresponde al individuo decidir, dentro de ciertas restricciones, qué acción tomar, en qué problema centrarse, o cómo priorizar el tiempo y los recursos propios. Enfrentados a la misma serie de circunstancias, lo más probable es que distintas personas elijan cosas distintas, y que una serie de decisiones no sea necesariamente mejor que otra en algún sentido «objetivo» o absoluto. Si, tras superar los exámenes de entrada a la universidad, Jane decide proseguir sus estudios en la escuela de medicina y John decide estudiar derecho, ¿quién puede decir que una elección es «correcta» y la otra «errónea» en un sentido absoluto? La determinación de la relevancia es intrínsecamente subjetiva.

Ahí radica una paradoja y un desafío. La mayoría de los paradigmas de la investigación utilizados por los científicos para estudiar las funciones de la corteza prefrontal en personas sanas se han basado, tradicionalmente, en pruebas específicas con instrucciones precisas para hallar la respuesta «correcta» o la «mejor» solución, donde la definición de «correcta» o «mejor» es intrínseca a la prueba. Incluso en experimentos dirigidos a entender la maquinaria cerebral de la relevancia, no es raro que a los sujetos se les informe por adelantado de cuáles son los aspectos «relevantes» de la tarea a los que tienen que prestar atención: «Presione el botón solo cuando aparezca un círculo rojo», «Presione el botón si el estímulo es el mismo que antes», etcétera. Lo mismo puede decirse de la mayoría de los test psicológicos diseñados para diagnosticar disfunciones del lóbulo frontal en traumas cerebrales, demencia u otras dolencias. Estos paradigmas han sido bastante útiles e informativos para el estudio de diversas funciones sustentadas por los lóbulos frontales (planificación, flexibilidad mental, control de los impulsos), pero es muy poco lo que nos dicen sobre los mecanismos

cerebrales de la determinación de la relevancia en situaciones de la vida real. A riesgo de ser redundante, permítaseme insistir en que en la mayoría de las situaciones realistas no hay ningún guardia o director mental que dirija nuestro tráfico cognitivo: nos corresponde a nosotros decidir qué es relevante y qué superfluo.

Así pues, se ha producido una verdadera discordancia entre un aspecto muy importante de la función del lóbulo frontal y las herramientas, tanto clínicas como de investigación, de las que disponemos para estudiarla. Es como si intentásemos medir la presión sanguínea con un termómetro. La incapacidad para distinguir entre la relevancia tal como la determina el individuo y la «relevancia» impuesta por el experimentador ha tenido como consecuencia una considerable confusión en la literatura neurocientífica. Esta distinción será muy importante para lo que discutiremos a continuación, de modo que para evitar mayores confusiones nos referiremos a la relevancia según la determina el individuo como «relevancia interna», y a la impuesta por el experimentador, como «relevancia externa». Recordemos también que aún puede generar más confusión el uso laxo de la palabra «relevancia» en la literatura de investigación. Un estímulo a menudo se califica de «relevante» cuando es fuerte (alto o intenso) o inesperado, atributos que pueden calificarse de «relevantes» en el sentido de «importantes» pero no tienen por qué. Cuando camino por las calles de Manhattan, presto atención a los restaurantes nuevos porque suelo comer fuera; en cambio, no presto atención a las nuevas sucursales de bancos porque llevo años usando la misma sucursal del mismo banco y no tengo razón alguna para interesarme por otras. Esta selectividad en la asignación de la atención está guiada por la relevancia interna. Sin embargo, si un invitado de otra ciudad me pregunta dónde está el cajero automático más cercano, en mi próximo paseo por las calles me fijaré en las sucursales de los bancos. Ahora la selectividad en dónde pongo la atención vendrá guiada por su relevancia externa. La mayoría de los experimentos realizados por científicos cognitivos son del segundo tipo.

Paradójicamente, en algunos aspectos importantes los paradigmas que suelen usarse para estudiar la cognición animal se acercan más a

cómo funciona la cognición humana que los usados en la investigación con humanos. A diferencia de lo que ocurre en un estudio con humanos, no podemos «instruir» a un mono o a una rata para que hagan lo que sea que el investigador quiere que hagan. Lo que sí podemos hacer es diseñar nuestro experimento de tal manera que el animal tenga que descubrir las variables que queremos estudiar como importantes desde su propia perspectiva, que naturalmente son las variables vinculadas con la recompensa. Uno puede pensar que está estudiando la memoria espacial de la rata, pero, en lo que concierne a la rata, esta está buscando el modo de hacerse con un bocado de comida. Corresponde al animal determinar qué es relevante en el entorno dentro del contexto de sus necesidades. Así pues, lo que en realidad estamos estudiando no es solamente la memoria espacial de la rata, sino también su capacidad para seleccionar la disposición del laberinto (y no el color del vestido de la examinadora o la intensidad de la luz en la estancia) como la característica relevante cuyo dominio le conducirá a la recompensa. La rata puede fracasar en la prueba no porque su memoria espacial esté dañada (lo que implicaría el hipocampo), sino porque esté dañada su capacidad para determinar la relevancia (lo que implicaría a los lóbulos frontales, sean como sean en las ratas).

Hasta hace relativamente poco tiempo, la falta de interés por la determinación subjetiva de la relevancia y por sus mecanismos neurales provocaba una considerable confusión en la neurociencia cognitiva. Esto es cierto en particular en lo que atañe al constructo, que por muy de moda que esté sigue siendo opaco, de la «memoria de trabajo». Como ya he defendido en mi anterior libro, *The New Executive Brain*, y también en el capítulo 4 de este libro, quizá convenga considerar la relevancia para dar claridad a este constructo y para entender los fallos de la memoria de trabajo derivados de lesiones en los lóbulos frontales. Solo durante las últimas décadas se han iniciado estudios sobre los lóbulos frontales humanos para abordar la toma de decisiones «centrada en agentes» y guiada por una relevancia determinada de forma subjetiva[2].

Como ya sabemos, la corteza prefrontal y unas pocas estructuras estrechamente interconectadas con ella son especialmente importantes

en la determinación de la relevancia en situaciones ambiguas, no claramente definidas, en las que corresponde al individuo decidir qué elecciones tomar de entre varias elecciones posibles. Al parecer, de entre las diversas subdivisiones de la corteza prefrontal, la corteza orbitofrontal (a veces denominada ventral) y la corteza cingulada anterior, que está estrechamente vinculada con ella, son especialmente importantes en la toma de decisiones guiada por la relevancia[3], y las disfunciones en estas áreas están implicadas en varios trastornos caracterizados por un defectuoso juicio de relevancia, por ejemplo en la esquizofrenia y la demencia frontotemporal[4]. Resulta también que estas dos regiones son mayores en el hemisferio cerebral izquierdo que en el derecho (figura 5.1)[5].

A partir de todo esto, es tentador inferir que la determinación de la relevancia está especialmente vinculada con la corteza prefrontal del hemisferio izquierdo, y tal vez con el hemisferio izquierdo en general. Esta línea de inferencia se sustenta en la premisa de que «cuanto más grande, mejor», que puede parecer demasiado simplista, casi hasta el punto de la ofensa, para dilucidar las funciones de algo tan elevado como el cerebro humano. Sin embargo, un creciente número de estudios basados en técnicas de neuroimagen morfométrica han demostrado que, por simplista que parezca, a menudo se confirma una relación entre el tamaño de una estructura neural y su función. Tiene sentido, al menos para mí, porque, al fin y al cabo, el cerebro es una red neuronal, y las simulaciones numéricas han demostrado que la potencia computacional de una red neuronal es, hasta cierto punto, función de su tamaño.

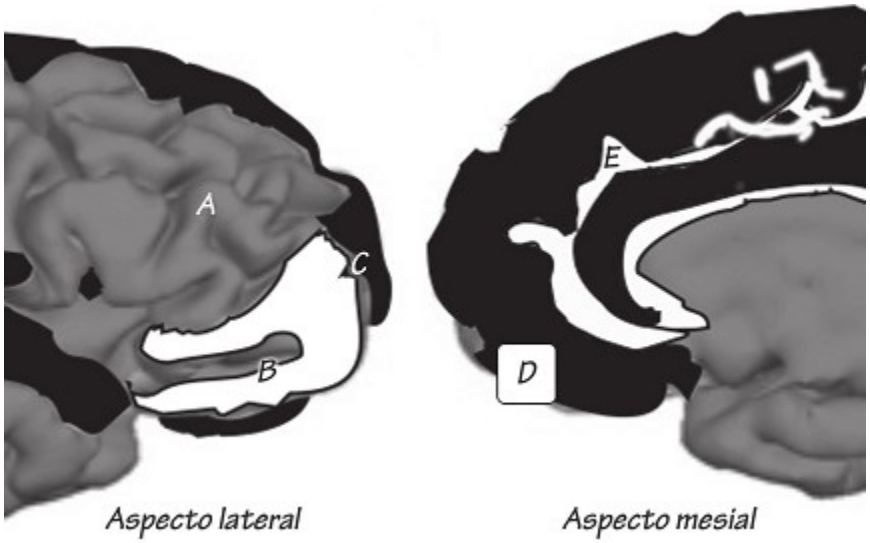


Figura 5.1. Asimetrías regionales en los lóbulos frontales. Las áreas de color negro sólido son mayores en el hemisferio izquierdo; las áreas blancas son mayores en el hemisferio derecho. (A) Dorsolateral, (B) ventrolateral, (C) frontopolar, (D) ventromedial/orbitofrontal, (E) cingulada anterior. Adaptado con permiso de E. Goldberg et al., «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210.

RELEVANCIA POR DEFECTO

Podemos aprender más sobre la maquinaria cerebral de la cognición guiada por la relevancia interna examinando la «red neuronal por defecto» del cerebro, que ya hemos mencionado en el capítulo 4. El interés por esta red, que es relativamente reciente, es el resultado de dos grandes cambios de paradigma en la neurociencia cognitiva. El primer cambio de paradigma se produjo cuando se comprendió que las funciones mentales complejas no surgen de regiones cerebrales aisladas, sino de interacciones entre múltiples *redes* de regiones interconectadas y distribuidas. El segundo cambio de paradigma ocurrió cuando se comprendió, en buena medida gracias a las investigaciones de Marcus Raichle y colaboradores de la Universidad de Washington en St. Louis, que los patrones de activación de un cerebro en reposo son tan interesantes como los de un cerebro ocupado en una tarea cognitiva

impuesta desde fuera[6]. Los hallazgos propiciados por estos cambios de paradigma desencadenaron una profunda reconsideración de lo que queremos decir cuando hablamos de cerebro «en reposo». Un cerebro verdaderamente desocupado probablemente generaría un patrón de activación relativamente aleatorio, pero no es eso lo que descubrieron los neurocientíficos. Al contrario, lo que registraron fue un patrón de activación característico que implicaba a los aspectos orbital y medial de los lóbulos frontales, a la porción posterior de la corteza cingulada, y a ciertos aspectos de los lóbulos parietal y temporal. Esta red de regiones cerebrales funcionalmente interconectadas, que ya hemos conocido en el capítulo 4, dio en conocerse como «red neuronal por defecto» (figura 4.3)[7].

La red neuronal por defecto también se denomina red «no orientada a tareas» (*task-negative network*), pero no es una denominación del todo apropiada, pues surge de la incapacidad de distinguir entre la relevancia externa y la interna. La red neuronal por defecto está activa cuando el cerebro no está ocupado en una tarea impuesta *externamente*. Sin embargo, lejos de abandonarse a la ociosidad o la aleatoriedad, queda libre para ocuparse de actividades cognitivas de su propia elección. Sus actividades están guiadas ahora por la *relevancia interna*. Es interesante que la red neuronal por defecto se encuentre activa en los estados mentales conocidos como *divagación mental*, en los que, liberado de la imposición de tareas impuestas desde fuera, el cerebro se puede permitir el lujo de centrar su atención en las prioridades generadas internamente por el propio organismo: reflexionar sobre el futuro, sobre el pasado, sobre uno mismo o sobre la relación de uno mismo con otros. Puede argumentarse que es precisamente en estos estados cuando se afrontan los dilemas de mayor consecuencia, incluso existenciales, y cuando el individuo toma decisiones[8].

Por todas estas razones, la red neuronal por defecto puede denominarse justificadamente «red de la relevancia interna», aunque en la literatura neurocientífica el término «relevancia» («salience») se suela reservar para una red muy distinta, la «red de la relevancia» (RR[9]), que ya se mencionó brevemente en el capítulo 4. En mi opinión, tampoco es

esta una denominación apropiada, pues surge de un uso ambiguo de la palabra «relevancia», y creo que sería más adecuado que la red que habitualmente se conoce como «red de la relevancia» se denomine red de «detección de la novedad» o de «detección de cambios». Que la red neuronal por defecto no es aleatoria en absoluto queda reflejado también en el hecho de que es más pronunciada y más claramente lateralizada en el hemisferio izquierdo que en el hemisferio derecho[10], y que presenta una organización más eficiente en los lóbulos frontales izquierdos que en los derechos[11]. Estos hallazgos resultan especialmente interesantes en el contexto de nuestra discusión, puesto que, una vez más, apuntan a un papel crítico de las estructuras prefrontales izquierdas en la cognición guiada por la relevancia interna.

La dinámica entre estos dos «estados cerebrales», uno guiado por las demandas de tareas externas (la red de relevancia externa «orientada a tareas»), la otra por estados intrínsecos del organismo (la red de relevancia interna «no orientada a tareas»), reviste un especial interés. Con la ayuda de una novedosa metodología de «grafos dinámicos», John Medaglia y sus colaboradores de la Universidad de Pensilvania han demostrado que el desarrollo normal en los humanos está caracterizado por un incremento del tiempo que el cerebro dedica a estos dos estados y por una creciente flexibilidad en el cambio entre ellos. Estos autores especulan que estos cambios durante el desarrollo neural se corresponden con el desarrollo de funciones ejecutivas a medida que se progresa de la infancia a la adolescencia y la joven edad adulta[12].

RELEVANCIA, DOPAMINA Y EXCITACIÓN FRONTAL (O FALTA DE ELLA)

Señalización de la relevancia

Hay otro protagonista, esta vez bioquímico, en la maquinaria cerebral de la relevancia: la dopamina. Esta sustancia, que en la literatura científica suele abreviarse con el acrónimo DA, es un neuromodulador. Son varios los sistemas bioquímicos que actúan en el cerebro y desempeñan un

papel esencial en la comunicación entre neuronas. Entre estos sistemas bioquímicos, es habitual distinguir entre los neurotransmisores, de acción rápida, y los neuromoduladores, de acción más lenta (aunque no es raro que los dos tipos se recojan bajo la denominación de «neurotransmisores»). La dopamina pertenece a la segunda clase. Entre los neurotransmisores, la dopamina es quizá el que más interés ha despertado en el público en general, casi hasta el punto de alcanzar prominencia en la prensa sensacionalista. Si hay algún neurotransmisor «de moda», ese es la dopamina, a la que se ha implicado en la adicción, en el trastorno por déficit de atención con hiperactividad (TDAH) y en varios otros trastornos. Su función (y disfunción) precisa ha sido objeto de intenso interés, tanto científico como popular. Ha recibido los calificativos de «transmisor del placer» y «transmisor de la recompensa», designaciones pintorescas que seguramente crean más una ilusión de conocimiento que un verdadero conocimiento.

Sin embargo, la dopamina no es más que una sustancia química que por sí misma no realiza ninguna computación neuronal. Su función es facilitar la comunicación entre varias estructuras cerebrales y favorecer las computaciones que tienen lugar en esas estructuras. Para entender su función (y disfunción), es importante examinar la anatomía de las vías de la dopamina y la relación entre las estructuras cuya comunicación facilita la dopamina. Patricia Goldman-Rakic, cuyas investigaciones ya hemos comentado en el capítulo 4, fue una de las primeras en reconocer el papel de las vías dopaminérgicas para el correcto funcionamiento de la corteza prefrontal, así como su disfunción cuando se produce una disrupción en la transmisión por medio de la dopamina.

Un importante nodo central para la dopamina es la llamada área tegmental ventral (ATV). Las neuronas que se encuentran en esta área envían proyecciones de dopamina a varias estructuras cerebrales, entre ellas la corteza prefrontal, el hipocampo, la amígdala y el núcleo accumbens. Las lesiones en esta área interfieren tanto en la toma de decisiones, que normalmente se asocia con la corteza prefrontal, como en la memoria. Las proyecciones que emanan de la ATV han atraído mucho la atención de los investigadores, y su papel en las funciones

ejecutivas y en la memoria a largo plazo fue el objeto de mis primeras investigaciones[13]. Las lesiones en la ATV y sus proyecciones bidireccionales de y hacia la corteza prefrontal provocan un trastorno clínico prácticamente indistinguible de las lesiones directas en la corteza prefrontal. Existe la posibilidad de que un ligero daño en estas vías, que puede ser difícil de visualizar con las técnicas habituales de neuroimagen, sea responsable de las esquivas consecuencias conductuales y afectivas de la lesión cerebral traumática «leve» que con frecuencia se desestiman como «cambios de la personalidad». Entre otras cosas, las mejoras en nuestra capacidad para detectar esas lesiones podrían ayudarnos a distinguir entre los efectos de dos trastornos que a menudo se confunden en el diagnóstico clínico: el traumatismo craneoencefálico (TCE), en el que es habitual que se produzcan daños en estas vías, y el trastorno por estrés postraumático (TEPT), en el que no se producen esos daños. Mis colaboradores y yo mismo describimos los efectos de los daños estructurales en la ATV y sus proyecciones hace ya muchos años, y denominamos a este trastorno «síndrome de desconexión retículo-frontal»[14]. La disminución de la dopamina en los lóbulos frontales reproduce los efectos del «síndrome de desconexión retículo-frontal» y también provoca un déficit en las funciones del lóbulo frontal[15].

Para entender sus funciones, sin embargo, es igual de importante considerar las proyecciones que la ATV *recibe*. Algunas de las proyecciones *recibidas* por la ATV tienen su origen en la corteza prefrontal y en la amígdala. Ya sabemos que la corteza prefrontal desempeña un papel crítico en la determinación de la relevancia, y lo mismo puede decirse de la amígdala. La diferencia entre ambas estructuras es que la corteza prefrontal determina la relevancia en función del procesamiento cognitivo, mientras que la amígdala lo hace en función de la resonancia emocional.

Supongamos por un momento que una vez que la corteza prefrontal o la amígdala reconocen en cierto estímulo o información algo relevante, algo importante para el éxito o para evitar el fracaso del organismo, definidos de forma amplia, envían una señal a la ATV a través de las vías

descendentes, y la instruyen para que sitúe ese estímulo o información «en la delantera de la línea neural», por así decirlo. En respuesta, la ATV envía una señal a través de las vías ascendentes hacia la neocorteza, el núcleo accumbens, el hipocampo y otras estructuras, etiquetando el estímulo o la información en cuestión como especialmente significativo o «relevante», llamando la atención hacia él, «urgiendo» al organismo a centrarse en él, y facilitando que se guarde en el almacén a largo plazo y se refuerce. Así pues, la dopamina es un mensajero que lleva el mensaje que se origina en la corteza prefrontal o en la amígdala, no el autor del mensaje. El aumento de dopamina que se produce en la ATV marca ciertos eventos o informaciones como «importantes». Probablemente no sea descabellado suponer que las decisiones en tiempo real de unos estudiantes mientras atienden a una clase, como en nuestro anterior ejemplo, y la selección al momento de cierta información como merecedora de ser registrada en sus apuntes, son procesos desencadenados por el aumento de dopamina. La distribución de las principales vías de la dopamina en el cerebro se ilustra en la figura 5.2.

Distintos componentes del sistema de la dopamina desempeñan papeles distintos en el aprendizaje guiado por la relevancia. Con la ayuda de la tomografía por emisión de positrones (TEP), un equipo de científicos de la Universidad MacGill, en Montreal, demostraron que la conducta de acercamiento derivada de experiencias positivas y la conducta de evitación derivada de experiencias negativas se encuentran vinculadas con dos receptores de dopamina distintos en el sistema corticoestriatal conocidos como D1 y D2, respectivamente. Una de las implicaciones de este estudio es que la variabilidad en la fijación a receptores D1 y D2 podría explicar diferencias individuales en los estilos de aprendizaje a partir de la experiencia[16].

Una serie de experimentos realizados por Karl Deisseroth y colaboradores en la Universidad de Stanford nos ofrece una demostración especialmente elegante de la importancia de los receptores de dopamina específicos en la evaluación de la toma de decisiones guiada por la relevancia. Lo que hallaron fue que la habilidad de las ratas para aprender a partir de la experiencia de elegir entre dos palancas (una con

un suministro regular de alimento, la otra con un suministro normalmente escaso pero ocasionalmente muy generoso) era guiada por la señal que emanaba de neuronas con receptores D2 del núcleo accumbens, una región del cerebro situada en la frontera entre la corteza orbitofrontal, la cingulada anterior y la estriada ventral, que sabemos que constituye el núcleo del sistema de recompensa del cerebro. Las ratas en las que estas neuronas generaban una fuerte señal aprendían a partir de la experiencia negativa y adoptaban una estrategia conservadora, optando la mayoría de las veces por la palanca que les proporcionaba un suministro regular de alimento. En cambio, las ratas en las que las neuronas D2 generaban una señal débil seguían accionando la palanca que ocasionalmente las premiaba con una recompensa muy generosa, pero que por lo general les proporcionaba muy poco alimento. Sin embargo, esta tenaz desatención hacia la experiencia negativa se podía invertir en las ratas con propensión al riesgo si las neuronas D2 del núcleo accumbens se estimulaban optogenéticamente (una técnica experimental relativamente nueva y muy prometedora que utiliza neuronas modificadas genéticamente para ser sensibles a la luz y responder a la estimulación lumínica)[17].

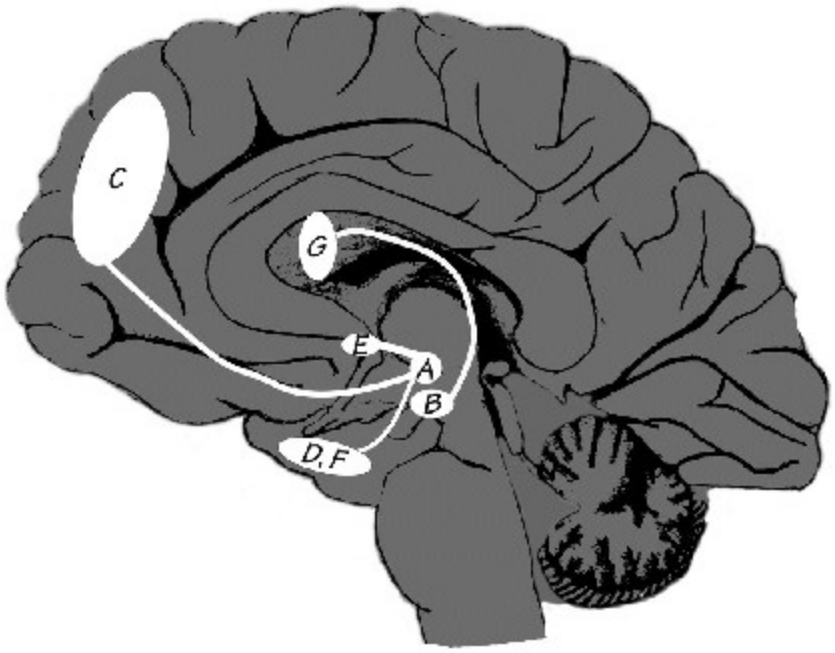


Figura 5.2. Vías dopaminérgicas. (A) Área tegmental ventral (ATV), (B) sustancia negra, (C) corteza prefrontal, (D) amígdala, (E) núcleo accumbens, (F) hipocampo y estructuras parahipocampales, (G) estriado. La red de conexiones entre A, C, D y E es especialmente importante en la determinación de la relevancia.

La señalización mediante dopamina sirve también para otra importante función: forma parte del sistema de modulación de la activación del cerebro. La señal de «relevancia» que transmite la dopamina modula la corteza prefrontal, contribuyendo a su estado óptimo de activación, como ya comentamos en el capítulo 4 y volveremos a tratar en el capítulo 7. A partir de los trabajos previos de Patricia Goldman-Rakic, Amy Arnsten y colaboradores demostraron que la modulación de la activación mediada por la dopamina y por otro neurotransmisor, la noradrenalina (norepinefrina), desempeña un papel esencial en las funciones de la corteza prefrontal, y que la disrupción de esta modulación es responsable de un amplio abanico de trastornos cognitivos[18].

Creo que la doble implicación de la dopamina y la noradrenalina en la activación frontal refleja dos tipos complementarios de modulación de la

excitación (*arousal*): uno basado en la importancia percibida de un estímulo (dopamina), que media en el uso de rutinas cognitivas bien establecidas con una relevancia previamente establecida; el otro basado en la novedad del estímulo (noradrenalina) y en tareas que demandan flexibilidad mental y requieren apartarse de las rutinas cognitivas previamente establecidas. La lógica tras esta suposición puede hallarse en mi anterior obra, *The New Executive Brain*[19]. Los efectos complementarios de la modulación noradrenérgica y dopaminérgica sobre las funciones cognitivas parece respaldar esta suposición. La modulación farmacológica del sistema noradrenérgico estimula el rendimiento de los sujetos en diversas tareas verbales nuevas y difíciles que requieren flexibilidad mental, por ejemplo anagramas y fluidez verbal. En cambio, la administración de bromocriptina (un agonista de la dopamina) no consigue producir este efecto[20]. Por otro lado, la modulación de los sistemas dopaminérgicos, pero no de los noradrenérgicos, facilita el rendimiento en tareas léxicas que se basan en un procesamiento más automático y necesitan del uso de relaciones semánticas bien establecidas[21].

La literatura neurocientífica ha establecido una importante distinción entre procesamiento intradimensional y extradimensional en el cambio de tarea (*set shifting*), con referencia al grado de flexibilidad mental que requiere una tarea. Al parecer, el sistema dopaminérgico desempeña un papel más importante en el cambio de tarea intradimensional, que está relativamente restringido e implica una transición entre estímulos de tipo similar, mientras que el sistema noradrenérgico juega un papel más importante en el cambio de tarea extradimensional, que implica transiciones más amplias entre estímulos de tipos distintos[22].

Más adelante nos ocuparemos de cómo la interacción dinámica entre distintos estados de activación frontal (hiperfrontalidad e hipofrontalidad) resulta esencial para el proceso creativo y para la capacidad de generar nuevas ideas. La capacidad del cerebro de alcanzar y mantener un amplio abanico de niveles de activación y desactivación prefrontal parece ser un rasgo altamente deseable y un importante ingrediente de la cognición compleja. En la medida en que este abanico

varía de una persona a otra, esas diferencias individuales pueden revelarse como diferencias individuales en las propiedades de los núcleos ventrales del tronco cerebral y sus proyecciones que emanan del locus cerúleo, implicado en la síntesis de noradrenalina, y de la ATV, implicada en la síntesis de dopamina. Argumentaré en el capítulo 7 que cuanto más amplio es el rango de modulación, más beneficia a los procesos de innovación y creatividad.

Más sobre la dopamina

La importancia de la interacción entre la corteza prefrontal y el tronco cerebral ventral para garantizar un rendimiento cognitivo óptimo quedó claramente de manifiesto en las investigaciones de Takeuchi y colaboradores de la Universidad Tohoku de Japón. Con la ayuda de un método habitual para medir el tamaño de distintas estructuras cerebrales (morfometría de vóxeles de imágenes de RM), demostraron que las diferencias entre individuos en el rendimiento de una prueba de «creatividad» de pensamiento divergente estaban relacionadas con el tamaño de la corteza prefrontal dorsolateral derecha y de la ATV, en el sentido de que un rendimiento mayor se asociaba con un mayor tamaño de estas estructuras[23]. Una vez más, ¡cuanto más grande, mejor!

Se ha encontrado una relación entre niveles de dopamina y diferencias individuales en caracteres psicológicos, aunque las opiniones sobre la naturaleza precisa de esta relación son variadas. Se ha propuesto que los niveles elevados de dopamina se asocian con mayor concentración pero menor flexibilidad mental. En cambio, los niveles bajos de dopamina se asocian con una mayor flexibilidad mental y con búsqueda de novedad[24]. Varios estudios sobre humanos y animales respaldan esta idea: el aumento de los niveles de dopamina mediante manipulación farmacológica producen conductas estereotipadas repetitivas[25]. Y en el estudio ya comentado de Karl Deisseroth y colaboradores, las diferencias individuales entre ratas con una señal fuerte o débil emitida por neuronas D2 del núcleo accumbens se

traducía en diferencias entre un estilo de toma de decisiones más conservador o más propenso al riesgo[26].

Sin embargo, la literatura científica no es coherente: otros estudios sugieren una asociación entre el sistema de la dopamina y la búsqueda de novedad[27]. Estas incoherencias podrían reflejar diferentes contribuciones de múltiples estructuras cerebrales influidas por manipulaciones de los niveles de dopamina. Alternativamente, podrían reflejar el hecho de que los componentes del comportamiento de búsqueda de novedad y de búsqueda de recompensa guiada por la relevancia podrían estar tan entretejidos que se hace difícil distinguir cuál de los dos se ve más afectado por una manipulación farmacológica. En un experimento con animales, en el que el comportamiento, por definición, es guiado por la recompensa, la distinción podría ser especialmente difícil de establecer.

Una visión más matizada del papel de la DA en el mantenimiento de un equilibrio adaptativo entre la estabilidad y la flexibilidad del funcionamiento mental distingue entre activación tónica y fásica en el sistema de la DA, de las cuales la primera promueve la estabilidad de las operaciones mentales y la segunda la plasticidad. Es posible que los receptores de DA implicados en mantener los efectos tónicos y fásicos sean distintos (D1 y D2, respectivamente), y es posible también que distintos alelos (variaciones) del enzima COMT (catecol-*O*-metiltransferasa), que desempeña un papel en la degradación de la dopamina y la noradrenalina, afecten de forma distinta a este equilibrio[28].

Al parecer, las vías de la dopamina (véase la figura 5.2) son más abundantes en el hemisferio izquierdo que en el derecho, y esta asimetría se ha demostrado en varias especies de mamíferos, incluida la nuestra[29]. Así pues, parece que varios de los actores importantes de la maquinaria cerebral para la determinación de la relevancia son más prominentes en el hemisferio izquierdo que en el derecho. Entre estos se cuentan la corteza orbitofrontal y la corteza cingulada anterior (véase la figura 5.1), así como las vías de la dopamina, sobre todo las que se proyectan hacia los lóbulos frontales. En conjunto, estos hallazgos sugieren que el sistema

prefrontal izquierdo y sus vías tienen una implicación especialmente estrecha con la cognición guiada por la relevancia.

RELEVANCIA DILUIDA

La capacidad de identificar y etiquetar la información, los acontecimientos y los objetos importantes ocupa una posición central en la supervivencia y bienestar del organismo. Esta capacidad, sin embargo, puede degradarse de varias manetas. Dos de ellas son especialmente interesantes: la *relevancia diluida* (memoria excepcional e incapacidad para olvidar) y la *relevancia secuestrada* (adicción). No es habitual comentarlas de manera conjunta, pero consideremos la posibilidad (ni que sea como proposición heurística) de que la neurobiología que subyace a estos dos trastornos comparte una importante característica: una disfunción de la maquinaria de la relevancia.

Incapaz de olvidar: la maldición de la memoria indeleble

La memoria humana es altamente selectiva, y la capacidad de olvidar es tan importante como la de recordar. Recordamos lo que sucedió el día anterior, pero si alguien nos pregunta qué hicimos un día cualquiera de hace diez años, lo más probable es que no tengamos la menor idea, salvo, claro está, que aquel día hubiéramos ganado un premio de lotería de un millón de dólares o un premio Nobel. La conclusión que se sigue de esta observación es a un tiempo simple y profunda: la mayor parte de la información que se registra en nuestro cerebro y que recordamos durante cierto tiempo no llega nunca a la memoria a largo plazo (lo que los neurocientíficos suelen llamar «almacén a largo plazo»); solo una pequeña parte de esa información lo hace. William James fue probablemente el primero en apuntar que la selectividad es esencial para la memoria y que recordarlo todo sería como no recordar nada[30]. Eso es selectividad en acción: una bendición sin la cual nuestra cabeza sería un auténtico vertedero de información, como ya he comentado en otro lugar[31]. El modo en que ese relativamente pequeño subconjunto de

información acaba en el almacén a largo plazo está lejos de ser aleatorio: se ha «seleccionado» o bien por mor de su frecuencia de uso (lo que yo llamo «*relevancia a posteriori*»), o bien porque fue etiquetado como importante en el momento de su adquisición (lo que llamo «*relevancia a priori*», aunque este «juicio» por parte del cerebro normalmente refleje algunas experiencias previas). El mecanismo de *relevancia a posteriori* trabaja con una lentitud exasperante, y la probabilidad de acabar en la memoria a largo plazo a través de esta ruta es baja para cualquier elemento particular de información.

Más probable es que el mecanismo que implica a la dopamina sea el de *relevancia a priori*, que de forma selectiva da luz verde en el cerebro a cierta información para que se le abra paso hasta la memoria a largo plazo. Hay datos que indican que la dopamina desempeña un papel en la formación de representaciones estables en la memoria a largo plazo, que implica la proliferación de nuevas sinapsis[32]; y que esas representaciones a largo plazo tienden a depender sobre todo del hemisferio izquierdo, en el que abundan las vías dopaminérgicas, tanto de información verbal como no verbal[33]. Esta última observación reviste un especial interés e importancia por cuanto desafía la idea de que el hemisferio izquierdo está estrechamente especializado en el procesamiento del lenguaje.

A algunas personas, por desgracia, se les niega la bendición de olvidar. Una de esas personas fue descrita con sumo detalle por Aleksandr Románovich Lúriya en su obra *Pequeño libro de una gran memoria: La mente de un mnemonista* (aún conservo este libro en mi biblioteca personal en el ruso original y con la dedicatoria de Lúriya, y en ocasiones se lo muestro a mis estudiantes)[34]. Este notable «pequeño libro» fue posiblemente el primero del enfoque de la neuropsicología como «ciencia romántica», y Oliver Sacks decía que le había servido de inspiración para forjar su propio estilo de divulgación.

El mnemonista en cuestión era Solomón Shereshevski, a quien Lúriya se refería como «Sh», un hombre con una memoria prácticamente ilimitada. Quien primero se percató de su peculiar don fue el editor de un diario provincial en el que «Sh» trabajaba como periodista. El editor

se lo comunicó a Lúriya en algún momento de la década de 1920, y la colaboración entre el neuropsicólogo y su sujeto se prolongó varias décadas. La capacidad de Sh para memorizar largas listas de ítems (palabras, números, dibujos) era prácticamente ilimitada, y tras llegar a la conclusión de que era imposible cuantificarla (no parecía tener techo), Lúriya dirigió su atención a la capacidad de Sh para olvidar. Gracias a la duración de su colaboración, Lúriya logró poner a prueba la memoria de Sh ante varios estímulos años o incluso décadas después de la exposición inicial. Para sorpresa de Lúriya, Sh no solo lo recordaba todo, sino que nunca olvidaba nada. Su incapacidad para olvidar le resultaba a veces tan opresiva (sobre todo después de que Sh se dedicara profesionalmente a actuar como mnemonista) que, sumido en la desesperación, escribía en trozos de papel listas de palabras que deseaba «borrar» de su memoria y luego las quemaba.

¿Cuál era el mecanismo de su memoria, de ese don-maldición de doble filo? En su libro, Lúriya vincula la insólita memoria de Sh con otra peculiaridad de la mente de su sujeto: su propensión a la sinestesia, la habilidad de enlazar imágenes de modalidades dispares. La letra A era «blanca y larga», el número 2 «más plano, rectangular, blanquecino o, a veces, levemente grisáceo». La voz del gran psicólogo del desarrollo Lev Vygotski (que participó en algunos de los experimentos) era «amarilla y escamosa», mientras que la voz de Serguéi Eisenstein (el célebre director de cine, amigo íntimo de Lúriya) era «como llamas con capilares en su interior que se mueven hacia mí». Es posible que esta propensión incrementase la habilidad de Sh para emplear la técnica que a menudo utilizan otros mnemonistas profesionales de asociar estímulos (palabras, imágenes o lo que sea) con los elementos de un entorno familiar, como un edificio de una calle conocida u objetos de una habitación familiar.

Sin embargo, en varias discusiones sobre el tema, Lúriya concedía que esa explicación estrictamente cognitiva probablemente no capturase toda la esencia del fenómeno. Yo estaba de acuerdo con él y nunca dejé de reconsiderar nuestras discusiones ocasionalmente a lo largo de los años (décadas, de hecho) que transcurrieron desde aquellas conversaciones en torno a la antigua mesa con pesadas patas de latón en

forma de león del apartamento de Lúriya en la calle Frunze de Moscú, en Rusia. La insólita habilidad mnemónica de Sh debía tener sus raíces en la biología, al menos en parte, puesto que varios otros miembros de su familia también gozaban de una memoria excepcional, aunque quizá no tan notable; sin embargo, los experimentos de Lúriya con Sh se realizaron décadas antes de que la neurociencia cuajara como disciplina madura, dotada de los conceptos y las técnicas necesarias para desentrañar este enigma. Hoy estamos más preparados para abordarlo.

RECUERDOS Y RELEVANCIA

Hoy reconocemos que los «recuerdos» son redes de neuronas (sobre todo corticales) fuertemente interconectadas, que tienden a activarse de manera conjunta. Para que estos grupos de neuronas se consoliden, el proceso tiene que verse reforzado por una continua coactivación, un proceso en el que desempeñan un papel crítico el hipocampo y estructuras relacionadas de la región mesial del lóbulo temporal. Salvo que se vea facilitada por el reconocimiento de mecanismos de *relevancia a priori*, este proceso es extremadamente lento: se mide en semanas, meses, años e incluso décadas, durante los cuales la conectividad dentro de la red es frágil y puede degradarse. La «sabiduría» evolutiva (si es que eso existe) de este proceso es que garantiza el olvido de la información superflua. Pero un pequeño número de estas redes sobrevive y se consolida de una forma más robusta y estable mediante la proliferación de nuevas sinapsis que conectan las neuronas dentro del conjunto; en este punto la participación del hipocampo y estructuras relacionadas deja de ser esencial, y la red se torna estrictamente «corticalizada». El proceso se produce o bien mediante una exasperante reiteración del principio de que «si disparan juntas, se conectan» para la información utilizada con frecuencia (*relevancia a posteriori*), o bien por medio de un aumento de dopamina que marca la información como importante en el momento en que se presenta (*relevancia a priori*). Como la mayor parte de la información ni es importante ni se usa con frecuencia, en la mayoría de las personas acaba desvaneciéndose. Es la bendición del olvido.

Imaginemos ahora una persona en la que la mayor parte de la información entrante, quizá *toda*, queda consolidada, transformada en conectividad estable mediada por sinapsis, a una velocidad varios órdenes de magnitud más rápida que en la mayoría de la gente. Esta rapidísima proliferación de sinapsis, que conduce a una consolidación de los recuerdos anormalmente rápida, puede deberse a varios mecanismos.

Uno de los mecanismos posibles es que toda la información entrante sea tratada por el cerebro como si fuera relevante *a priori*, es decir, mediante un uso indiscriminado de la señal de dopamina. Tendríamos así un Shereshevski en el que todo recuerdo, por insignificante que sea, se torna indeleble casi de inmediato. Naturalmente, por lo que respecta al Sr. Sh, esta es solo una hipótesis, puesto que ya no está con nosotros para estudiarlo con las modernas técnicas de la neurociencia, pero ya se están estudiando otras personas con una memoria excepcional (que a menudo consideran una dudosa bendición)[35].

Otro mecanismo posible para explicar la indeleble memoria de Sh podría estar relacionado con la sinestesia. Vilayanur Ramachandran y colaboradores han propuesto que la propensión a la sinestesia tiene su causa en una hiperconectividad neural[36]. ¿Es posible que la hiperconectividad neural también facilite enormemente la formación de recuerdos a largo plazo y cause de paso su pérdida de selectividad? De acuerdo con este escenario, en Sh la sinestesia y la memoria indeleble serían dos consecuencias de la misma causa subyacente: la hiperconectividad neural.

Sea como fuere, la memoria indeleble y la incapacidad de olvidar son un producto secundario del deterioro de la maquinaria de la relevancia y de su pérdida de selectividad, de su habilidad para distinguir entre lo importante y lo superfluo. Toda la vida de Sh se vio afectada por esta discapacidad. Era una persona indecisa, a menudo perpleja, insegura de lo que quería en la vida y de cómo conseguirlo. De no haber sido por su asociación con Lúriya, que lo ayudó a establecerse como mnemonista profesional, tal vez su triste vida habría transcurrido a trompicones.

Relevancia secuestrada

Una maquinaria de la relevancia despojada de selectividad es mala, pero también puede ocurrir que esta habilidad quede subvertida y entonces se manifieste una tendencia a conductas maladaptativas, autoagresivas o incluso autodestructivas. A estos impulsos los conocemos como «adicciones».

La adicción puede adoptar formas muy diversas e implicar distintos comportamientos u objetos de deseo. La adicción a sustancias ilícitas (cocaína, heroína y otras) es la más estudiada, pero el alcohol y el tabaco también pueden ser adictivos, al igual que ciertas conductas como las asociadas a las apuestas, la pornografía o incluso los videojuegos. Las actitudes de la sociedad hacia la adicción a menudo aparecen entrelazadas y mezcladas con amplios aspectos legales y sociales. Ciertas sustancias adictivas son ilegales (cocaína, heroína), pero otras son completamente legales (tabaco, alcohol). En algunos regímenes autoritarios y totalitarios, la adicción a una escala masiva no solo se toleraba sino que, de forma tácita, se alentaba como distracción y válvula de presión en una sociedad sometida a privaciones. En la antigua Unión Soviética el Estado mantenía el precio del vodka deliberadamente bajo pese a que el alcoholismo a gran escala era un flagelo para la economía. A todas luces, mantener a las masas ebrias en su marcha hacia el comunismo era más importante para que una élite conservase el poder que mantenerlos productivos. En el actual Irán, la adicción al opio es tan amplia y tolerada, pese a unas políticas por lo demás mojigatas, que muchos creen que el Gobierno del ayatolá la alienta de forma tácita[37].

Hasta hace relativamente poco tiempo, las adicciones se contemplaban sobre todo desde un prisma moralizante, como malas elecciones personales o falta de autocontrol o de fibra moral, o desde un prisma socioeconómico, como una consecuencia desafortunada de otros males sociales. Sin embargo, cada vez se reconocen más las bases biológicas de la adicción, y es más común entenderla como un descarrío de la maquinaria cerebral de la relevancia. Sin embargo, al menos a ojos del público general, de los profesionales del derecho y de la sociedad en general, es casi imposible eliminar por completo los tintes morales, de «responsabilidad personal», de toda consideración de la adicción en la

medida que las elecciones personales se supongan libres y realizables: ciertamente, el sentido común dicta que uno no *tiene por qué* esnifar cocaína, inyectarse heroína o abandonarse al juego. Yo mismo he sido adicto a los cigarrillos durante muchos años (y fumar es una forma de adicción, por mucho que sea legal en la sociedad), y recuerdo las miradas desdeñosas y las admoniciones moralizantes que me dirigían, y aunque hace más de un cuarto de siglo que lo dejé y a día de hoy el humo del tabaco me resulta extremadamente desagradable, todavía no me siento autorizado para recriminar a los ocasionales fumadores de mi entorno, pues recuerdo lo ofensivo que me resultaba a mí mismo ser la diana de tales reconvenciones.

Existe, sin embargo, un trastorno en el que la adicción puede desarrollarse bajo unas circunstancias completamente ajenas al control personal y en el que las cuestiones de «responsabilidad personal» o de «males socioeconómicos» no aparecen ni por asomo. Se pone así de manifiesto la naturaleza esencialmente biológica de la adicción y se abre una puerta más al conocimiento de sus mecanismos. El desorden en cuestión es un trastorno neurológico relativamente común, y la adicción es lo último que su nombre evoca en quienes lo oyen. Me refiero a la enfermedad de Parkinson.

La enfermedad de Parkinson (EP) se ha asociado tradicionalmente con el temblor en reposo (que se diagnostica cuando las manos del paciente no realizan ninguna actividad), la dificultad para iniciar actos motores («bradicinesia»), un peculiar rostro inexpresivo, como si fuera una máscara, y varios otros síntomas. La EP es causada por la atrofia de dos núcleos gemelos del tronco cerebral llamados (por su coloración) «sustancia negra» (SN), que son una fuente de proyecciones de dopamina hacia el conjunto de núcleos subcorticales conocidos como «cuerpo estriado», en particular hacia su porción dorsal, formada por el núcleo caudado y el putamen[38].

El estriado dorsal desempeña un papel importante en el inicio y mantenimiento de los movimientos, así como en conductas más complejas, y depende de la dopamina para su correcto funcionamiento, de modo que no debe sorprender que la disrupción del suministro de

dopamina tenga como consecuencia síntomas motores. Más recientemente se ha descubierto que en la EP la atrofia afecta también a la ATV, que como ya sabemos envía proyecciones a la corteza prefrontal, la amígdala, el núcleo accumbens y otras estructuras. Aunque se suele diagnosticar por sus síntomas motores, el deterioro cognitivo también es común en la EP, pero el patrón de deterioro cognitivo es un tanto diferente en las distintas formas de la EP, entre los síndromes hemiparkinsonianos izquierdo y derecho[39].

Para tratar la EP se utilizan diversos fármacos, pero su efecto terapéutico tiene un precio: los pacientes a veces desarrollan adicciones. Estas puedes adoptar varias formas, entre ellas la ludopatía, la compra compulsiva y la hipersexualidad. En un conmovedor artículo para *The New York Times*, Marc Jaffe describe cómo su esposa, una doctora de edad mediana con modestos intereses libidinosos, se transforma en una mujer consumida por un insaciable deseo de sexo cuando desarrolla la enfermedad de Parkinson y le prescriben una medicación[40].

Un equipo de científicos del famoso Instituto de Neurología de Queen Square, en Londres, ofrece una efectista descripción de lo que llaman «disregulación homeostática hedonista» en quince pacientes con EP[41]. Como en otras formas de adicción, estos pacientes no cejaban de alimentarla aumentando las dosis de su medicación de remplazo de dopamina, en contra del consejo de sus médicos y pese a los efectos secundarios inevitablemente asociados a las dosis excesivas. Cuando se tornaban hipersexuales o se abandonaban al juego o a las compras compulsivas, solían comenzar a acaparar medicación. Los pacientes también desarrollaban peculiares comportamientos motores estereotipados, como la ordenación repetitiva de objetos o la manipulación de artilugios: «Desmontan de manera compulsiva sus bombas de infusión u otros equipos electrónicos, aunque saben que es un hábito inútil e improductivo»[42]. Estos estereotipos, que reciben el nombre de «punding»[*], son especialmente interesantes porque arrojan luz sobre los mecanismos de adicción en estos pacientes, y tal vez sobre la adicción en general, puesto que también se han observado en la adicción a la cocaína y la metanfetamina, así como en la ludopatía y la

hipersexualidad[43]. El «punding» es una forma de perseveración, el apego maladaptativo a un comportamiento particular junto a la incapacidad de dejarlo. Aunque la adicción en la enfermedad de Parkinson suele interpretarse como una forma de comportamiento compulsivo, el «punding» apunta al aspecto perseverante de este fenómeno, lo que sugiere que su naturaleza es más compleja de lo que solía suponerse.

¿Por qué una medicación para el tratamiento de un trastorno motor habría de causar adicción? El tratamiento estándar para la EP consiste en estimular el sistema de la dopamina con el fin de incrementar los niveles de este neurotransmisor en el cerebro. Pero el sistema de la dopamina es complejo, e incluye diversos receptores que se encuentran en distinta concentración en distintas partes del cerebro. La adicción como efecto secundario adverso es especialmente común en fármacos que, como el pramipexol y el ropirinol, estimulan un tipo particular de receptores de dopamina, los receptores D3[44]. Estos receptores son abundantes en el núcleo accumbens (que forma parte del llamado estriado ventral), cuyo papel en el sistema de recompensa ya hemos comentado[45]. El papel del núcleo accumbens en el comportamiento guiado por recompensa se conoce desde las investigaciones clásicas de James Olds y colaboradores de la década de 1950, quienes descubrieron que las ratas no cesaban de presionar una palanca que controlaba un electrodo implantado en esta área, supuestamente porque ese comportamiento les reportaba placer[46]. Estudios más recientes han demostrado que el núcleo accumbens se activa cuando a los sujetos se les muestran imágenes de individuos sexualmente deseables, cuando escuchan música, cuando esperan una ganancia dineraria o cuando una madre está con sus hijos[47].

El núcleo accumbens recibe proyecciones de dopamina de la ATV, lo que significa que cuando cierto estímulo o información se marca como adaptativo y deseable, el núcleo accumbens es activado por una señal que envía la AVT por mediación de la dopamina. En condiciones normales esta señal refleja una valoración cognitiva o afectiva procedente de la corteza prefrontal o de la amígdala, pero en la enfermedad de Parkinson esa valoración es remedada por el efecto de la medicación. La

sobreestimulación de las proyecciones de la ATV al núcleo accumbens y otras regiones del cerebro (las que constituyen lo que se conoce como vía mesolímbica de la dopamina) se ha implicado también en la adicción a la cocaína y en otras formas de abuso de sustancias. Cabe suponer que esta sobreestimulación, tanto si es el resultado del consumo de cocaína como si es un efecto secundario de la medicación para el Parkinson, provoca alteraciones a largo plazo en esta vía, quizá incluso por medio de una alteración de la expresión génica[48].

Esto, a su vez, predispone al individuo a conductas adictivas. La vía que normalmente cumple la admirable función de señalar la relevancia adaptativa queda así secuestrada y puesta al servicio de anhelos contraproducentes y autodestructivos. Y la historia podría no acabar ahí. Como la vía mesolímbica de la dopamina desempeña un papel tan crítico en la determinación de la relevancia en prácticamente cualquier contexto, su alteración puede provocar un juicio alterado de la relevancia en los individuos afectados, más allá de su susceptibilidad a las adicciones, cambiando su constitución cognitiva de una forma profunda y de gran alcance, y afectando a prácticamente cualquier aspecto de su vida mental. Estas implicaciones más amplias del secuestro de la maquinaria de la relevancia en la adicción todavía esperan la plena atención de los neurocientíficos.

Como ya he mencionado, la adicción en los pacientes de Parkinson (y la adicción en general) se suele atribuir a un mal control de los impulsos[49]. El sentido común nos da una razón obvia para esta aseveración: un buen control de los impulsos habría protegido al individuo de un comportamiento maladaptativo. No cabe duda de que un control de los impulsos degradados debe desempeñar algún papel en las adicciones, pero los mecanismos subyacentes probablemente sean más complejos. Incluso puede decirse que hacer hincapié en el control de los impulsos para entender los mecanismos de la adicción refuerza, de forma tácita, una interpretación esencialmente moralizante que se cuela en el discurso por la puerta trasera. Es como decir que un buen control de los impulsos habría impedido que una persona afectada por el

síndrome de Tourette desarrollase tics, o que un tartamudo tartamudease.

En realidad, entender la adicción simplemente como un déficit en el control de los impulsos no es más que la mitad de la historia. La adicción también es una forma de perseveración, de pérdida extrema de flexibilidad mental y propensión a los comportamientos estereotipados, que interacciona con un deficitario control de los impulsos, como deja claro el hecho de que en los pacientes de Parkinson la adicción suela ir acompañada de «punding», la forma de comportamiento estereotipado perseverante que ya hemos mencionado. Creo que toda adicción debe entenderse como una combinación de perseveración y control deficitario de los impulsos.

El vínculo entre la adicción y la perseveración no se limita a la enfermedad de Parkinson; el «comportamiento estereotipado, prolongado y sin propósito» se ha descrito también en consumidores crónicos de anfetaminas. Y en un estudio de estilos cognitivos en adictos a la heroína se ha demostrado una relación parecida entre la adicción y la perseveración[50]. La propensión a la rigidez mental y la perseveración en adictos puede adoptar varias formas, sin limitarse al «punding»; parece ser común a distintos tipos de adicción en distintas partes del mundo. Un antiguo estudiante mío, Eric Lane, que tiene una amplia experiencia en el tratamiento de alcohólicos en recuperación en Estados Unidos, me hizo una interesante observación: sus clientes tendían a pedir siempre la misma comida en un restaurante y eran reticentes a probar cosas nuevas, lo cual es una forma de perseveración, aunque benigna. Otros colegas de Filipinas me han comentado que los comportamientos patológicos repetitivos y perseverantes son comunes entre los consumidores de anfetaminas de su país. Además, estos comportamientos se presentan también en otras formas de adicción. Así me los describe Luz Casimiro-Querubin, profesora de psiquiatría y antigua presidenta de la Asociación Filipina de Psiquiatría, en un comunicación personal:

> El fenómeno de la perseveración es algo que he observado personalmente en la adicción al juego y al

> alcohol. El comportamiento es casi ritual, y en algunos casos roza la superstición. La perseveración también es evidente en el proceso de recuperación, durante el cual los pacientes tienden a repetir patrones de comportamiento irracionales bajo la creencia de que al realizarlos «evitan» la sustancia a la que son adictos.

Es la combinación de impulsividad y perseveración que guía el comportamiento maladaptativo de un adicto lo que hace que sea tan difícil de superar. Esto no es muy diferente del comportamiento de un paciente con lesiones bilaterales en los lóbulos frontales, en quien la perseveración y el comportamiento dependiente de campo se entremezclan en extraños mosaicos. La perseveración suele ser resultado de lesiones en el lóbulo frontal derecho[51]. De igual modo, el estilo cognitivo de un paciente con síndrome hemiparkinsoniano derecho (disfunción nigroestriatal derecha) gravita hacia la dependencia de campo (más sobre esto en el capítulo 6)[52]. De ello se puede seguir que los pacientes de EP con disfunción nigroestriatal de consideración en ambos lados, y por consiguiente con propensión tanto a la dependencia de campo como a la perseveración, son especialmente propensos a desarrollar adicciones si el circuito de la relevancia queda secuestrado.

En un sentido más amplio, la disfunción estriatal y del lóbulo frontal está implicada en tantas formas de adicción que parece ser una característica cardinal del trastorno, igual que lo es la combinación de perseveración y comportamiento impulsivo dependiente de campo. De acuerdo con la anterior discusión, parece muy probable que exista un vínculo entre las características neuroanatómicas y cognitivas en múltiples formas de adicción, y no solo en la EP: la perseveración es causada por la disfunción frontoestriatal izquierda, mientras que el comportamiento dependiente de campo y la impulsividad se deberían a la disfunción frontoestriatal derecha. De hecho, los estudios sobre la adicción con técnicas de neuroimagen muestran que la disfunción prefrontal es a menudo bilateral[53], lo que sugiere, además, que desempeñan un papel tanto la perseveración como un deficiente control

de los impulsos, que es justamente lo que muestran las investigaciones de Antonio Verdejo-García y colaboradores[54]. Antes de que el control de los impulsos entre en juego (o no llegue a hacerlo), debe desarrollarse una ansia que necesita ser controlada y contenida. Entender esa ansia irresistible en el centro de todo comportamiento adictivo como una forma de perseveración, e introducir la perseveración en la explicación de los mecanismos de la adicción, es algo más que una floritura semántica; al contrario, amplía nuestra comprensión de los mecanismos de la adicción y tiene importantes implicaciones, tanto para dilucidar los circuitos neurales críticos implicados como para desarrollar enfoques terapéuticos eficaces. Además, reconocer los mecanismos lateralizados de disfunción frontoestriatal que conducen a la perseveración y al comportamiento dependiente de campo podría ayudarnos a entender mejor la neurobiología de distintas formas de adicción, así como su historia natural, es decir, los cambios que acompañan a la adicción en el tiempo.

6

El cerebro innovador

EL DESAFÍO DE LA NOVEDAD

La gran ciudad se mantiene firme pese al agotador asedio, impenetrables sus muros, indomables sus defensores. El ejército agresor, sin embargo, está sumido en el caos. Aquiles ha muerto y Agamenón es despreciado por sus propias tropas; los griegos, desalentados y amotinados, están a punto de desistir. Se les ocurre entonces una astuta estratagema, un enorme caballo hueco que colocan bien a la vista a las puertas de la ciudad mientras los asediadores griegos simulan levantar el sitio y partir. Los habitantes de la ciudad toman el caballo por un merecido trofeo y lo llevan al interior. Entonces, en la negrura de la noche, los pocos pero excelentes soldados griegos que se esconden en su interior salen de él con sigilo y abren las puertas de la ciudad. El ejército asediador se abalanza y ejecuta una salvaje orgía de destrucción. La ciudad, que dormía confiada, es saqueada e incendiada, sus habitantes pasados por la espada… Pero será mejor que pare aquí, porque ya estoy oyendo a Homero y a Virgilio revolviéndose en sus tumbas…

Después de diez años de asedio, Troya fue conquistada no por el liderazgo militar de Agamenón, no por la pericia de mando de Aquiles, sino por la ingeniosa invención de Odiseo (Ulises), aunque no podemos saber de cierto si la innovación en cuestión fue militar y hecha construir por un artero rey de la Ítaca del período micénico, o literaria, fruto del buen hacer de un poeta griego que siglos más tarde habría hilado su épica

historia. Cuando hablamos de innovación y creatividad, solemos invocar a los grandes científicos y artistas de la era moderna o de la historia relativamente reciente, pero esa es una perspectiva muy estrecha. La innovación ha movido a la civilización humana desde sus mismos albores en todas sus manifestaciones, y sigue haciéndolo en nuestros días.

La creatividad sigue fascinando a científicos igual que al público general, y la idea de que el hemisferio derecho es «la sede de la creatividad» lleva algún tiempo con nosotros. Sin embargo, cuando se examina con mayor detenimiento, resulta ser más un producto del saber popular que de la investigación rigurosa. En su origen, esta idea probablemente provenga de otra idea popular e igualmente laxa (además de objetivamente incorrecta), la de que el hemisferio derecho es el hemisferio «emocional», por contraposición al «frío y racional» hemisferio izquierdo, cuando en realidad ambos hemisferios están implicados en el control emocional. Como ya hemos acordado antes, la creatividad es un proceso muy complejo que en último término implica a todo el cerebro y que interactúa con la cultura, de modo que vincularlo con una sola estructura cerebral es una enorme simplificación a contracorriente de toda la ciencia seria. Esto, por cierto, puede aplicarse a cualquier proceso mental complejo, de manera que cada vez que vinculamos un proceso cognitivo complejo a una estructura cerebral concreta (un hemisferio, un lóbulo, un núcleo), lo que realmente queremos decir es que esa estructura cerebral desempeña un papel *especialmente importante* en el proceso cognitivo en cuestión, que no es lo mismo que decir que es la *única* estructura implicada en ese proceso. Esta es una importante advertencia que el lector de este libro (o, de hecho, de cualquier libro sobre el cerebro) debe tener presente en todo momento. Cada vez que se asevera que «el proceso cognitivo X depende de la estructura cerebral Y», es importante comprender que esta expresión no es más que una forma abreviada de una aseveración más matizada. Esta es la razón de que tienda a tomar con cautela las afirmaciones de la literatura científica que vinculan funciones muy específicas con regiones cerebrales muy específicas, y de que tienda a no hacer aseveraciones de ese tipo en mis propios trabajos. A causa de su

complejidad, es mejor acercarse a la creatividad identificando los componentes más fáciles de tratar, e intentar entenderlos primero.

Entender cómo se ocupa el cerebro de la novedad nos llevará muy lejos en nuestro propósito de comprender los mecanismos cerebrales de la creatividad. Claramente, la creatividad no se puede reducir únicamente a la búsqueda de novedad, pero sin ella no puede darse un proceso creativo. La capacidad de abordar desafíos nuevos es un componente esencial de la mente creativa, y remite a un activo cognitivo más fundamental y más universal. Esto lo convierte en una diana atractiva y tratable para la investigación científica y en un prometedor paso hacia una comprensión de la creatividad. La novedad es algo con lo que nos encontramos igual en lo más humilde que en lo más grande, como en la historia de dos imperios.

Corre el año 334 a. C., un audaz joven llamado Alejandro, de veintidós años de edad, cruza los estrechos que entonces se conocían como Helesponto y hoy como Dardanelos, e invade el imperio persa, en aquellos tiempos la mayor potencia del mundo mediterráneo. En la batalla de Gaugamela, Alejandro y sus tropas tienen que enfrentarse a elefantes de guerra indios. Para las tropas macedónicas, aquello era una experiencia completamente nueva: nada en su experiencia previa en Grecia los había preparado para este tipo de adversario. Sin embargo, Alejandro no se deja amedrentar por un nuevo desafío, sino que halla una manera de abordarlo y gana una batalla decisiva. El rey Darío huye, solo para morir después a manos de sus propios sátrapas, y pocos años después la conquista del imperio persa concluye. Alejandro crea el mayor y más diverso imperio de su época y propicia una fusión cultural sin precedentes entre Oriente y Occidente que deja una huella indeleble en el posterior curso de la historia, tanto de Europa como de Asia. Al hacerlo, no duda en escandalizar una y otra vez a sus provincianos seguidores macedónicos con su aceptación de culturas nuevas y diferentes y con su visión de la fusión de culturas. Todo aquello fue innovación geopolítica a la mayor escala, y por ello a Alejandro de Macedonia se lo conoce también como Alejandro Magno. Se le recuerda como uno de los líderes militares más innovadores de todos los tiempos,

y sus batallas se estudian todavía hoy en las academias militares de todo el mundo. También se le recuerda como el más visionario de los constructores de Estados de todos los tiempos.

A diferencia de Alejandro Magno, los aztecas no salieron bien parados cuando hubieron de enfrentarse a una novedad militar del reino animal. Los caballos, desconocidos entonces en Mesoamérica, desempeñaron un papel decisivo en la conquista de México por Hernán Cortés. En numerosas batallas, los españoles, aunque ampliamente superados en número, consiguieron imponerse sobre todo gracias a su caballería; enfrentados a esta novedad, los guerreros aztecas se dejaron embargar por el pánico y fueron incapaces de forjar una estrategia eficaz para vencerlos. En consecuencia, el imperio azteca, que hasta entonces había sido el poder dominante en Mesoamérica, se derrumbó; su emperador, Moctezuma, fue capturado por los españoles y su capital, Tenochtitlán, recibió el nombre de Ciudad de México, que ha conservado hasta nuestros días.

La historia de la vida y la muerte de dos imperios muestra con claridad que la capacidad para enfrentarse a la novedad importa. Cuando es eficaz, puede llevarnos a una gloriosa victoria; cuando no lo es, a una abrumadora derrota. Así pues, ha llegado el momento de descubrir cómo se ocupa el cerebro de la novedad.

LOS HEMISFERIOS, MAL ENTENDIDOS

Existe un vínculo muy directo entre la habilidad para enfrentarse a situaciones novedosas y el hemisferio derecho, y es precisamente a través de esta afinidad por la novedad como este hemisferio participa en el proceso creativo. Esto, sin embargo, no es lo mismo que decir que la creatividad reside en el hemisferio derecho, por tentador que resulte ignorar los matices a cambio de un buen titular.

Las ideas sobre la división del trabajo entre los hemisferios cerebrales evolucionaron a lo largo del tiempo. Las primeras observaciones que vinculaban las lesiones en el hemisferio derecho con déficits del lenguaje se remontan a la Antigüedad, pero las primeras observaciones bien

documentadas se realizaron en el siglo XIX. Estas observaciones, que debemos al neurólogo francés Broca y al neurólogo alemán Wernicke y que suelen considerarse como el nacimiento de la neuropsicología moderna, ayudaron a confirmar el vínculo entre el hemisferio izquierdo y el lenguaje.

El hemisferio derecho, en cambio, se ha relacionado con los procesos visuales y espaciales (o visuoespaciales). A causa de la enorme importancia del lenguaje en la cognición humana, el hemisferio izquierdo se ha calificado a menudo de «hemisferio dominante», mientras el derecho se denigraba como hemisferio «subdominante», lo que a menudo implicaba que era más dispensable. Como descubriremos en este capítulo, lejos de ser dispensable, el hemisferio derecho está al cargo de un trabajo neural especialmente gravoso.

Todavía en nuestros días, la distinción entre hemisferio izquierdo «del lenguaje» y hemisferio derecho «visuoespacial» sigue siendo la perspectiva dominante sobre la división del trabajo entre los dos hemisferios, y ello pese a las muchas razones que nos llevan a creer que, aunque no incorrecta, esta distinción es ciertamente incompleta. En primer lugar, como regla tiene muchas excepciones. Ciertos aspectos del lenguaje están representados de igual manera en los dos hemisferios, y algunos, como la prosodia (las inflexiones que se utilizan para poner énfasis en el significado), están incluso mejor representadas en el hemisferio derecho que en el izquierdo. De igual modo, ciertos procesos visuales y espaciales, como la capacidad para reconocer imágenes visuales de objetos significativos, están mejor representados en el hemisferio izquierdo. Ya hemos comentado algunos de estos hallazgos en el capítulo 3.

Aún más pertinente para nuestra discusión es el hecho de que parece haber un profundo defecto conceptual en la comprensión dominante de la especialización hemisférica. Si el vínculo del lenguaje con el hemisferio izquierdo fuese la característica cardinal de la especialización hemisférica, entonces debería ser única de los humanos, pues solo nosotros poseemos el lenguaje, al menos de acuerdo con una definición rigurosa. Este punto de vista puede lisonjear el narcisismo colectivo de nuestra

autocomplaciente especie, pero va en contra de la biología básica y, de hecho, tal vez refleje el aislamiento de la psicología respecto a las ciencias naturales, que ha sido la posición dominante hasta hace relativamente poco tiempo.

Recordémoslo: la división del cerebro en dos hemisferios no es única de los humanos, sino una característica ubicua en todas las especies de mamíferos, pero también de no mamíferos, que habitan la Tierra. Esto solo ya sugiere que deben existir ciertas diferencias funcionales entre los hemisferios que son universales entre especies. Uno podría responder a esto con la suposición de que solo en los humanos los hemisferios cerebrales son asimétricos, que en otras especies son imágenes especulares el uno del otro, pero también se ha demostrado que esta es una suposición errónea. Se han descubierto diversas diferencias morfológicas, celulares y bioquímicas entre los dos hemisferios, y algunas de ellas guardan un fuerte parecido entre varias especies de mamíferos, incluida nuestra propia especie[1]. Ya conocemos una de ellas (la asimetría de las vías dopaminérgicas que compartimos con varias especies de mamíferos), y conoceremos más a lo largo de este libro.

Pero si los hemisferios cerebrales son estructural y bioquímicamente asimétricos en muchas especies, y si, además, la naturaleza de estas asimetrías es semejante entre especies, incluida la humana, es lógico suponer que también existen diferencias funcionales entre los dos hemisferios en muchas especies, y que la naturaleza de esas diferencias es semejante entre especies. Esto, a su vez, significa que la naturaleza de esas diferencias no puede captarse completamente con una distinción entre funciones verbales y no verbales, puesto que ¡las ratas y los monos en cuestión carecen de lenguaje!

Estas preguntas comenzaron a interesarme hace ya mucho tiempo, cuando todavía estudiaba en la Universidad Estatal de Moscú, a principios de la década de 1970, y ya entonces me parecía que era necesario un enfoque completamente nuevo sobre la especialización hemisférica, un enfoque erigido sobre la premisa de la continuidad evolutiva, coherente entre especies. Se me ocurrió entonces que la diferencia fundamental entre las funciones de los dos hemisferios se basa

en la distinción entre novedad cognitiva y familiaridad cognitiva. El hemisferio izquierdo destaca en el procesamiento de la información mediante la aplicación de patrones y estrategias bien formados. El hemisferio derecho, en cambio, entra en juego cuando el organismo topa con una situación realmente nueva a la que no pueda aplicar con éxito ninguno de los patrones, estrategias o soluciones a medida que hubiera formado con anterioridad.

LA NOVEDAD Y LA RUTINA

Con el paso de los años, comencé a referirme a esta idea como la teoría de la especialización hemisférica por «novedad-rutinización». A diferencia de los enfoques más tradicionales, la teoría de la novedad-rutinización es coherente entre todas las especies capaces de aprender y proporciona un marco para estudiar las diferencias hemisféricas entre esas especies. Sin negar la predominancia del hemisferio izquierdo con relación al lenguaje en los humanos, podemos verla como un caso especial de una relación más fundamental entre el hemisferio izquierdo y las rutinas cognitivas. Y a diferencia del concepto de «creatividad», el concepto de «novedad» puede hacerse operativo de una manera relativamente directa e inequívoca.

En los humanos, la creatividad se estudia pidiendo a los sujetos que resuelvan unos problemas que requieren soluciones que no encuentren «listas para usar». Sin embargo, qué está o no está «listo para usar» es una cuestión discutible y subjetiva. En cambio, para un individuo dado, es más fácil definir empíricamente la novedad mediante una evaluación de sus experiencias previas. El uso de la habilidad para enfrentarse a la novedad como medida sucedánea de la creatividad nos proporciona además una base para los modelos animales, lo que añade una amplia perspectiva evolutiva a la investigación sobre la creatividad. A nadie le resultaría fácil decir qué constituye «creatividad» en una rata o un mono. En cambio, es mucho más sencillo diseñar una tarea novedosa para estos organismos a partir de nuestro conocimiento de su entorno ecológico y de sus experiencias habituales. De hecho, existe un creciente corpus de

investigación que estudia las diversas maneras en que los animales se enfrentan a la novedad, y esta investigación nos informa sobre las raíces evolutivas de la creatividad. Lo revisaremos más adelante, en el capítulo 8.

¿De qué pruebas disponemos para respaldar (o refutar) la teoría de la «novedad-rutinización»? Esta es la pregunta que Louis Costa me planteó hace algunos años, cuando me establecí en Nueva York. Lou fue una influencia importante en mi vida cuando llegué a Estados Unidos como exiliado soviético a los veintisiete años de edad, y llegamos a ser buenos amigos. Lou, que era mayor que yo, era un neuropsicólogo bien establecido, director de departamento y más tarde rector de una importante universidad, y su temperamento era más cauto y metódico que el mío. La primera vez que le expliqué mi idea sobre la novedad-rutinización, se mostró escéptico; era una desviación demasiado radical de la visión predominante sobre la especialización hemisférica. Sin embargo, en lugar de desecharla al momento, Lou me ayudó a determinar qué tipo de observaciones serían necesarias para respaldar la hipótesis y, quizá, diseñar los experimentos apropiados. Como es habitual en la ciencia, con la ayuda de quien entonces era mi ayudante de investigación, Bob («Chip») Bilder, hoy catedrático en UCLA, realizamos una amplia revisión de la bibliografía antes de embarcarnos en nuestros propios experimentos, y encontramos que la mayor parte de los datos que buscábamos ya existían, aunque de forma fragmentaria, a la espera de que alguien los integrara en una perspectiva coherente.

Lou y yo escribimos conjuntamente un artículo, probablemente la primera publicación científica que articulaba la idea de la novedad-rutinización, con un título un tanto engorroso: «Diferencias hemisféricas en la adquisición y uso de sistemas descriptivos»[2]. Cada vez que repaso este viejo artículo, vislumbro mi acento ruso sacando la cabeza en algún ocasional giro lingüístico un tanto extraño. Pero «viejo» no siempre quiere decir «erróneo» o «anticuado» (¡pensemos si no en la tabla de multiplicar!) y buena parte de mi investigación posterior, incluida la más reciente, se apoya en esta idea, desarrollándola mejor con

la ayuda de modernos métodos de neuroimagen y aplicándola a nuestra comprensión de varios trastornos neurológicos.

De la idea de la novedad-rutinización se derivan varias predicciones, y eso es justamente lo que la hace contrastable mediante una investigación rigurosa. Veamos estas predicciones:

- Una habilidad compleja y especializada que se tarda mucho tiempo en adquirir dependerá sobre todo del hemisferio derecho en el novato y del hemisferio izquierdo en el profesional.
- Una habilidad muy practicada dependerá sobre todo del hemisferio izquierdo, mientras que una habilidad comparable pero menos practicada dependerá sobre todo del hemisferio derecho en las mismas personas.
- Una tarea cognitiva estará controlada sobre todo desde el hemisferio derecho mientras sea nueva y no practicada, pero caerá bajo el control predominante del hemisferio izquierdo a medida que el individuo se vaya familiarizando con ella y la vaya practicando.

Y eso es, en efecto, lo que ocurre. En un estudio que se ha convertido en un clásico, Bever y Chiarello, de la Universidad de Columbia, presentaron grabaciones musicales a los oídos derecho e izquierdo de sus sujetos con el fin de descubrir qué hemisferio procesaba mejor la música (gracias a que las vías sensoriales, en este caso auditivas, se cruzan en el cerebro: la información que llega al oído izquierdo se dirige en su mayor parte al hemisferio derecho, y viceversa). Durante años se había supuesto que la música se procesaba en el hemisferio derecho en todas las personas diestras. Los hallazgos de Bever y Chiarello, sin embargo, eran más matizados: el hemisferio derecho destacaba en el procesamiento de la música en la mayoría de las personas, pero en los músicos consumados ocurría justo lo contrario: en estos destacaba el hemisferio izquierdo[3].

Bever y Chiarello compararon el rendimiento en la misma prueba en sujetos competentes (músicos consumados) e inexpertos (el resto de la humanidad). Marzi y Berlucci llegaron a la misma conclusión después de comparar el rendimiento en los mismos sujetos en dos pruebas comparables, una tarea nueva y otra familiar. Para ello, proyectaban dos

series de imágenes de rostros a los hemisferios izquierdo y derecho (lo cual, nuevamente, es posible gracias a que las vías visuales se cruzan en el cerebro). La primera serie estaba formada por rostros desconocidos, como un conjunto aleatorio de rostros que uno puede encontrarse por la calle. La segunda serie, en cambio, estaba formada por rostros de personajes famosos, como los que durante años nos miran desde las portadas de revistas y periódicos. El resultado fue una sorprendente disociación: la caras nuevas eran procesadas mejor por el hemisferio derecho, las famosos por el izquierdo. También este hallazgo desafió la idea arraigada en la vieja escuela de que los rostros son reconocidos más fácilmente por el hemisferio derecho que por el izquierdo. Como el experimento con músicos de Bever y Chiarello, este también sugería que, en contra de las ideas de la vieja escuela que vinculan ciertas funciones cognitivas de forma clara con uno u otro hemisferio, lo que realmente importa es el grado de familiaridad y el dominio de la tarea. Cuando una tarea es nueva, se procesa sobre todo en el hemisferio derecho, mientras que el hemisferio izquierdo se va imponiendo a medida que la tarea se domina y se hace más familiar[4].

Estos experimentos sugieren que el cambio en el papel de los hemisferios durante la adquisición de una habilidad cognitiva se extiende de manera gradual durante mucho tiempo: el hemisferio derecho desempeña el papel principal durante los primeros estadios, el izquierdo durante los últimos, pero hacen falta años para que una persona se convierta en músico, y suelen necesitarse años para que una persona adquiera el estatus de celebridad, para que su rostro se vuelva «famoso». Sin embargo, los avances en las técnicas de neuroimagen funcional nos permiten plantear y testar un nuevo tipo de predicción:

- Con la ayuda de imágenes del cerebro del sujeto mientras realiza un tarea cognitiva nueva, pero que durante el experimento se torna familiar, es posible ver en tiempo real, en cuestión de horas o incluso minutos, un cambio de la derecha a la izquierda en el patrón de activación cortical.

Las técnicas de neuroimagen funcional han cambiado la neurociencia cognitiva durante las últimas décadas, y siguen haciéndolo gracias a las continuas mejoras en métodos y técnicas. Son varias las técnicas que nos ofrecen una imagen del cerebro humano en acción. De ellas, la resonancia magnética funcional (RMf) es especialmente popular, pero hay otras, como la tomografía por emisión de positrones (TEP) y la neuroimagen óptica. A partir de principios físicos distintos y de la medición de variables biológicas distintas (niveles de oxigenación en la sangre en la RMf, niveles de metabolismo de glucosa en la TEP, luz del infrarrojo cercano en la neuroimagen óptica), estas técnicas nos permiten examinar los patrones de activación del cerebro en un sujeto mientras realiza una tarea cognitiva en el escáner. El enfoque recibe el nombre de neuroimagen funcional de «activación cognitiva» (por oposición a la neuroimagen funcional «en estado de reposo», sobre la que hablaremos más adelante).

Supongamos ahora que la prueba cognitiva comienza siendo novedosa y el sujeto no tiene la menor idea de cómo realizarla, pero a lo largo del experimento se va haciendo más familiar hasta que, poco a poco, el sujeto acaba dominándola. El experimento entero no dura más de 20-30 minutos. Son muchos los experimentos de este tipo que se han realizado con RMf o TEP. Las pruebas cognitivas empleadas son distintas (verbales y no verbales, perceptuales o motoras), pero la mayoría de ellas revelan un patrón de cambio parecido: a medida que se reduce la novedad de la tarea y los sujetos aprenden a hacerla, decrece la actividad en el hemisferio derecho y aumenta en el hemisferio izquierdo, al menos en términos relativos.

Así fue demostrado con gran elegancia en un estudio realizado por Alex Martin y colaboradores, del Instituto Nacional de la Salud Mental (NIMH, por sus siglas en inglés) con la ayuda de la TEP. A los sujetos (todos ellos neurológicamente sanos) se les pidió que prestaran atención a imágenes de objetos reales o de objetos sin sentido, que leyeran en silencio palabras reales y palabras absurdas, o que mirasen «ruido» visual sin sentido (como la interferencia estática en un televisor). Los autores partieron de la razonable suposición de que, fuesen cuales fuesen las

experiencias previas de los sujetos, la realización de pruebas cognitivas en posición supina dentro de un escáner no era una de ellas. Esto significaba que la tarea era nueva al inicio de los cinco experimentos, pero se iba haciendo al menos un poco más familiar en el transcurso del experimento. ¿Cuál fue el efecto de esa familiarización en el cerebro? Con el fin de responder a esta pregunta, para cada una de las cinco situaciones se tomaron imágenes de TEP en dos momentos: al principio y al final del experimento. ¿Qué ocurrió? Pues que, con independencia de la naturaleza del estímulo, la activación de la corteza temporoparietal derecha y del lóbulo temporal mesial fue mayor en la primera imagen (cuando la tarea era nueva) que en la segunda (cuando la tarea era más familiar)[5].

Un experimento realizado por mi antigua estudiante Vasilisa Skvortsova también apoyó la idea, esta vez con sujetos que realizaban la Prueba Wisconsin de Clasificación de Tarjetas (o WCST, por sus siglas en inglés) mientras se les tomaban imágenes mediante resonancia magnética (figura 6.1). El WCST es uno de los test neuropsicológicos más populares en la investigación en neurociencia cognitiva para estudiar el cerebro sano, y en la práctica clínica de neuropsicología para diagnosticar varios trastornos cerebrales. Al sujeto se le muestran varias tarjetas con diseños geométricos y se le pide que averigüe el principio de clasificación subyacente. El experimento comienza como un juego de conjeturas: el sujeto recibe un «correcto» o «incorrecto» como respuesta a cada conjetura y se supone que podrá inferir el principio oculto a partir de estas respuestas. Sin embargo, el test tiene truco: el principio de clasificación cambia durante la prueba, y este cambio se produce cinco veces durante el experimento, lo que obliga a «descubrir» seis principios de clasificación. Al sujeto no se le avisa por adelantado de los cambios y, una vez que se produce el cambio, tiene que cambiar del principio de clasificación antiguo al nuevo tan rápidamente como le sea posible. La facilidad con la que el sujeto logra detectar el cambio refleja, supuestamente, su grado de flexibilidad mental[6]. Para realizar bien este test, el sujeto debe conseguir dos cosas: (1) darse cuenta de que el

principio de clasificación cambia en el curso del experimento, y (2) descubrir cada uno de los seis principios de clasificación.

El experimento de Vasilisa se había diseñado para discernir los mecanismos cerebrales que se ocupan de la novedad cognitiva; por consiguiente, comparaba los niveles de activación en distintas partes del cerebro en distintos estadios del aprendizaje de la tarea. Para ello, realizaba dos tipos de comparaciones. Para captar el cambio en el patrón de activación neural que acompaña al descubrimiento del principio general, comparaba los niveles de activación medios de los tres primeros y los tres últimos segmentos de la tarea. Y para captar el cambio en la actividad neural que acompaña al descubrimiento de categorías específicas, comparaba los patrones de activación medios de la primera y la segunda mitad de cada uno de los seis segmentos de la tarea.

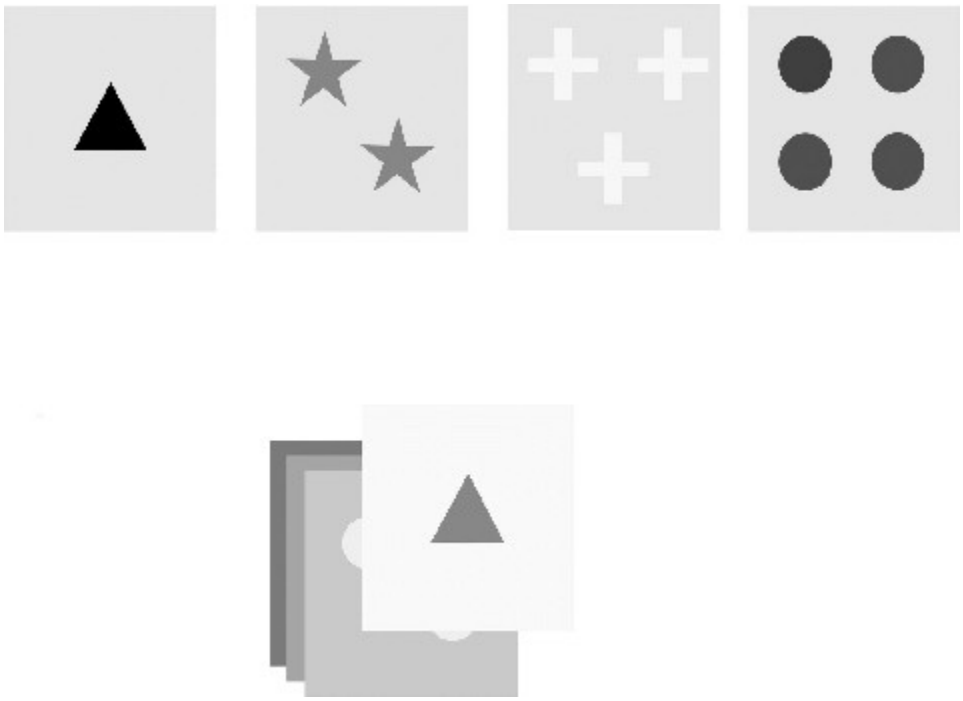


Figura 6.1. Prueba Wisconsin de Clasificación de Tarjetas (WCST). Hay que colocar cada nueva tarjeta sobre una de las cuatro tarjetas superiores en función de su semejanza de color, forma o número de elementos.

Los resultados de este análisis confirmaron que el hemisferio derecho está especialmente activo durante los primeros estadios del

descubrimiento tanto de reglas específicas como de reglas generales en el WCST, tal como predecía la hipótesis de la novedad-rutinización. Más concretamente, las regiones prefrontales del lado derecho se activan en los primeros estadios en ambos tipos de «descubrimiento», lo cual trae a los lóbulos frontales de vuelta a nuestro relato (figura 6.2).

Estos hallazgos son coherentes con los presentados en varios otros estudios publicados que utilizan RMf. Según Corbetta y Schulman, la corteza prefrontal ventrolateral derecha es esencial para cambiar y redirigir la atención hacia un nuevo objetivo. En cambio, la corteza prefrontal ventrolateral izquierda lo es para la recuperación de información previamente consolidada a partir de la memoria a largo plazo, de conformidad en la Prueba Wisconsin de Clasificación de Tarjetas (WCST). (a) Área más activa durante las tres primeras categorías que durante las tres últimas. (b) Área más activa durante la primera que durante la segunda mitad de cada categoría con la idea desarrollada en el capítulo 3 que relaciona el hemisferio izquierdo con la conservación de información previamente adquirida[7]. En consonancia con estos hallazgos, las «redes de atención», que supuestamente se dirigen hacia el mundo exterior, están mejor articuladas y más especializadas en el hemisferio derecho[8].

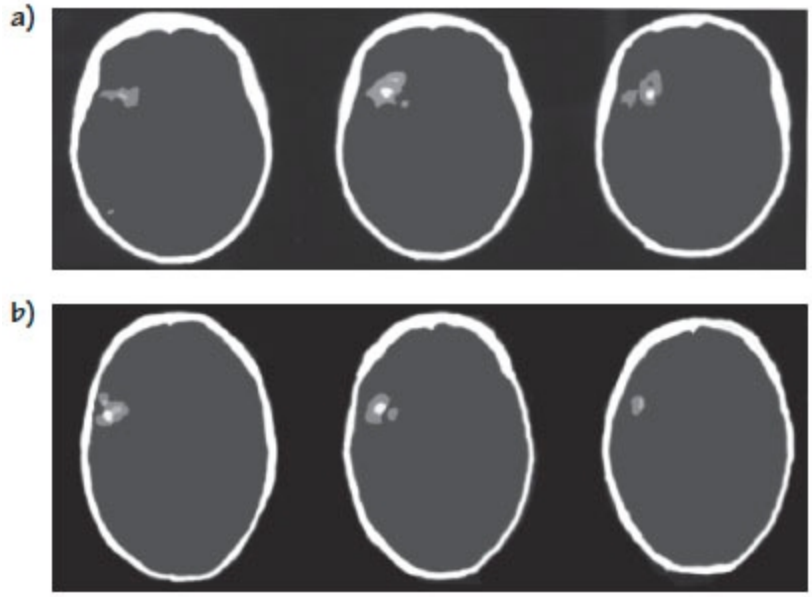


Figura 6.2. Imágenes de resonancia magnética funcional (RMf) del rendimiento.

Sridharan Devarajan y coautores realizaron un complejo análisis de los patrones de coactivación de múltiples regiones cerebrales mientras los sujetos escuchaban música clásica. Las «transiciones de movimiento» (transición entre secciones claramente distintas de una sinfonía o concierto) se asociaron con la activación frontoinsular derecha, seguida de la activación parietal posterior derecha[9]. Trevor Chong y colaboradores observaron una activación particularmente fuerte en las regiones corticales inferoparietales del lado derecho cuando los sujetos observaban una acción nueva, pero una actividad atenuada en respuesta a acciones previamente observadas[10].

Nancy Kanwisher y colaboradores estudiaron los patrones de activación de la corteza visual mientras los sujetos aprendían a discriminar entre ejemplares de nuevas categorías de objetos. El aprendizaje iba acompañado de cambios en los patrones de activación, que variaban de manera significativa en distintas regiones del hemisferio derecho respecto al hemisferio izquierdo[11]. De modo parecido, el entrenamiento en problemas complejos de multiplicación aritmética

provocaba el cambio de los patrones de activación hacia el hemisferio izquierdo, en concreto hacia las regiones parietales izquierdas[12].

Como ya hemos comentado en el capítulo 4, el enfoque de los estudios de neuroimagen funcional, en particular el empleo de RMf, se ha desplazado de las regiones cerebrales aisladas a las redes y sus interacciones. Varios de estos estudios muestran que un cambio drástico y abrupto en mitad de una tarea cognitiva desencadena la activación en una red de regiones en las cortezas frontal y parietal, y que esta activación está lateralizada en el hemisferio derecho. La naturaleza específica del cambio no parece importar, basta que se produzca un cambio abrupto de algún tipo. En uno de los experimentos, el cambio adoptó la forma de una transición de «movimiento musical» (transición entre dos segmentos claramente distintos dentro de una composición compleja). En otro experimento, se empleó el paradigma del estímulo infrecuente («oddball»): una secuencia de estímulos visuales se interrumpía de forma infrecuente e impredecible con un estímulo claramente distinto. Al parecer, todo cambio abrupto en el entorno activa una red de regiones en el hemisferio derecho[13].

El mensaje central de todos estos estudios es a un tiempo simple y profundo: los mecanismos neuronales de los procesos cognitivos no son estáticos, no pueden entenderse simplemente como redes fijas de regiones, sino que la experiencia modifica constantemente estas redes, y los papeles relativos de los dos hemisferios cambian durante el aprendizaje.

Por desgracia, en los estudios de neuroimagen funcional no es especialmente común que se haga lo que Vasilisa hizo en su experimento: examinar por separado las características de desempeño en distintos estadios de una tarea de activación cognitiva, y compararlas. Es mucho más habitual que se obtenga el promedio de la secuencia completa, combinando los datos obtenidos al principio, mitad y final de la secuencia experimental. Este sería un enfoque razonable si tuviera sentido suponer que la maquinaria neural que subyace al desempeño en la tarea se mantiene inalterado durante el proceso que lleva al dominio de la tarea. Sin embargo, como ya hemos visto, esta suposición suele ser

errónea, pues a medida que el sujeto aprende la tarea, la maquinaria cerebral subyacente cambia.

Los científicos suelen estar dispuestos a agrupar tantos datos de un experimento como les sea posible con el fin de aumentar la potencia de sus análisis, pero eso solo se puede hacer si todos los datos provienen de la misma «población» de datos. Si no es así, los resultados del análisis carecen de sentido, por mucho que superficialmente parezcan plausibles. Supongamos que Johnny pesaba 30 kilos de niño, pero a los cuarenta años, empujado por su afición a la cerveza y las hamburguesas, su peso se dispara a los 120 kilos. Ahora ya es viejo, y su cuerpo se ha encogido hasta los 60 kilos. Así que sumamos 30, 120 y 60, dividimos por tres, y llegamos a la conclusión de que el peso de Johnny es de 70 kilos. Por plausible que parezca, ¡no tiene ni sentido ni significado! En cambio, documentar los *cambios* en el tiempo de los patrones de activación cerebral durante el aprendizaje de una nueva tarea cognitiva puede decirnos mucho sobre la cognición normal y anormal, en particular sobre las diferencias individuales en la búsqueda de novedad y, tal vez, también sobre la creatividad. Es mucho más lo que aprendemos sobre Johnny examinando las tendencias en su peso a lo largo de los años que promediando sus pesos en distintos momentos de su vida.

No considerar la novedad como una variable crítica en la cognición ha sido una fuente continua de confusión y malinterpretación de datos. Cuando se compara el desempeño en tareas neuropsicológicas «verbales» y «visuoespaciales» típicas, suele ignorarse el hecho de que las tareas «visuoespaciales» son, de entrada, probablemente más novedosas que las «verbales», pues estas están compuestas por elementos familiares, las palabras. Por otro lado, cualquier tarea que implique la detección de un estímulo «relevante» es también una tarea de detección de novedad si el estímulo es muy poco habitual (como ocurre, naturalmente, en el paradigma del estímulo infrecuente u «oddball»). Estudiando los cambios en los patrones de activación cerebral a lo largo del tiempo en múltiples tareas cognitivas a medida que dejan de ser nuevas y pasan a ser familiares conseguiremos aprender más acerca de la maquinaria neuronal

del aprendizaje en personas sanas, y acerca de las maneras en que esta se deteriora en diversos trastornos cerebrales.

¿Qué evidencia aportan otras ramas de la neurociencia? La evidencia convergente (derivada de múltiplas fuentes distintas), es especialmente importante para contrastar hipótesis científicas. ¿Disponemos de ella para la hipótesis de la novedad-rutinización, más allá de los estudios cognitivos que hemos descrito aquí? Sin duda, y de dos tipos: bioquímica y computacional.

Ya hemos hablado del neurotransmisor dopamina. Es hora de presentar otro neurotransmisor, la noradrenalina (NA) o norepinefrina. Si la dopamina está implicada en la maquinaria de la relevancia, la noradrenalina parece estar involucrada en la búsqueda de la novedad. Se ha demostrado en modelos animales que cuando se estimula el sistema NA, se induce el comportamiento explorador[14]. En consonancia con esto, también en humanos se asocia la búsqueda de novedad con la transmisión noradrenérgica[15]. Además, las vías de la noradrenalina son más abundantes en el hemisferio derecho que en el izquierdo[16]. Esto concuerda con las observaciones de activación obtenidas mediante neuroimagen que vinculan el hemisferio derecho con la novedad cognitiva. En cambio, como se recordará, las vías de la dopamina son más abundantes en el hemisferio izquierdo, y cuando se estimulan en un animal, se induce el comportamiento estereotipado, fruto de la práctica.

Otra fuente de evidencia convergente procede de la neurociencia computacional, un campo en rápido desarrollo que utiliza modelos matemáticos y simulaciones por computadora para entender el cerebro. Uno de los mayores desafíos con el que tropiezan los modelos cerebrales es cómo reconciliar dos propiedades esenciales del cerebro sin las cuales la cognición no es posible: la habilidad de adquirir información nueva y la habilidad de conservar la información «vieja», previamente adquirida. Cuando estos dos tipos de procesos residen en la misma región neural, parecen competir y pisarse mutuamente. En consecuencia, la adquisición de nueva información se asocia con la erosión de representaciones previamente formadas. Una manera de combinar en el mismo modelo del cerebro estos dos procesos aparentemente irreconciliables y evitar

que se enfrenten consiste en separarlos en el modelo, una solución propuesta por varios neurocientíficos computacionales[17]. Es posible que la evolución ya haya resuelto este problema de diseño haciendo justamente eso: invirtiendo de manera diferencial en el hemisferio derecho para que tenga una especial propensión a procesar información nueva, y en el hemisferio izquierdo para conservar la información «vieja».

Cada vez es mayor la evidencia que sugiere que la especialización hemisférica que asigna rutinas cognitivas al hemisferio izquierdo y novedad cognitiva al hemisferio derecho no es exclusiva de los humanos. Bien al contrario, se ha documentado en un amplio abanico de especies y parece ser un principio universal de la organización del cerebro a lo largo de la evolución. Estos y otros hallazgos relacionados son tan interesantes (y le quitan tanto peso a la idea de la exclusividad de la especie humana) que más adelante les dedicaremos un capítulo entero (capítulo 8).

CABLEADO PARA LA NOVEDAD

¿Qué hay en la estructura del hemisferio derecho que lo hace especialmente apto para procesar la información nueva? Ciertas partes de la neocorteza (la más joven en términos evolutivos y el tipo de corteza más avanzado) desempeñan un papel crítico en la cognición especialmente compleja. Se trata de la corteza prefrontal lateral (que suele dividirse en dorsolateral y ventrolateral) y la corteza de asociación heteromodal inferoparietal (figura 6.3).

Estas dos áreas trabajan en íntimo concierto, y juntas conforman la maquinaria cerebral que se encarga de los problemas más complejos que plantea el mundo exterior. Se hallan conectadas a través de vías directas que permiten una comunicación rápida entre ellas. Sabemos que las regiones prefrontal lateral e inferoparietal se activan conjuntamente, y constituyen la llamada red ejecutiva central, de la cual, como se recordará, nos ocupamos brevemente en el capítulo 4 y está ilustrada en la figura 4.3.

Los dos hemisferios contienen los mismos tipos de corteza, pero con sutiles diferencias en su tamaño. Varios estudios, incluidos los nuestros, nos han mostrado que tanto las regiones prefrontales laterales como las inferoparietales son significativamente mayores en el hemisferio derecho que en el izquierdo (figura 6.4). Además de ser mayores, estas regiones también están más interconectadas, y, por consiguiente, pueden trabajar mejor en concierto en el hemisferio derecho que en el izquierdo. La conectividad entre los lóbulos frontales y las regiones corticales situadas en la parte de atrás de la cabeza (la corteza posterior) depende en gran medida de las células de von Economo, también conocidas como «neuronas en huso». Estas neuronas tienen su origen en varias partes de la corteza prefrontal, tanto orbital como lateral, así como en la cingulada anterior y en las regiones frontoinsulares, y envían proyecciones muy largas hacia la corteza posterior. Las neuronas en huso surgieron tardíamente durante la evolución, y solo se encuentran en unas pocas especies que descuellan por su gran inteligencia, el gran tamaño de su cerebro y un comportamiento social altamente desarrollado: grandes simios, ciertas especies de delfines y elefantes. Pero de todas las especies, son especialmente abundantes en los humanos. Suele suponerse que las neuronas en huso desempeñan un papel particularmente importante en la cognición compleja, incluida la cognición social. Se ha demostrado que las neuronas en huso son más abundantes en el hemisferio derecho que en el izquierdo[18]. Como estas neuronas están especialmente bien equipadas para proporcionar una comunicación muy rápida entre regiones corticales distantes, su abundancia relativa en el hemisferio derecho dota a este de manera particular para enfrentarse a desafíos impredecibles e inesperados[19].

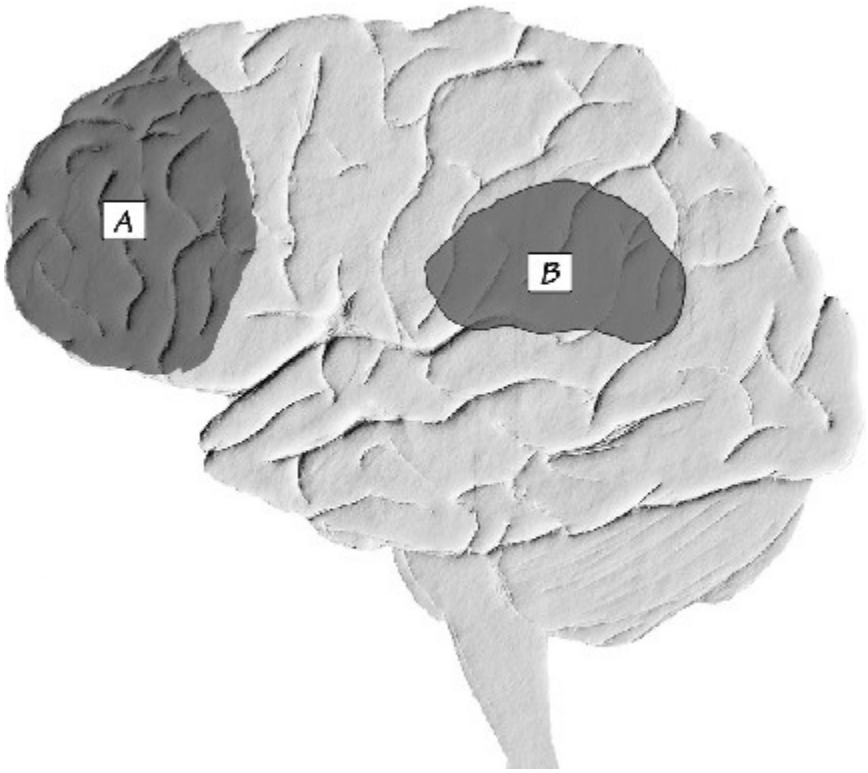


Figura 6.3. Corteza de asociación heteromodal prefrontal lateral e inferoparietal.
Región prefrontal lateral (A) e inferoparietal.

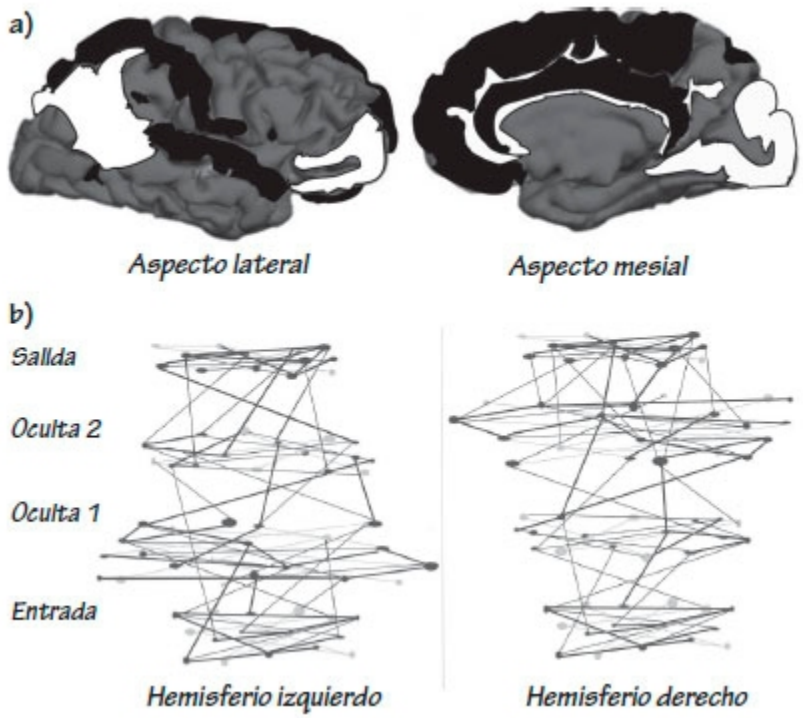


Figura 6.4. Diferencias hemisféricas regionales. (a) Regiones mayores en el hemisferio izquierdo en negro. Regiones mayores en el hemisferio derecho en blanco. La corteza de asociación heteromodal prefrontal lateral e inferoparietal es mayor en el hemisferio derecho.

Adaptado con permiso de E. Goldberg *et al*., «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210.

(b) Representación esquemática de la asignación de espacio cortical en los dos hemisferios. La corteza heteromodal se representa de forma esquemática como Capa Oculta 2.

Reproducido con permiso de E. Goldberg, *The New Executive Brain*, Oxford University Press, 2009.

Así pues, parece que tanto las regiones corticales como las vías corticales implicadas en la cognición especialmente compleja son más abundantes en el hemisferio derecho, que por tanto, lejos de ser «subdominante», está especialmente bien equipado para enfrentarse a los mayores desafíos cognitivos, y las situaciones nuevas lo son por definición. El hemisferio derecho está excepcionalmente bien dotado para ocuparse de las situaciones nuevas, diferentes de cualquier otra

situación a la que se haya enfrentado antes el animal, y para las que no dispone, en su repertorio cognitivo, de soluciones listas para usar.

Hay varios trastornos clínicos que se caracterizan por la rigidez cognitiva y la aversión a la novedad. Uno de ellos es el trastorno del aprendizaje no verbal. Byron Rourke, que fue uno de los neuropsicólogos del desarrollo más influyentes en América del Norte, propuso que la disfunción del hemisferio derecho es especialmente común en este trastorno. Parte de las investigaciones de Byron sobre el trastorno del aprendizaje no verbal estuvieron influidas por nuestra teoría de la novedad-rutinización, un hecho que tuvo la cortesía de reconocer en su ya clásica obra *Nonverbal Learning Disabilities: The Syndrome and the Model* [Trastornos del aprendizaje no verbal: el síndrome y el modelo]. En la dedicatoria del libro se lee:

> A finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, Ralph M. Reitan puso en marcha un programa de investigación que revolucionó la manera en que habrían de revelarse los aspectos científicos y clínicos de la neuropsicología humana durante los cuarenta años siguientes. En 1975, Helmer R. Myklebust publicó un capítulo, titulado «Trastornos del aprendizaje no verbal», que ejerció una profunda influencia en la dirección que tomó nuestro programa de investigación. En 1981, Elkhonon Goldberg y Louis Costa publicaron un artículo teórico de referencia que desde entonces ha sentado las bases de mis actividades teóricas y de construcción de modelos. Sin las investigaciones seminales de estos científicos, la presente obra no habría visto la luz. Por estas y otras razones, demasiado numerosas para mencionarlas, este libro está dedicado con afecto, tanto si les gusta como si no, a estos cuatro científicos[20].

La rigidez mental extrema, la obsesión con las rutinas y la intolerancia hacia la novedad son también características del síndrome de Asperger,

una categoría de diagnóstico que se solapa fuertemente con los trastornos del aprendizaje no verbal, hasta el punto de que algunos investigadores creen que es prácticamente idéntica.

Cuando Allan Kluger, que a la sazón era investigador posdoctoral en mi equipo, y yo mismo comparamos el deterioro cognitivo causado por daños cerebrales difusos que afectaban de igual modo a ambos hemisferios con el deterioro cognitivo causado por daños cerebrales lateralizados que afectaban o bien el hemisferio derecho o bien el izquierdo, observamos sorprendentes semejanzas entre los efectos de las lesiones difusas y las que afectaban solamente al hemisferio derecho[21]. ¿Por qué razón los daños cerebrales difusos, en los que desde un punto de vista estructural estaban igualmente afectados ambos hemisferios, habrían de provocar más disfunción del hemisferio derecho que del hemisferio izquierdo? Lo más probable es que se deba a los vínculos entre el hemisferio derecho y la novedad cognitiva. Como todos nosotros sin duda descubrimos a través de nuestras experiencias cotidianas, toda fuente de disrupción general, ya sea enfermedad, ebriedad o falta de sueño, afecta a las tareas nuevas más que a las firmemente aprendidas.

Los cambios que se producen en el cerebro a lo largo de la vida también son reveladores. El hemisferio derecho madura antes y es más activo que el hemisferio izquierdo durante los primeros estadios del desarrollo de los niños. En un elegante estudio que utilizaba SPECT (siglas en inglés de tomografía computarizada de emisión monofotónica), un grupo de científicos franceses coordinados por Catherine Chiron demostraron una mayor actividad en el hemisferio derecho que en el izquierdo en niños de edades comprendidas entre uno y tres años, pero esta asimetría se invertía a partir de los tres años[22]. Esto bien podría estar relacionado con el hecho de que la habilidad de procesar información nueva es especialmente importante durante la infancia, cuando el mundo todavía está por descubrir. En cambio, el hemisferio derecho sucumbe antes que el izquierdo a los efectos de la atrofia relacionada con la edad a medida que envejecemos[23], lo que podría reflejar el hecho de que, dejando aparte discontinuidades

drásticas, a medida que envejecemos la vida se va asentando en rutinas familiares, y disminuye la exposición a nuevos desafíos, lo que priva al hemisferio derecho de los efectos neuroprotectores de la plasticidad neuronal inducida por la actividad. O al menos así ha sido hasta ahora. Si seguirá siendo de este modo en el «valiente nuevo mundo» sometido a cambios sociales cada vez más rápidos en tecnología e información, y qué implicaciones tendrán esos cambios para el envejecimiento del cerebro, es una pregunta intrigante que abordaremos más a fondo en el capítulo 11.

En resumen, todas las observaciones revisadas en este capítulo apuntan en la misma dirección: hacen hincapié en el papel especial del hemisferio derecho a la hora de abordar retos cognitivos nuevos.

MOVIDO POR LA NOVEDAD

A decir de algunas fuentes, Alejandro Magno era zurdo. Esto, como es natural, no pasa de ser una conjetura, y como tal ha sido combatida, pero si es cierto habría sido uno de los zurdos más afortunados. En la mayoría de las sociedades tradicionales la zurdera, una condición caracterizada por la dominancia del hemisferio derecho al menos en un sentido motor (por lo general no en el sentido de la dominancia del lenguaje), y que comparte un 10 % de la población, se veía como algo inferior e incluso maligno, un prejuicio que aparece codificado en muchos lenguajes. En inglés, *right* significa tanto derecha, una orientación espacial, como un juicio de valor («correcto» o «verdadero»). La misma relación existe en alemán entre *rechts* y *richtig*, o entre *pravij* y *pravda* en mi ruso nativo, con la implicación de que *izquierdo* de algún modo significa «incorrecto» o «falso» (la implicación es explícita en la jerga callejera del ruso, en la que «izquierda» significa «turbio» o «sospechoso»). En latín, esta suposición es explícita: *sinister* (*sinistra* en italiano) significa «izquierda»[*]. Lo mismo ocurre en francés, en el que *gauche* significa tanto «izquierda» como «vulgar» (con este último significado lo ha tomado prestado el inglés). En muchas culturas tradicionales la zurdera se exorcizaba, y se forzaba a los niños zurdos a usar la derecha. Así me

ocurrió a mí en la antigua Unión Soviética, donde me crie. Y a lo largo de los años he encontrado en mi consulta clínica varios casos en los que la sola pregunta sobre la preferencia de la mano, dirigida a un inmigrante de edad avanzada procedente de una cultura tradicional, era recibida con extremo resentimiento, como una ofensa personal: «¡Cómo se atreve usted a pensar siquiera que yo pueda ser zurdo!».

La zurdera ha existido en todas las sociedades humanas, incluida la neandertal, e históricamente se ha reprimido en la mayoría de ellas. A menudo corre en la sangre, lo que sugiere una base genética, pero su prevalencia varía de una sociedad a otra y en la misma sociedad en el tiempo, lo que sugiere que también hay fuertes factores culturales[24]. La actitud hacia la zurdera comenzó a relajarse hace poco tiempo y solo en sociedades menos rígidamente movidas por la tradición y más abiertas al cambio. De hecho, se han referido diferencias sorprendentes en la prevalencia de la zurdera en las sociedades de Asia oriental y del sureste asiático (muy baja) y en los norteamericanos de ascendencia asiática en Estados Unidos (mucho más alta)[25].

¿Por qué se ha estigmatizado a los zurdos a lo largo de la historia? ¿Se debe tan solo a que eran una minoría, o había alguna otra razón menos evidente, pero quizá más profunda? Como es obvio, en los zurdos el hemisferio derecho es más «dominante» que el izquierdo, al menos en algún sentido. En los zurdos «practicantes», por ejemplo, el hemisferio derecho se encuentra en un estado relativamente más activado porque está implicado en la mayoría de las actividades motoras (una idea que se me aparenta preñada de la desalentadora posibilidad de que mis cuidadores del jardín de infancia ruso me despojaran de toda esperanza de potencial creativo cuando me «convirtieron» en diestro). Además, ahora sabemos que el hemisferio derecho forma parte de la maquinaria cerebral de búsqueda de novedad. Durante años han abundado las observaciones aisladas de una asociación entre la zurdera y la creatividad, y de un número desproporcionadamente alto de zurdos entre las personas más excelentes en diversos ámbitos de la vida, tanto en la ciencia como en el arte o la literatura. Sin embargo, la estadística rigurosa sigue mostrándose esquiva, cuando menos porque en la mayoría

de los casos es imposible calcular las pertenencias totales a cada grupo, y por tanto imposible calcular la ratio entre el número de personas de inusual excelencia respecto al total de individuos para los subconjuntos poblacionales de zurdos y diestros. Los presidentes de Estados Unidos constituyen una notable excepción, pues conocemos con exactitud los números totales para este exclusivo club. Dependiendo de la fuente, ocho o nueve de los 44 presidentes americanos (ha habido 45 presidencias pero 44 presidentes porque Grover Cleveland lo fue en dos períodos no consecutivos) fueron zurdos, el doble de la proporción de zurdos en la población general. Si aceptamos la suposición común de que la tasa de zurdos en la población general es de un 10 %, la probabilidad de que esto ocurra es de 0,068 (para ocho o más de 44) o 0,028 (para nueve o más de 44). Entre los presidentes posteriores a la segunda guerra mundial, para los cuales disponemos de datos más fiables sobre si eran zurdos o diestros, y para los cuales la probabilidad de que se hayan visto forzados a cambiar de mano dominante es menor, la ratio es todavía más interesante: seis de trece eran zurdos: Harry Truman, Gerald Ford, Ronald Reagan, George H. Bush, Bill Clinton y Barack Obama[26]. La probabilidad de que al azar seis o más individuos de un total de trece sean zurdos es minúscula, de tan solo 0,00092, lo que sugiere fuertemente que también juegan un papel otros factores además del azar. Con independencia de las afiliaciones políticas de cada uno, sería estúpido negar que la presidencia americana es un logro personal excepcional.

En la medida en que los ingresos, de los que tenemos muchos más datos, sean otra medida del logro personal, vemos que mientras que en la población general los zurdos ganan un 10-12 % menos que los diestros, entre las personas con educación universitaria (que supuestamente es más probable que se ganen la vida con el cerebro y no con la fuerza bruta), la ratio se invierte, pues en este caso son los zurdos los que ingresan un 1015 % más que los diestros[27]. Este último hallazgo es especialmente impresionante porque es probable que algunos de los zurdos de la muestra fuesen zurdos «patológicos» (un término poco amable que no he acuñado yo) y no «naturales», y que por tanto en ellos

la preferencia por una o otra mano hubiera cambiado durante los primeros años de vida para compensar los efectos de daños tempranos en el hemisferio naturalmente «dominante», en lugar de haber nacido zurdos. En los «zurdos patológicos» es probable que se presente cierto déficit cognitivo, lo que contribuiría a diluir la relación positiva entre «zurdos naturales» y logros personales.

¿No podría ser que la zurdera se encontrase frecuentemente asociada con una inquietud e insatisfacción con el *statu quo*, con la persecución del cambio, con la búsqueda de la novedad en rebeldía, y que estos rasgos de la personalidad se tuviesen por amenazadores en las sociedades tradicionales estancadas? Cabe preguntarse si el estudio de las representaciones artísticas de los humanos en antiguas estatuas, frescos y pinturas sobre cerámica nos permitiría estimar la prevalencia de la zurdera en distintas épocas históricas, y si esta prevalencia era elevada durante los «estallidos» culturales que hemos descrito antes, al principio de este libro, y menor durante los períodos de estasis cultural. (Por ejemplo, ¿qué mano usó Alejandro para cortar el proverbial nudo gordiano, o para sostener la lanza con la que, sumido en la bruma de una ira ebria, mató a Clito, un valiente general de su ejército que anteriormente le había salvado la vida?). Este podría ser un interesante proyecto en la frontera entre la biología, la historia y la antropología cultural, aunque tal vez difícil de llevar a cabo.

Entre tanto, mi antiguo estudiante Ken Podell y yo mismo nos embarcamos en una proyecto más modesto en el que pedíamos a personas zurdas y diestras que tomasen decisiones en una situación deliberadamente ambigua. Las opciones consistían en escoger el ítem más parecido al presentado, más relacionado con el presentado o más diferente del presentado. Todos los diestros escogieron ítems parecidos o relacionados, pero algunos zurdos escogieron ítems más diferentes. Inconformistas a una escala modesta, ¡pero inconformistas al fin y al cabo![28]

Los neuropsicólogos han intentado en muchas ocasiones relacionar la zurdera con ciertos rasgos cognitivos, pero como sus intentos giraban en torno a la vieja y trillada distinción entre cognición verbal y no verbal,

fracasaron. La mayoría de los zurdos siguen teniendo un hemisferio izquierdo dominante para el lenguaje. Más interesante, en cambio, es la asociación entre zurdera y búsqueda de la novedad, que bien podría ser real. ¿Estoy diciendo que la zurdera siempre está asociada con la búsqueda de novedad? Eso sería ir demasiado lejos. Lo que propongo es algo más matizado: que la búsqueda de novedad podría ser más frecuente y pronunciada entre los zurdos que en la población en general. Más adelante, en el capítulo 10, conoceremos un descubrimiento realizado mediante neuroimagen que podría explicar, ni que sea parcialmente, el mecanismo que subyace a estas diferencias.

¿Ofrece alguna ventaja evolutiva que en la población estén representados tanto zurdos como diestros, y, de ser el caso, con qué ratio? Quizá sí. Para que una sociedad sea estable, debe mantenerse cierta continuidad y conservadurismo; demasiadas perturbaciones, demasiado frecuentes, no traen sino inestabilidad y caos. Por otro lado, el progreso necesita del cambio y la disrupción del paradigma establecido. Sean cuales sean las peculiaridades neurales asociadas con la zurdera, la ratio de aproximadamente 9:1 entre diestros y zurdos en la población podría haber evolucionado porque mantiene en la sociedad un equilibrio óptimo entre la conservación estabilizadora y la innovación disruptiva. Además, el grado de aceptación de la zurdera podría reflejar la variación en torno a este promedio, que favorecería un sesgo hacia el cambio o hacia la estasis en una sociedad determinada y un momento concreto de la historia.

NOVEDAD EN EXCESO

Como todo lo bueno, la atracción por la novedad es buena solo hasta cierto punto. Existe un trastorno clínico en el que puede salirse de madre y provocar conductas de exploración excesivas, extremas y descontroladas. ¿Es ese trastorno la TDAH? No, aunque a menudo se lo confunde con este. Creo que existe una forma no reconocida del síndrome de Tourette en el que no predominan los tics, sino una irresistible atracción hacia la novedad y comportamientos exploratorios

excesivos. Para reconocerlo, hay que traspasar las fronteras tradicionales que dividen la neurociencia clínica.

El campo de la neurociencia clínica ha avanzado a grandes pasos durante las últimas décadas, pero la otra cara de esta expansión es su creciente fragmentación o, por tomar prestado un término geopolítico, su «balcanización». Las distintas enfermedades son estudiadas por distintas «tribus» clínicas que asisten a congresos distintos, publican en revistas distintas y cobran su sueldo en distintos departamentos de las facultades de medicina. Las conversaciones cruzadas son pocas, a menudo inexistentes. Esto es muy desafortunado por razones que son demasiado obvias como para detenernos en ellas, pero es una realidad en muchos ámbitos clínicos. Y es especialmente desafortunado en el caso de la neurociencia, porque a menudo es la neuroanatomía, más que la etiología, lo que determina la naturaleza de las manifestaciones clínicas de un trastorno. En palabras llanas, lo que esto significa es que incluso cuando los mecanismos patofisiológicos de dos trastornos cerebrales son distintos, los síntomas pueden ser parecidos si afectan a las mismas estructuras neuroanatómicas. Esto significa también que es mucho lo que podemos aprender cruzando las fronteras entre las áreas tradicionales de la neurociencia clínica, y mucho lo que podemos perder si perpetuamos la actual balcanización de este campo.

Hay un ejemplo de esta balcanización de las neurociencias que tenemos muy a mano. Ante la abundancia de pruebas de una especialización hemisférica coherente entre especies que pone en duda la idea de que la distinción entre lenguaje y funciones no verbales sea el aspecto fundamental de la lateralidad, ¿por qué no ha hecho eso casi mella en el *zeitgeist* que sobre la especialización hemisférica prevalece entre neuropsicólogos, psiquiatras y otras tribus que se ocupan del cerebro humano y de sus trastornos? Quizá se deba a esa misma maldita balcanización, inevitable tal vez dado el ingente volumen de información científica que se acumula cada día, pero lamentable en cualquier caso.

Quizá porque nací zurdo, y a pesar de los esfuerzos de mis cuidadores en el jardín de infancia soviético por exorcizar las tendencias inconformistas que acompañan a la zurdera, siempre me he sentido

inclinado a desdeñar las fronteras taxonómicas establecidas entre disciplinas clínicas y, para bien o para mal, me he desplazado de una a otra durante toda mi vida profesional como neuropsicólogo. En ese espíritu de «antibalcanización», consideremos una jerarquía neural en varias capas. Esta está formada por tres tipos de estructuras cerebrales: (1) la corteza prefrontal, (2) la estructura subcortical llamada *estriado dorsal*, formada por varios núcleos, y (3) la sustancia negra y los núcleos de la área tegmental ventral del tronco cerebral, que envían hacia la corteza y el estriado proyecciones ricas en el neurotransmisor dopamina. Todas estas estructuras se presentan por pares, una en cada hemisferio. En consecuencia, tenemos una doble jerarquía de tres niveles, tal como se ilustra en la figura 6.5. Nos referiremos a esta jerarquía como «edificio de tres pisos». La jerarquía puede romperse a distintos niveles, provocando trastornos distintos, y cada uno de estos trastornos es encasillado en un diagnóstico distinto. Sin embargo, estamos a punto de cruzar las fronteras de nuestro mundo clínico balcanizado hasta la exasperación.

El deterioro de la interfaz entre el tronco cerebral y el estriado dorsal tiene como resultado la enfermedad de Parkinson, en la que la atrofia de los núcleos dopaminérgicos de la substancia negra y del área tegmental ventral provocan la reducción del suministro de dopamina a los núcleos caudados y del putamen en el estriado. En cambio, el deterioro de la interfaz entre el estriado y la corteza prefrontal tiene como resultado el síndrome de Tourette. Ambos trastornos están relacionados no solo desde un punto de vista neuroanatómico, sino también, o al menos así lo parece en algunos casos, desde un punto de vista genético, pues a veces se manifiestan los dos en los mismos individuos y en las mismas familias[29]. Y como la simetría perfecta solo existe en las abstracciones matemáticas y en las artes, es probable que en cada caso individual de la enfermedad de Parkinson y del síndrome de Tourette la interfaz se vea algo más afectada en uno de los lados del «edificio de tres pisos» que en el otro. Sabemos que así ocurre en la enfermedad de Parkinson, así que, ¿por qué habría de ser diferente para el síndrome de Tourette? ¿Provocan las pequeñas variantes asimétricas de estos trastornos

síntomas cognitivos diferentes? Y ¿puede nuestro conocimiento de los trastornos a un nivel del edificio de tres pisos ayudarnos a entender lo que ocurre en los otros?

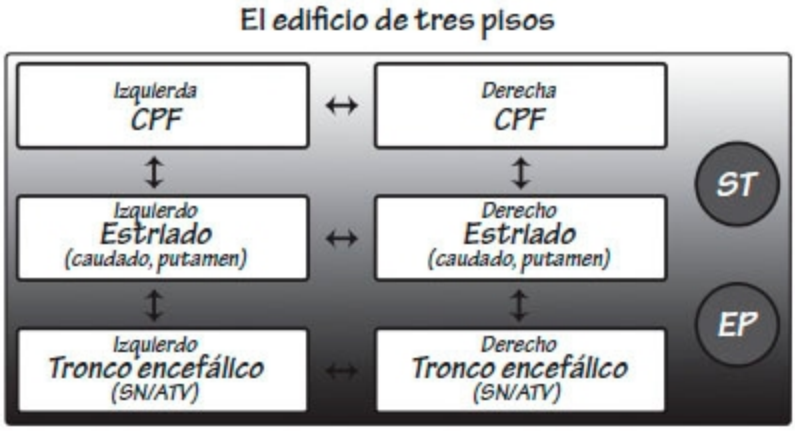


Figura 6.5. El edificio de tres pisos. Tres niveles de la jerarquía: corteza prefrontal (CPF), estriado y tronco encefálico ventral. Los núcleos caudados y del putamen se encuentran en el estriado dorsal. En el tronco encefálico ventral se encuentran dos de los principales núcleos dopaminérgicos, la sustancia negra (SN) y el área tegmental ventral (ATV). La enfermedad de Parkinson (EP) conporta la disregulación en la unión entre tronco encefálico y estriado. El síndrome de Tourette (ST), la disregulación en la unión frontoestriatal.

Fueron precisamente estas preguntas las que despertaron mi interés por la enfermedad de Parkinson y el síndrome de Tourette. A partir de investigaciones previas realizadas con Ken Podell, que a la sazón realizaba su tesis doctoral bajo mi dirección, sabía que las lesiones de la corteza prefrontal izquierda y derecha provocan síntomas muy distintos, al menos en los hombres. Los daños en la corteza prefrontal izquierda producen perseveración, la propensión patológica a los comportamientos repetitivos, a las rutinas. En cambio, los daños en la corteza prefrontal derecha provocan un comportamiento dependiente de campo, exploratorio en exceso, una atracción patológica hacia todo objeto nuevo que aparezca en el entorno. En muchas afecciones clínicas (como las lesiones cerebrales traumáticas graves), estos síntomas se manifiestan porque los lóbulos frontales se ven afectados en ambos lados, pero puede disociarse claramente cuando los daños se restringen a

un único lado, como ocurre después de un ictus. La diferencia entre las consecuencias de las lesiones frontales en el lado izquierdo o el derecho pueden ser drásticas en los hombres. En las mujeres, en cambio, la situación resulta ser muy distinta, pues tanto los daños frontales en el lado izquierdo como en el derecho tienen como resultado comportamientos exploratorios[30].

Quienes estén familiarizados con la enfermedad de Parkinson sabrán que su característica distintiva, el temblor en reposo, suele estar lateralizado, con mayor afectación en un lado que en el otro, lo que da como resultado los llamados síndromes hemiparkinsonianos. Puede verse afectado cualquiera de los dos lados, pero con mayor probabilidad el de la mano dominante. A juzgar por las secuencias de antiguos documentales, en Adolf Hitler, posiblemente el más infame paciente de Parkinson de la historia (o, de hecho, el paciente más infame a secas), el temblor era más intenso en el lado derecho. En cambio, cualquier que vea la CNN con cierta asiduidad recordará una secuencia en la que la presentadora Hala Gorani entrevistaba a un anciano con un temblor en reposo en el lado derecho.

Aunque la enfermedad de Parkinson se ha clasificado tradicionalmente como un trastorno motor caracterizado sobre todo por el temblor en reposo y la dificultad para iniciar movimientos, con frecuencia también se presenta deterioro cognitivo, en ocasiones bastante grave. Así pues, prestos a traspasar las fronteras taxonómicas, un grupo de colegas de la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York y yo mismo realizamos un estudio para determinar si el conocimiento de los efectos de las lesiones frontales en los lados derecho o izquierdo (deterioro de la capa superior del edificio de tres pisos) podría abrirnos una puerta para entender mejor el deterioro cognitivo en los síndromes hemiparkinsonianos derecho e izquierdo (deterioro en la frontera entre los dos pisos inferiores de nuestro edificio).

Tal como esperábamos, las peculiaridades cognitivas de los síndromes hemiparkinsonianos derecho e izquierdo discurrían en paralelo, y en varios aspectos importantes, a los perfiles cognitivos de las lesiones

prefrontales en los lados derecho e izquierdo. El síndrome hemiparkinsoniano derecho (en el que está más afectada la sustancia negra izquierda) se caracterizaba por un comportamiento más perseverante que el síndrome hemiparkinsoniano izquierdo (en el que está más afectada la sustancia negra derecha). Además, al igual que en las lesiones prefrontales, cuando se compararon hombres y mujeres afectados por la enfermedad de Parkinson se observaron diferencias respecto al sexo[31]. Estos hallazgos pueden tener múltiples implicaciones, cuando poco relacionadas con el riesgo de adicción en la enfermedad de Parkinson, que ya hemos comentado en el capítulo anterior.

El éxito en la predicción de los perfiles cognitivos de los síndromes hemiparkinsonianos nos proporcionó una alentadora «prueba de concepto» del valor heurístico del edificio de tres pisos. El siguiente paso consistió en usar ese constructo para entender mejor el síndrome de Tourette, una enigmática afección que se presenta acompañada de un gran abanico de pintorescas manifestaciones. Las que con mayor frecuencia se mencionan son los tics motores y vocales, que se presentan como movimientos forzados y bruscos y extrañas vocalizaciones, como aclararse la garganta o gruñir. Los síntomas suelen aparecer durante la infancia temprana, alcanzan su auge hacia los 10-12 años de edad, y a menudo (pero no siempre) decaen a partir de entonces. A la mayoría de los afectados por el síndrome de Tourette (entre el 50 % y el 90 %, dependiendo de la fuente, y aproximadamente el 60 % según los Centros para el Control de Enfermedades) se les diagnostica también TDAH. Esto dio lugar a la idea de que existía una elevada «comorbidez» entre el síndrome de Tourette y el TDAH, una idea que me ha costado bastante aceptar durante algún tiempo[32].

La raíz de mi persistente escepticismo tenía que ver con la propia definición y criterios de diagnóstico del síndrome de Tourette. Estos criterios se basan exclusivamente en la presencia de tics motores y vocales y dejan de lado un síntoma de otro tipo que es común en las personas afectadas por este síndrome: los comportamientos exploratorios inusuales y excesivos. La dualidad de la sintomatología del

síndrome de Tourette fue descrita con elocuencia en el artículo de Oliver Sacks titulado «El síndrome de Tourette y la creatividad», que apareció en *The British Medical Journal* en 1992[33]. Sacks distinguía entre la forma «estereotípica» del síndrome de Tourette, en la que predominaban los tics, y la forma «fantasmagórica», dominada por comportamientos exploratorios excesivos. Si Sacks tenía razón, como los síntomas «fantasmagóricos» nunca llegaron a formar parte de la definición formal y habitualmente utilizada del síndrome de Tourette, ¡esta definición solo captaba la mitad de los casos del trastorno y dejaba fuera la otra mitad! Como la definición era demasiado estrecha, no conseguía dar cuenta del abanico completo de las manifestaciones que podía presentar el trastorno, y, en la práctica, la partía por en medio e ignoraba una de las mitades.

Cuando se la considera como parte del edificio de tres pisos, la dualidad de los síntomas de Tourette cobra sentido. Del mismo modo que la enfermedad de Parkinson casi nunca es perfectamente simétrica, tampoco lo es el síndrome de Tourette. En cada caso concreto, la disfunción frontoestriatal puede ser más grave en el lado izquierdo, lo que produce una preponderancia de tics, una forma de perseveración; o (tal vez con menor frecuencia) en el derecho, lo que provoca la preponderancia de los comportamientos exploratorios excesivos. Dada la estrechez de los criterios diagnósticos, solo el primero se diagnosticará como síndrome de Tourette, mientras que el segundo se diagnosticará, erróneamente, como algún otro trastorno.

Esto nos lleva a la interesante posibilidad de que, del mismo modo que hay síndrome hemiparkinsoniano derecho e izquierdo, haya síndrome «hemi-Tourette» derecho e izquierdo, y de que, por culpa de unos criterios diagnósticos injustificadamente estrechos, solo uno de ellos se reconozca como síndrome de Tourette, mientras el otro se diagnostica equivocadamente como alguna otra cosa, a menudo como TDAH, en no poca medida a causa de la irreflexiva ligereza, a menudo rayana en la falta de ética, con la que se propina este diagnóstico en nuestra cultura clínica[34].

Para acabar de confundir las cosas, el «comportamiento exploratorio excesivo» no se reconoce como una categoría diagnóstica diferenciada en ninguno de los sistemas diagnósticos que se utilizan habitualmente. En consecuencia, como a menudo los clínicos se sienten obligados a encajar toda presentación clínica en una categoría diagnóstica «reconocida», un síntoma desatendido como el comportamiento exploratorio excesivo se encaja en alguna de las casillas «oficialmente sancionadas», tanto si pertenece a ella como si no. Por desgracia, «sancionada» no equivale a «precisa», de modo que a las personas con una forma del síndrome de Tourette dominado por el comportamiento exploratorio se les acaba diagnosticando equivocadamente TDAH o algún otro trastorno.

En realidad, el comportamiento exploratorio excesivo y la hiperactividad son muy distintos. El comportamiento exploratorio es inducido por estímulos ambientales casuales, a menudo aleatorios, mientras que la hiperactividad es una actividad motora excesiva que no se dirige necesariamente a nada en particular. Así pues, pese a que la distinción entre comportamiento exploratorio excesivo y la hiperactividad es conceptualmente importante, con demasiada frecuencia se ignora. Esta confusión es también un resultado de la balcanización. El comportamiento exploratorio excesivo es bien conocido entre los neuropsicólogos y los neurólogos del comportamiento bajo los nombres de «comportamiento dependiente de campo» y «comportamiento de utilización»[35]. Sin embargo, no se conoce tan bien, ni de lejos, en los círculos clínicos que se ocupan del síndrome de Tourette o del TDAH. Existen muchas escalas diagnósticas para la hiperactividad o los tics, pero ninguna para los comportamientos exploratorios excesivos[36].

Una vez se clarifica y explica la diferencia conceptual entre la hiperactividad y el comportamiento exploratorio excesivo, resulta fácil de reconocer para el ojo clínico experimentado, cobra sentido en el marco de la experiencia clínica personal y, en retrospectiva, resulta evidente, lo cual es señal segura de que la distinción es real, relevante y capta aspectos importantes de la realidad clínica. Aunque peor descritos que los tics, los comportamientos exploratorios excesivos pueden ser bastante extremos y opresivos. Las personas afectadas por el síndrome

de Tourette sienten a veces la necesidad irresistible de tocar objetos al azar de su entorno, aunque ello pueda hacerles daño, como cuando agarran una bombilla encendida; de tocar a extraños, aunque al hacerlo violen convenciones sociales y se expongan a consecuencias desagradables, incluida la posibilidad de ser arrestados por la policía; de olfatear, lamer e incluso tragar objetos no comestibles solo para experimentar su gusto y descubrir la sensación que producen en el paladar, y así otros impulsos. También pueden sentir la necesidad irrefrenable de imitar los movimientos de otras personas (por ejemplo, las peculiaridades de su andar o su postura), un comportamiento conocido como ecopraxia; o sus vocalizaciones (por ejemplo, imitar el acento o el tono de voz de otra persona), lo cual se conoce como ecolalia. Aunque estas dos formas de propensión a imitar se suelen clasificar como tics o hiperactividad, en realidad no son ni lo uno ni lo otro, sino comportamientos exploratorios. Los pacientes también relatan una peculiar dinámica que implica comportamientos exploratorios y tics: lo que comienza siendo una ecopraxia o ecolalia imitativa se convierte de manera gradual en un tic motor repetitivo o un tic vocal. Esto es sorprendentemente parecido a la dinámica que se establece entre el comportamiento dependiente de campo y la perseveración que se observa a menudo en pacientes con daños prefrontales bilaterales (un ejemplo de esta dinámica en un paciente con lesión bilateral de los lóbulos frontales se puede encontrar en el capítulo 7) [37].

Puede incluso existir una categoría entera de pacientes en quienes los comportamientos exploratorios excesivos dominan su perfil clínico, sin el acompañamiento de tics, a causa de la fuerte lateralización derecha de su disfunción frontoestriatal. A estos pacientes no se les diagnostica nunca el síndrome de Tourette, sino que lo más probable es que se los diagnostique erróneamente como casos de TDAH, pese a que el mecanismo subyacente es el del síndrome de Tourette, solo que con una expresión neuroanatómica lateralizada en la derecha, no en la izquierda.

Todo esto parecía tener sentido, pero había un problema con mi idea de los «síndromes de hemi-Tourette»: ¿cómo se pueden reconocer en los pacientes? En la enfermedad de Parkinson, no se necesita ningún equipo

sofisticado para darse cuenta de si los temblores son más pronunciados en la mano derecha o en la izquierda. Sin embargo, en el síndrome de Tourette no se dan síntomas lateralizados tan claros.

Cuando hace algunos años mencioné mi idea sobre el «síndrome de hemi-Tourette» durante una conferencia en Oslo, mis anfitriones noruegos me sugirieron que estudiáramos juntos un conjunto de datos que habían adquirido sobre una muestra de niños y adolescentes con síndrome de Tourette. Una forma de diseñar un índice de los síndromes «hemi-Tourette» consistía en comparar la velocidad motora en las dos manos. En los individuos diestros, la mano derecha suele ser algo más rápida (no mucho) que la izquierda. La disparidad en la dirección opuesta (una mano izquierda más rápida que la derecha) sugiere una disfunción hemisférica izquierda, y una gran disparidad a favor de la mano derecha sugiere una disfunción hemisférica derecha. Este es precisamente el análisis que dos neuropsicólogos noruegos, Kjell Tore Hovik y Merete Øie, y yo mismo, realizamos sobre una muestra de niños (de sexo masculino) con síndrome de Tourette que habían sido estudiados en la Universidad de Oslo. Del estudio surgieron tres grupos: hemi-Tourette derecho (en los que la mano izquierda era más rápida que la derecha, supuestamente a causa de una disfunción frontoestriatal fundamentalmente del lado izquierdo); hemi-Tourette izquierdo (en el que la mano derecha era anormalmente más rápida que la izquierda, supuestamente a causa de una disfunción frontoestriatal fundamentalmente del lado derecho); y un patrón simétrico (que supuestamente reflejaba más o menos la misma gravedad de la disfunción frontoestriatal en ambos lados). Cuando examinamos los diagnósticos que habían recibido los niños en evaluaciones previas, los datos hablaron por sí mismos: la mayoría de los casos de «hemi-Tourette derecho» habían recibido el diagnóstico de síndrome de Tourette puro y simple; todos los que tenían «hemi-Tourette izquierdo» se habían diagnosticado con el síndrome de Tourette «comórbido» con algún otro trastorno, sobre todo TDAH; y los casos «simétricos» estaban divididos a partes iguales entre los dos diagnósticos[38].

La incapacidad para reconocer el comportamiento exploratorio excesivo como un síntoma diferenciado, junto a unos criterios diagnósticos del síndrome de Tourette que son demasiado estrechos, podrían explicar también la prevalencia tan dispar del síndrome de Tourette en niños y niñas. Según los Centros para el Control de Enfermedades, este diagnóstico se da de tres a cinco veces más a menudo en niños que en niñas[39]. ¿A qué se debe eso? Una respuesta posible nos la ofrecen los estudios de las diferencias entre sexos en los efectos de las lesiones frontales lateralizadas. Mientras que en el sexo masculino las lesiones prefrontales en el lado derecho y en el izquierdo dan como resultado síntomas claramente distintos (perseveración y dependencia de campo, respectivamente), en el sexo femenino las lesiones prefrontales lateralizadas tienen como resultado un comportamiento de dependencia de campo, no de perseveración, con independencia del lado afectado[40]. Si tomamos como guía nuestro edificio de tres pisos, ¿es posible que mientras en los chicos la disregulación frontoestriatal izquierda y derecha tienen como resultado, respectivamente, tics y comportamientos exploratorios, en las chicas ambos produzcan comportamientos exploratorios excesivos? De ser así, el subdiagnóstico del síndrome de Tourette sería mucho más frecuente en niñas que en niños.

Las implicaciones de estas reflexiones son bastante provocativas, pues sugieren que muchos casos (mal) diagnosticados como hiperactividad son en realidad casos de comportamiento exploratorio excesivo, de una atracción anormal hacia la novedad que ya no cumple ningún propósito constructivo y es del todo contraproducente. Esto, a su vez, implica que muchos casos diagnosticados como TDAH son en realidad diagnósticos erróneos, y en realidad son casos de síndrome de Tourette. No es raro que un niño al que se prescriben fármacos estimulantes a raíz de un diagnóstico de TDAH desarrolle tics. Según algunas fuentes, esto se produce en hasta un 25 % de los niños y adolescentes que reciben el diagnóstico, aunque se ha puesto en duda la naturaleza causal de esta asociación[41]. Podría tratarse de casos de síndrome de Tourette mal diagnosticados como TDAH, y podrían no ser más que la punta del iceberg. Esta cuestión adquiere una especial

relevancia por la irreflexiva facilidad, a menudo desencaminada, con la que en nuestra sociedad se diagnostica TDAH y se recetan fármacos estimulantes. El comportamiento exploratorio excesivo, en el que la atracción por la novedad se descontrola y se torna contraproducente, es un trastorno poco reconocido que necesita de más investigación, la cual cabe esperar que traiga consigo mejoras en su diagnóstico y tratamiento.

7

La divagación dirigida y la inefable chispa creativa

NO ES NINGUNA MONERÍA

¿Cómo se las arreglan múltiples estructuras cerebrales para impulsar la innovación y la creatividad en los humanos? Ya hemos acordado que todo intento de atribuir este proceso a una sola parte del cerebro es un ejercicio vano. Tampoco parece probable que pueda reducirse a una única operación mental. La exploración de la naturaleza de la creatividad tiene una historia mucho más larga que la investigación sistemática sobre sus atributos cognitivos y sus mecanismos cerebrales. Mucho antes de que la creatividad se convirtiera en un tema de investigación formal de moda entre psicólogos y neurocientíficos, los esquivos mecanismos del proceso creativo ya habían intrigado a muchos de sus practicantes más destacados. Wolfgang Amadeus Mozart, Albert Einstein, Henri Poincaré, Jacques Hadamar y varios otros intentaron captar su efervescente dinámica con la ayuda de la introspección, comunicando sus observaciones en ensayos y correspondencia privada. En este mismo capítulo, haremos referencia a algunos de sus escritos, recopilados en un volumen editado por Brewster Ghiselin[1].

Hace ya mucho tiempo que quedó claro que, como mínimo, es importante distinguir entre generar ideas y seleccionar entre ellas, y parecía lógico que la primera de estas tareas precediera a la segunda. Las dos partes del proceso aparecían envueltas en misterio, probablemente

más la generación que la selección. La selectividad de los procesos cognitivos se estudia desde hace mucho tiempo, pero el modo en que se genera contenido nuevo no se ha investigado tanto, y, además, esta investigación no estaba anclada en ninguna tradición psicológica cognitiva establecida. Por eso no debe extrañar que se buscase un paradigma en otra disciplina, la biología evolutiva. Introducido inicialmente en la investigación sobre la creatividad por Donald Campbell (1916-1996), este paradigma recibe a veces el nombre de *variación ciega y retención selectiva*, o VCRS[2]. De acuerdo con esta idea, el contenido nuevo se genera esencialmente al azar, a lo que sigue un proceso de selección que separa el trigo de la paja: una pequeña fracción del contenido generado al azar se juzga bueno y se retiene, mientras que la mayor parte del contenido generado aleatoriamente se descarta.

Imaginar que el proceso creativo comienza con una generación de ideas al azar, sin restricciones, resultaba atractivo sobre todo porque liberaba a los científicos cognitivos del fenomenal reto de averiguar qué ocurría realmente, lo cual, hasta cierto punto, era una forma de escurrir el bulto que se aceptaba por pura exasperación. Sin embargo, cuando se examina más a fondo, la idea de la VCRS topa con varios problemas.

El primero es combinatorio. Como el número de ideas generadas «a ciegas» es prácticamente infinito, generar algo útil puede llevar demasiado tiempo como para que este mecanismo resulte realista. A principios del siglo XX, el matemático francés Émile Borel enunció el «teorema del mono infinito», que parte de la idea de un mono (o un conjunto de monos) sentado frente a una máquina de escribir cuyas teclas pulsa al azar. Dado un tiempo infinito, tarde o temprano (más tarde que temprano) el mono producirá toda una obra de Shakespeare, y junto a ella muchas otras producciones muchísimo menos elevadas. Pero en la realidad la vida del mono es limitada, como lo es la vida de un humano científico, escritor o artista creativo, así que ¡buena suerte! Es casi seguro que un mono mortal irá al cielo de los monos mucho antes de escribir un solo soneto, y parejo destino sufriría un humano mortal que generase ideas al azar.

La idea de que en el centro del proceso creativo hay una «divagación mental» lleva tiempo con nosotros, pero si las computadoras potentes realizan bien la tarea de revisar todas las opciones posibles y seleccionar de entre ellas las que satisfacen ciertos criterios, los seres humanos no. Tal como nos enseñan las investigaciones de Allen Newell y Herbert Simon con jugadores de ajedrez, para ser efectiva, la toma de decisiones humana tiene que estar restringida desde el principio, e incluso los procesos de ensayo y error tienen que ser un tanto selectivos[3]. En términos puramente informacionales, pues, parece que, para ser manejable por los seres humanos, la divagación mental en el centro del proceso creativo tiene que hallarse de algún modo restringida desde el inicio. ¡La toma de decisiones no es ninguna monería!

El otro problema tiene que ver con la realidad del proceso creativo. La grandes ideas de cualquier campo no se alcanzan gracias a ingenuos quijotes, sin interés ni conocimiento previo sobre la disciplina, que abandonados al ocio generan en su mente mucha paja hasta que, con suerte, dan con unos pocos granos de trigo. En absoluto, en la vida real las ideas creativas y rompedoras suelen ser la culminación de un esfuerzo intelectual o artístico sostenido durante un largo período de tiempo. Las ideas creativas suelen surgir en personas que llevan años o incluso décadas dedicadas con sumo esfuerzo a la disciplina de su elección, en la que son maestras consumadas. La habilidad para generar lo nuevo suele estar arraigada en una excelente comprensión de lo viejo, aunque acabe por rechazarlo. Esto, por definición, implica que sobre el proceso creativo se imponen algunas restricciones.

En este capítulo introduciré una idea nueva (de eso hablamos, ¿no?), la de un proceso creativo y una maquinaria cerebral en los que se entrelazan componentes restringidos y subrestringidos, de tal modo que los primeros preceden a los segundos en lugar de seguirlos. Nos referiremos a este proceso como «*divagación dirigida*».

LOS LÓBULOS FRONTALES EXTREMOS

Biestabilidad

Para entender cómo aborda el cerebro la novedad y cómo alcanza una solución creativa, consideremos el concepto de *biestabilidad*, que los neurocientíficos han tomado prestado de los matemáticos y sigue ejerciendo una gran influencia en nuestra manera de concebir el cerebro. Aquí invocamos el concepto de biestabilidad solamente como metáfora, y es útil en ese sentido.

La biestabilidad es un fenómeno fundamental tanto en el mundo natural como en dispositivos diseñados, por lo que el concepto se usa ampliamente en física, química y biología. Decimos que un sistema es *biestable* si su comportamiento se caracteriza por transiciones entre dos estados. Los sistemas electrónicos que almacenan información binaria se basan en la biestabilidad. Un muelle que controla la posición de la punta retractable de un bolígrafo también es biestable. En biología, la diferenciación celular es un proceso biestable (figura 7.1).

Ciertas interacciones esenciales entre la corteza prefrontal y el resto del cerebro se caracterizan también por una relación que, aunque probablemente no presente una fuerte biestabilidad en un sentido literal, en términos funcionales se aproxima a la biestabilidad. Introducir este concepto en nuestro discurso es algo más que una floritura semántica, pues aporta claridad conceptual y puede resultar especialmente útil para guiar el diseño de modelos computacionales de la interacción entre los lóbulos frontales y el resto del cerebro.

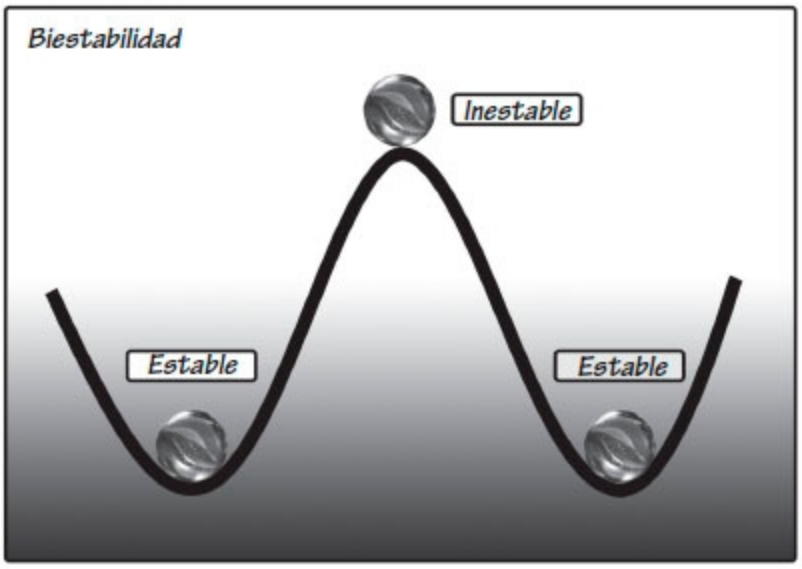


Figura 7.1. Representación esquemática de un sistema biestable. El sistema gravita hacia uno de los dos estados estables.

Hiperfrontalidad e hipofrontalidad

Durante la vigilia, y especialmente durante los estados mentales activos, la corteza prefrontal está fisiológicamente más activa que el resto de la corteza durante la mayor parte del tiempo en las personas normales. Este fenómeno recibe el nombre de *hiperfrontalidad*, y se ha demostrado mediante diversas técnicas de neuroimagen, como TEP para medir niveles del metabolismo de glucosa, y electroencefalografía (EEG) para medir la actividad eléctrica en distintas partes del cerebro. Ya nos encontramos con la hiperfrontalidad en el capítulo 4, cuando hablamos de la red ejecutiva central y del estado cerebral «orientado a tareas». En ciertos estados, sin embargo, el nivel de activación frontal disminuye y la relación entre los niveles de actividad fisiológica de la corteza prefrontal y el resto de la corteza puede llegar a invertirse, un estado que se conoce como *hipofrontalidad*. En una persona sana, el cerebro se encuentra en estado de hipofrontalidad durante buena parte del sueño, bajo hipnosis y en estados de trance. Ciertos trastornos psiquiátricos, como la

esquizofrenia y la depresión grave, también se caracterizan por hipofrontalidad. Y a menudo el cerebro es hipofrontal cuando la corteza prefrontal se ve afectada por una lesión traumática o por atrofia debida a demencia. Comentaremos algunos de estos trastornos en este mismo capítulo.

Incluso en personas sanas, tanto la hiperfrontalidad como la hipofrontalidad pueden adoptar formas extremas. La resolución de problemas en situaciones de alto riesgo o con restricciones de tiempo se asocia con una hiperfrontalidad extrema. En contraste con ello, los estados de meditación se asocian con hipofrontalidad[4].

En las secciones que siguen consideraremos un ejemplo de cada uno de estos dos estados. Aunque en ninguno de los dos casos se registraron los estados cerebrales, estoy convencido de que ambos episodios estaban asociados con niveles extremos (pero opuestos) de actividad de los lóbulos frontales. Y la ventaja es que no se trata de episodios artificiales, preparados en experimentos de laboratorio, sino acontecimientos de una vida real: la mía. En uno de ellos (hipofrontalidad), fui observador perplejo pero pasivo; en la segunda (hiperfrontalidad), fui el desafortunado actor que, por suerte, vivió para contarlo.

Hipofrontalidad: trance profundo en Indonesia

Como clínico, he conocido los efectos de la hipofrontalidad en pacientes en numerosas ocasiones, pero mi encuentro más asombroso con la hipofrontalidad se produjo hace muchos años durante un viaje. Como adicción, la mía era relativamente benigna: era (todavía soy) adicto al sureste asiático, en particular a Indonesia. He cruzado este interminable archipiélago a pie, en coche, en barco y en avión. He presenciado complejas procesiones hindúes en la isla de Bali, y las ceremonias sacrificiales de Tana Toraja, en la isla de Célebes. He pasado una noche en compañía de un dragón que merodeaba entre los pilotes que sostenían la casa de invitados del guarda forestal en la que dormí en la isla de Komodo. Y en Java Oriental conocí una misteriosa danza.

Acababa de salir de un encuentro en la Universidad Gadjah Mada, en la antigua ciudad real de Yogyakarta, y decidí darme el gusto de pasar el resto del día como turista. Mientras atravesaba un pueblo sin nada destacable, paré mi todoterreno para ver qué hacía una muchedumbre congregada a un lado de la carretera, sin más intención que quedarme cinco o diez minutos. Acabé pasando allí el resto del día, fascinado por lo que presencié.

En un círculo formado por los lugareños, un grupo de jóvenes montaban lo que parecían caballos de madera planos (más tarde descubrí que estaban tejidos con ratán), como los que usan los niños como juguete. Una vez montados, comenzaban a «cabalgar» sobre ellos de un modo cada vez más mecánico, como robots, envueltos en los sonidos rítmicos y cada vez más intensos propios del *gamelán* (agrupación musical tradicional indonesia de instrumentos de percusión), que emergían de entre la gente allí congregada. Del grupo salieron unos pocos hombres de mayor edad que comenzaron a mover, cual péndulos, unos objetos brillantes ante la mirada de los jinetes. A medida que aumentaba el ritmo del gamelán y de los péndulos, los jóvenes que montaban sobre los caballos de ratán también incrementaban su ritmo. Su mirada se tornaba vidriosa y sus posturas cada vez más rígidas y mecánicas. Estaban entrando en un estado de trance.

A medida que su trance se hacía más profundo, las acciones de los jóvenes se iban tornando más salvajes, por decirlo de algún modo. Saltaban de sus caballos y corrían a ascender los lisos troncos de las palmeras de los alrededores de un modo que desafiaba las leyes de la gravedad, abrían los cocos con sus propios dientes y descendían con aquella misma agilidad que parecía ir en contra de las leyes físicas. Cogían trozos de cristal que de algún modo habían aparecido allí y los masticaban sin sufrir ninguna herida apreciable. Y comían fuego. Luego montaban de nuevo en sus caballos y proseguían con su salvaje cabalgada. Había leído sobre hazañas parecidas realizadas por faquires en la India, pero siempre había pensado que eran un producto de la licencia poética o trucos representados ante los turistas. Ahora lo veía con mis propios ojos. Lo más destacable era que los protagonistas claramente no

eran actores «profesionales», ni el acto una representación para turistas. Eran jóvenes del pueblo vestidos de lo más normal, sin ningún exotismo, con camisetas y vaqueros, y yo era el único turista del grupo.

Los jóvenes jinetes se iban agotando visiblemente, pero parecían incapaces de abandonar sus cabalgaduras. La intensidad con la que los observaban unos pocos hombres de mayor edad de entre la multitud sugería que se estaban acercando a un estado peligroso (no estoy seguro de la naturaleza del peligro que temían, pero sospecho que el estado de trance, con su actividad cerebral eléctrica hipersincronizada, combinado con los movimientos rítmicos de los brillantes péndulos y el redoble rítmico del gamelán, podían inducir ataques epilépticos en los jóvenes jinetes). De repente, como si respondieran a un cambio brusco en el comportamiento de los jóvenes, los mayores entraron en el círculo y sacaron de su montura a uno de los jinetes, luego a otro, que aun sin su caballo seguían sacudiendo sus cuerpos de forma rítmica y con una rigidez casi catatónica, incapaces de romper su trance. Los dos hombres mayores alzaron al jinete, rígido como una tabla, por sus pies y hombros, y un tercero saltó en medio de su torso, rompiendo la rigidez, literalmente doblegándolo. Inestable sobre sus pies, con los ojos vidriosos, el joven se tambaleó en dirección a la aldea, desapareció de la vista, y regresó a la media hora, todavía inestable, para unirse a la multitud de espectadores. Entre tanto, varios jóvenes iban saliendo de entre el grupo para unirse al círculo y montar los caballos que quedaban libres, y la danza continuaba. Yo regresé a mi hotel en Yogyakarta intentado digerir lo que acababa de presenciar.

El misterioso evento del que había sido testigo se conoce como *jathilan* (danza de los caballos). Se trata de un baile tradicional de Java Oriental lleno de simbolismo e implicaciones de poderes místicos. Requiere la inmersión en un trance profundo, del tipo que se suele asociar a la hipofrontalidad temporal («transitoria»). Más recientemente he presenciado una danza parecida en la isla de Bali, donde se conoce como *sanghyang jaran*. En este caso, un solo individuo, inmerso en un estado de trance bajo el canto rítmico de una suerte de coro, pisaba descalzo una hoguera con movimientos mecánicos, la postura rígida y la

expresión facial remota y contorsionada. También este debía de encontrarse en un estado de hipofrontalidad transitoria (figura 7.2)[5].

Hiperfrontalidad: a punto de ahogarme en Italia

En el presunto episodio de hiperfrontalidad, yo mismo fui el desafortunado protagonista, a mis veintisiete años de edad. Tras emigrar desde la Unión Soviética, pasé unos pocos meses en Roma de camino a Estados Unidos. Mediaba el mes de julio, en la ciudad hacía un calor insoportable y un chapuzón en el Mediterráneo parecía una excelente idea. Tomé el tren suburbano hasta la ciudad costera de Ostia, fui a la playa y me metí directamente en el agua. Al momento me di cuenta de que una fuerte corriente de resaca me arrastraba. Había crecido a orillas del mar Báltico y era buen nadador, pero esta corriente era distinta de todo lo que había experimentado antes, y mis esfuerzos por resistirme a ella solo conseguían que me revolcase impotente. Mientras era arrastrado mar adentro y, según me parecía, hacia el fondo, por mi mente pasó un pensamiento claro, prácticamente articulado en palabras, frío y desapegado: «Lo que me está pasando es que me estoy ahogando, y solo me quedan unos segundos para evitarlo». No sentí ninguna emoción. Tenía una sensación de desapego rayana en la despersonalización, pero también la impresión de estar intensamente concentrado. Entonces me vino a la cabeza una idea como de la nada, algo que debía haber leído en algún lugar mucho tiempo antes: que en esta situación no hay que intentar mantenerse en la superficie del agua sino todo lo contrario, sumergirse tan profundamente como uno pueda y bucear hacia la orilla. Eso fue lo que hice, y al poco tiempo la fuerza de las olas me lanzaba contra la playa de piedras. Una vez seguro en tierra, miré a mi alrededor. La playa estaba repleta de gente que tomaba el sol, pero no había nadie en el agua; la gente del lugar debía de saber que aquel lugar era traicionero. No tengo la menor idea de por qué conocía la maniobra que posiblemente me había salvado la vida, ni siquiera estoy seguro de que hubiera leído nada por el estilo, y quizá todo fuera pura improvisación, pero aquí estoy para contarlo. Mirando atrás, no consigo recordar otro

momento en mi vida caracterizado por una concentración mental tan intensa condensada en un mero instante, y al mismo tiempo tan despersonalizada y despojada de todo sentimiento. Estoy convencido de que si se hubiera tomado una imagen de mi cerebro en aquel momento, se habría observado un estado de extrema hiperfrontalidad.

Figura 7.2. Representación de la danza *sanghyang jaran* en Bali.
Fotografía del autor.

En estos dos ejemplos, los estados transitorios de presunta hiperfrontalidad e hipofrontalidad fueron desencadenados por circunstancias inusuales en personas por lo demás normales y sanas. En cambio, la hiperfrontalidad e hipofrontalidad persistentes indican un trastorno cerebral. La hiperfrontalidad patológica se observa en ciertas formas de esquizofrenia cuando se enfrenta al paciente a una tarea cognitiva[6]. También se ha visto en jugadores de la liga nacional de fútbol americano (NFL) retirados con un historial de múltiples lesiones

craneales, cuando realizan tareas diseñadas para implicar a los lóbulos frontales[7]. En estos casos, la hiperfrontalidad probablemente refleja una carga superior a la normal sobre los lóbulos frontales al abordar tareas que no suponen ningún reto o estrés para personas sanas. También se ha referido en personas bajo los efectos de ciertas sustancias alucinógenas, aunque en las adicciones es más común la hipofrontalidad[8].

La hipofrontalidad patológica es mucho más frecuente que la hiperfrontalidad patológica. Como hemos comentado, se ha documentado en numerosos trastornos neuropsicológicos y neurológicos y puede presentarse en varias formas[9]. Más adelante en este capítulo comentaremos el caso de un joven que sufrió un trauma encefálico grave. El déficit cognitivo evidente en su desempeño en tareas de memoria era consecuencia de la pérdida de gran parte de la corteza prefrontal, lo que constituye un caso extremo de hipofrontalidad.

Biestabilidad dorsolateral: inspiración y perspiración

Hasta el momento, hemos discutido la hiperfrontalidad y la hipofrontalidad como si se tratase de fenómenos globales. Sin embargo, es improbable que cualquiera de los dos afecte de igual manera a todo el lóbulo frontal. Ya sabemos que los lóbulos frontales están formados por distintas partes que se diferencian tanto anatómica como funcionalmente, y tanto la hiperfrontalidad como la hipofrontalidad pueden presentarse en formas más específicas, y menos extremas, en distintas partes de los lóbulos frontales. El área del lóbulo frontal que nos interesa aquí es el aspecto lateral de la corteza prefrontal. Como ya hemos comentado, está formada por los componentes dorsolateral y ventrolateral, pero a efectos de esta discusión los consideraremos conjuntamente bajo el nombre de «corteza prefrontal dorsolateral» o CPFDL. La CPFDL también puede funcionar de manera que hiperfrontalidad e hipofrontalidad aparecen entretejidas de un modo que se acerca a la biestabilidad, algo que aquí nos interesa en particular.

Esto nos lleva al eterno dilema de la «inspiración» frente a la «perspiración». ¿Cuáles son sus papeles respectivos en el proceso creativo? La cuestión se ha debatido durante años, en serio y en broma, en la literatura científica y en los medios de comunicación populares, sin llegar a resolverla. Las opiniones difieren y a menudo gravitan hacia los extremos. ¿Qué nos puede llevar al Carnegie Hall, el proverbial «95 % de perspiración y el 5 % de inspiración» o «práctica, práctica, práctica»? ¿O acaso es la creatividad un don divino, una bendición que reciben injustamente unos pocos afortunados sin ningún esfuerzo de su parte? Y, en cualquier caso, ¿cuál es el significado neurobiológico de «inspiración» y «perspiración»?

En lo que sigue, argumentaré que para encender la chispa creativa son necesarias tanto la perspiración como la inspiración por medio de una secuencia de acontecimientos que tienen lugar en el cerebro y culminan en lo que llamamos «divagación dirigida». Examinaremos un posible escenario de cómo se produce esta «divagación dirigida». Veremos cómo este proceso está guiado por una compleja danza entre la hiperfrontalidad y la hipofrontalidad. El papel de la hiperfrontalidad en todo proceso de pensamiento vigoroso es casi obvio, y el esfuerzo sostenido y dirigido a un objetivo, al que de manera casual nos referimos como «perspiración», probablemente requiera que el cerebro se encuentre en un estado hiperfrontal. Para decirlo de forma más sucinta, la perspiración implica hiperfrontalidad. Sin embargo, el papel de la hipofrontalidad es menos evidente, y la sola sugerencia de que desempeña un papel constructivo en la cognición puede parecer que va en contra de lo que nos dicta la intuición. No obstante, se ha propuesto que la hipofrontalidad temporal («transitoria») desempeña un papel importante en el proceso creativo[10], y que, en términos más amplios, también lo desempeña la disminución general y temporal de la excitación (*arousal*), mediada por unos niveles reducidos del neurotransmisor noradrenalina[11].

Por sí mismos, los estados hipofrontales o de subactivación general del cerebro no suelen producir nada útil. Solo se tornan productivos como parte de esa danza neuronal que involucra también la

hiperfrontalidad transitoria y varios otros eventos neurales. Esto significa que el proceso creativo requiere de un amplio rango de modulación de la excitación frontal por parte de los sistemas dopaminérgico y noradrenérgico del tronco cerebral ventral (el área tegmental central y el locus cerúleo). Una mayor capacidad para realizar esa modulación podría ser un ingrediente importante de la mente creativa, y las diferencias individuales en el rango o amplitud de esa modulación probablemente estén relacionadas con la capacidad para la innovación creativa, que se vería beneficiada por unos rangos más amplios. De hecho, de acuerdo con una convincente revisión de Allison Kaufman y colaboradores, los estudios de EEG llevan a pensar que durante la resolución de tareas de pensamiento divergente, que a decir de muchos científicos requiere creatividad, y que se usan habitualmente en la investigación sobre esta, se presenta tanto un nivel de activación cortical basal por encima de lo normal como un nivel bajo de excitación cerebral (*arousal*) bajo (actividad incrementada de ondas alfa)[12].

EL MAESTRO DE LEGO® EN ACCIÓN: LA PERSPIRACIÓN CREATIVA

En los estados *hiperfrontales*, la corteza prefrontal dorsolateral trabaja a destajo. Manipula representaciones mentales almacenadas en el cerebro como piezas de Lego, juntándolas en configuraciones nuevas por medio de un proceso de deliberación dirigido a un objetivo, algunos aspectos del cual ya hemos comentado en el capítulo 4 y no repetiremos aquí.

El proceso de deliberación por el que la corteza prefrontal dorsolateral accede a la información guardada en otras partes del cerebro y la manipula se ve reflejado en la red ejecutiva central (como ya hemos comentado en los capítulos 4 y 6), que se activa en nuestro cerebro cuando de manera deliberada y consciente nos esforzamos por resolver una tarea cognitiva concreta y bien articulada. Esta es la razón por la que esta red se conoce a veces como «orientada a tareas». Cuando los científicos examinaron la secuencia temporal de activación de distintos

componentes de la red, quedó claro que la activación dentro de esta red viene guiada por la corteza prefrontal[13]. ¡Hiperfrontalidad en acción!

Es mucho lo que logra la maquinaria sistemática orientada a objetivos de la corteza prefrontal para consumar el proceso creativo, pero no siempre lo logra. Sin embargo, incluso cuando esta búsqueda de soluciones dirigida a objetivos y guiada por la corteza prefrontal resulta insuficiente, en la mayoría de los casos es necesaria con objeto de preparar el terreno para la proverbial «chispa creativa».

El maestro de Lego® en reposo: ¿inspiración creativa? Todavía no

¿Qué ocurre cuando la corteza prefrontal dorsolateral se encuentra en un estado de hipofrontalidad, y qué dinámica se establece entre las redes de las que hemos hablado en anteriores capítulos? ¿Qué les ocurre a los circuitos corticales posteriores, que eran controlados por los lóbulos frontales cuando la red ejecutiva central estaba activa? Ni desaparecen ni quedan en reposo. Al contrario, en el escenario que estamos explorando aquí, lo que les ocurre a esas partes del cerebro durante la hipofrontalidad dorsolateral podría ser la clave del misterio del proceso creativo.

Cuando la red ejecutiva central deja de estar activa, la red neuronal por defecto puede activarse en su lugar (las dos redes están «anticorrelacionadas»: cuando una está activa, la otra no lo está), pero estas dos redes piensan pensamientos distintos e interactúan con circuitos distintos de la corteza posterior. Los circuitos posteriores (temporal, parietal y occipital), que estaban activados cuando también lo estaba la red ejecutiva central, ahora van a su aire, han dejado de estar dirigidos y supervisados por la corteza prefrontal, como unos músicos de orquesta sin director o unos empleados de empresa sin gerente. Toda activación que ahora se extienda por estas regiones estará guiada exclusivamente por su conectividad interna dentro de la corteza posterior, y no por un objetivo superpuesto o un plan de acción dictado por la corteza prefrontal. Podemos concebir estos procesos como

divagación mental no dirigida. Eso es probablemente lo que cualquier persona sana experimenta durante el sueño o en cualquier estado de ensoñación, ya sea en trance o bajo hipnosis. Los procesos que se desarrollan en la corteza posterior no supervisada por los lóbulos frontales se pueden entender mejor si se examinan los casos clínicos de patologías del lóbulo frontal. Veamos el caso de un joven paciente de mi consulta de hace muchos años que, a causa de una lesión craneal provocada por un accidente, tuvo que ser sometido a neurocirugía para eliminar bilateralmente buena parte de su corteza prefrontal alrededor de los polos frontales (figura 7.3).

Le pedí al paciente que escuchase una historia y que al momento la relatase de memoria mientras yo, sentado frente a él, grababa sus recuerdos en una cinta. La historia era una versión de una fábula atemporal, «La gallina de los huevos de oro», y decía así:

> Un hombre tenía una gallina que ponía huevos de oro. El hombre era avaricioso y quería más oro al momento, así que mató la gallina y la abrió esperando encontrar en su interior un montón de oro, pero no encontró nada.

Y esto es lo que recordó el paciente:

> Un hombre vivía con una gallina… o más bien la gallina era la propietaria de la gallina. Producía oro… el hombre… el propietario quería más oro al momento… así que cortó la gallina en pedazos pero no había oro. …Nada de nada… entonces corta más la gallina… nada de oro… la gallina sigue estado vacía. …Así que busca y busca. … Nada de oro… busca en derredor suyo… por todos los sitios. La búsqueda tiene lugar con una grabadora… buscan aquí y allá, nada nuevo. … Dejan encendida la grabadora, algo se retuerce en su interior… algunos números, 0, 2, 3, 0… así que graban esos números… no muchos …por eso se grabaron todos los otros números… aunque resultó que no eran muchos… así que se grabó todo. … Yo te lo diré… allí

solo había cinco o seis números. … (*Yo le pregunté: ¿Has acabado?*)… Aún no, pero terminaré pronto… así que allí solamente había cinco o seis números. … Cuando coges el bus n.º 5, llegas allí y haces transbordo al bus n.º 5 para llegar a Bauman Square, y vas más y más lejos, y entonces bajas. … Y de nuevo coges el bus n.º 5… (*El monólogo continúa*)[14].

Figura 7.3. Representación esquemática de la resección del polo frontal bilateral del paciente.

El recuerdo no es del todo malo al principio, lo que sugiere que la memoria del paciente no está demasiado deteriorada. Pero en lugar de terminar con el recuerdo en cuanto ha contado la esencia de la historia, la divagación mental continúa, el paciente es incapaz de ponerle fin, y comienza a filtrarse contenido superfluo. Un examen detenido de ese contenido superfluo sugiere que es de dos clases. De un lado está la incesante repetición del mismo contenido, palabras y frases pronunciadas una y otra vez. El paciente está «encallado» en el mismo contenido, incapaz de seguir adelante. Este fenómeno se conoce como *perseveración*, y es un síntoma común en las patologías del lóbulo frontal. De otro lado, el recuerdo del paciente se desvía hacia la descripción de objetos externos incidentales o de acontecimientos y asociaciones internas que no guardan la menor relación con la historia, pero que no dejan de introducirse en su relato, como la descripción de

mi grabadora y el bus n.º 5. Este fenómeno se denomina «comportamiento dependiente de campo», y es otro síntoma común de las patologías del lóbulo frontal. Se parece a las «asociaciones libres» que se observan en muchos pacientes de esquizofrenia. Este, naturalmente, es un trastorno muy distinto del trauma encefálico que sufrió mi paciente, pero también se ven afectados los lóbulos frontales, y eso es lo que explica el comportamiento dependiente de campo.

Mi paciente sufrió daños frontales bilaterales, y los dos tipos de síntomas (perseveración y comportamiento dependiente de campo) se hallaban entretejidos y entremezclados en la misma actuación. Pero ¿qué ocurre en el caso de una lesión frontal unilateral? Recordemos el edificio de tres pisos del capítulo 6. De acuerdo con nuestras investigaciones previas, cuando la lesión de los lóbulos frontales solo afecta a un hemisferio, los dos síntomas quedan disociados, al menos en los hombres: los daños en la corteza prefrontal izquierda producen perseveración, mientras que los daños en la corteza prefrontal derecha tienen como resultado un comportamiento dependiente de campo[15]. Además, nuestras investigaciones posteriores, que he descrito brevemente en el capítulo 6, muestran una disociación parecida en los trastornos subcorticales que, de manera indirecta, afecta a los lóbulos frontales de izquierda o derecha; es el caso de la enfermedad de Parkinson y del síndrome de Tourette[16].

Por lo que parece, pues, al quedar libres de la supervisión «adulta» de la CPFDL y abandonadas a su propia suerte, las dos cortezas posteriores (los lóbulos parietal, temporal y occipital de izquierda y derecha) yerran de formas muy distintas. ¿Qué nos dice esto sobre las diferencias en su organización?

Abandonado a su suerte, el hemisferio izquierdo acaba encallado en un proceso concreto y es incapaz de cambiar a otros procesos aunque la tarea cognitiva abordada requiera ese cambio. El hemisferio derecho, en cambio, abandonado a su suerte presenta un comportamiento muy distinto: salta de una cosa a otra, incapaz de «quedarse quieto», aunque sea eso justamente lo que requiere la tarea cognitiva que se está realizando. El hemisferio izquierdo se queda encallado; el derecho,

divaga. El hemisferio izquierdo es pesado; el derecho vuela. Ninguno de los dos puede realizar la tarea por sí solo, pero fallan de formas distintas y, en cierto sentido, opuestas.

El mundo pequeño del cerebro

¿Cuáles son las diferencias en la constitución neural de los dos hemisferios que los llevan a comportarse de forma tan distinta, incluso opuesta? Para entenderlo, necesitamos introducir el concepto de *red de mundo pequeño*. Como en el caso de la biestabilidad, los neurocientíficos también tomaron prestado de las matemáticas el concepto de red de mundo pequeño. Una red (o grafo) posee propiedades de mundo pequeño si su estructura combina dos propiedades aparentemente irreconciliables: tiene un alto grado de agregación (*clustering*) de nodos locales («cliquishness»), pero, al mismo tiempo, incluso los nodos que no son vecinos cercanos pueden conectarse a través de un número de pasos relativamente pequeño. En una red de mundo pequeño típica, algunos nodos funcionan como nodos centrales (*hubs*), sobre los que converge un número de conexiones especialmente elevado (figura 7.4) [17].

El concepto de red de mundo pequeño se desarrolló dentro de una disciplina de las matemáticas abstracta conocida como *teoría de grafos*, que provee potentes herramientas para describir un amplio abanico de sistemas diversos, desde una red de metro, donde las estaciones son los nodos, a un red social en la que las personas son los nodos (pensemos en los «seis grados de separación»), o una red neuronal que sirve de modelo del cerebro. En este último caso, los nodos son agrupaciones de neuronas, o incluso neuronas individuales, mientras que las aristas o enlaces son las sinapsis. Una de las ventajas que se derivan de las propiedades de mundo pequeño es un equilibrio óptimo entre el procesamiento local y la integración global dentro de la red[18], y se ha sugerido que estas propiedades surgen cuando las redes evolucionan para procesar información muy compleja, como es el caso de la evolución del cerebro de los mamíferos[19].

El desarrollo de técnicas de neuroimagen y de métodos computacionales complejos permitió importar la teoría de grafos a la neurociencia. A medida que crecía el convencimiento de que, para entender cómo funciona el cerebro, es necesario entender cómo están conectadas distintas partes del cerebro, se han desarrollado varios métodos innovadores de neuroimagen para estudiar la conectividad del cerebro con un grado de precisión y detalle antes inimaginable. Gracias a ello se han generado enormes y complejos conjuntos de datos que caracterizan los intrincados patrones de conectividad del cerebro, en tanto que la teoría de grafos proporciona los métodos matemáticos para desvelar los principios y regularidades que esconden esos datos.

Lo que se descubrió fue que dentro de la corteza muchos de los patrones de conectividad son redes de mundo pequeño, y que, además, la conectividad dentro del hemisferio derecho se ajusta a las redes de mundo pequeño en mayor grado que la conectividad dentro del hemisferio izquierdo. En contraste con ello, el hemisferio izquierdo está formado en mayor medida por apretados vecindarios locales con densas conexiones dentro de ellos y conexiones más escasas con otros vecindarios. Esta diferencia en los patrones de conectividad de los dos hemisferios parece ser bastante robusta. Además, no es exclusiva de los humanos, pues también se ha encontrado en primates no humanos, lo cual es coherente con la observación más amplia de las semejanzas entre especies en la naturaleza de las asimetrías hemisféricas, que ya establecimos en el capítulo 6 y examinaremos más a fondo en el capítulo 8[20].

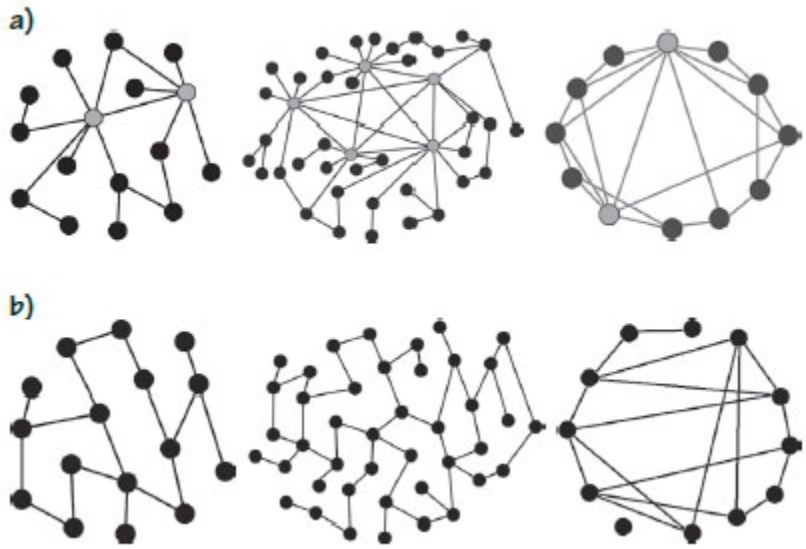


Figura 7.4. Redes de mundo pequeño frente a redes aleatorias. (a) Redes de mundo pequeño. (b) Redes aleatorias. En una red de mundo pequeño, hasta los nodos más alejados están conectados mediante un pequeño número de pasos. Los nodos de color gris claro son nodos centrales (*hubs*). Redes diseñadas por Anton Shapovalov.

En concordancia con la argumentación desarrollada en este libro, las sutiles diferencias entre los patrones de conectividad de los dos hemisferios parecen reflejar una adaptación computacional presente a lo largo de la evolución, más que una adaptación vinculada de manera exclusiva con la cognición humana. La ratio de materia gris a materia blanca también es mayor en el hemisferio izquierdo que en el derecho, lo que sugiere una mayor dependencia de conexiones a larga distancia en el hemisferio derecho que en el izquierdo[21]. Eso explicaría por qué, dejados a su suerte, los patrones de activación del hemisferio izquierdo con mayor probabilidad se quedan encallados en un vecindario neuronal local, lo que da como resultado la perseveración, mientras que en el hemisferio derecho los patrones de activación tienden a divagar por un territorio cortical más amplio.

DIVAGACIÓN MENTAL DIRIGIDA: LA CHISPA CREATIVA

¿Es la divagación mental un proceso útil o no pasa de ser una aberración neurológica? Como para tantas otras cosas de la vida, la respuesta es «sí y no». Hay buenas razones para creer que la divagación mental viene al rescate cuando el esfuerzo consciente y sistemático para resolver un problema se queda corto. *Pero para que eso ocurra, debe ir precedido por un período de deliberación «hiperfrontal» sobre el problema*.

«Quedarse corto» no significa fracaso absoluto. Los esfuerzos de deliberación desempeñan un papel importante en el proceso creativo en sinergia con la divagación mental. Es precisamente la combinación de estos dos procesos, uno de deliberación, guiado por los lóbulos frontales en estado «hiperfrontal», el otro espontáneo y «liberado» del control de los lóbulos frontales en estado hipofrontal, junto con el ir y venir entre estos dos procesos, lo que hace que el proceso creativo sea productivo y finalmente fructífero. Abandonada a su suerte, la divagación mental carece de dirección y no es productiva, como vemos en ciertas formas de esquizofrenia o a consecuencia de lesiones masivas de los lóbulos frontales, como la de mi paciente. La parte del proceso creativo dedicada al esfuerzo consciente guiado por los lóbulos frontales proporciona los puntos de anclaje para la divagación mental que le sigue, restringiéndola y dotándola de dirección.

Veamos un boceto hipotético de lo que todo esto significa en términos neurobiológicos. Un proceso creativo suele comenzar con una idea consciente de lo que se necesita conseguir, por vaga e imprecisa que sea. Como ya hemos establecido, las ideas innovadoras no se les suelen ocurrir a personas que no han reflexionado nunca sobre el tema en cuestión; aunque la experiencia subjetiva sea que la idea «surge de la nada», lo cierto es que se produce en una mente preparada. El nacimiento de una idea creativa comienza con un proceso guiado por el lóbulo frontal, que activa ciertas regiones dentro de la vasta red cortical, distribuida en buena medida por la corteza de asociación posterior (parietal, temporal, occipital). El cerebro se encuentra en un estado de hiperfrontalidad orientada a una tarea específica. Las regiones activadas probablemente sean bastante dispares dentro de la corteza, no integradas en un sola red fuertemente interconectada, y es de esta naturaleza dispar

de donde surge la impresión subjetiva de que, aunque uno tenga una vaga sensación de lo que quiere conseguir, no tiene una idea clara de cómo llegar hasta ahí. Pero estas regiones dispares activadas durante el estado hiperfrontal restringirán la «divagación mental» que se producirá después. A estas localizaciones dispares que se activan en la red durante el estado «hiperfrontal» las llamaremos *puntos de anclaje neural*.

Cuando la divagación mental hipofrontal entra en escena, casi en sentido literal «llena las lagunas». Encuentra vías entre aquellos puntos de anclaje, inicialmente desconectados, que se habían formado durante los estados «hiperfrontales». Es obvio que esto puede conseguirse más fácilmente en una red dotada de propiedades de mundo pequeño. Las regiones corticales que se encuentran a lo largo de estas vías se integran con los puntos de anclaje, los que antes, durante el estado hiperfrontal, habían quedado marcados, formando una única red interconectada que, con suerte, englobará la solución deseada para un problema científico o un anhelo artístico. La divagación mental es el producto de la actividad espontánea en vastas regiones corticales, pero en particular en la corteza de asociación posterior (parietal y temporal). Mientras tanto, los lóbulos prefrontales se encuentran o bien inactivos (como mientras dormimos, bajo hipnosis o en algún estado de disociación), o bien inactivos con respecto a la tarea en cuestión porque han dirigido su atención a otra tarea. Las personas creativas han mencionado a menudo, y no por casualidad, la experiencia de despertarse con la impresión de tener una idea rompedora que antes los había eludido. Sin embargo, para que la divagación mental logre dar con la solución, tiene que estar dirigida, y para que eso ocurra, el problema tiene que haberse tratado antes en un estado «hiperfrontal» de deliberacion. Es la combinación de los dos procesos lo que produce la *divagación mental dirigida*.

Como la divagación mental no es producto de un esfuerzo consciente y deliberado, la persona creativa no tiene conciencia de cómo se desarrolla. A medida que emerge esa sola red interconectada y la activación dentro de ella es todavía débil y fugaz, se tiene la impresión de estar «al borde» de la solución, sin saber conscientemente cómo será. Cuando la red acaba por cuajar y su activación alcanza cierto nivel de

intensidad y duración, la solución se revela a un nivel consciente. La «inefable chispa creativa» se encuentra en algún lugar entre ese estar «al borde» y el conocimiento consciente de la solución. El proceso probablemente sea iterativo e implique la evaluación crítica de múltiples candidatos a la solución producidos por la divagación mental «no frontal», que son aceptados o rechazados a través de un proceso más deliberado y consciente guiado por los lóbulos frontales.

El carácter de la divagación mental en los dos hemisferios se encuentra restringido por las diferencias en su organización. En el hemisferio izquierdo, que está formado por vecindarios locales estrechamente entrelazados pero con menos interacción entre ellos, la divagación mental probablemente se encalle en unos pocos de esos vecindarios y, por tanto, es menos probable que llegue a conectar puntos de anclaje que se encuentren alejados en la neocorteza. En el hemisferio derecho, que goza de propiedades de mundo pequeño mejor articuladas, es más probable que la divagación mental se extienda a un territorio más amplio y, por consiguiente, es más probable que se consiga enlazar puntos de anclaje distantes dentro de la red. La importancia crucial que para el proceso creativo reviste la capacidad de conectar «elementos extraídos de dominios muy apartados», en expresión de Henri Poincaré[*], ha sido comentada por varios individuos cuya opinión merece nuestra atención no ya porque fuesen «investigadores creativos», sino por ser algunas de las mentes creativas más sobresalientes de su campo de actividad, como lo fue Poincaré en las matemáticas y la física[22].

El hemisferio derecho está más preparado para la divagación mental eficiente y para conectar puntos distantes, por lo que es más probable que sea ahí donde se produzca la «inefable chispa creativa», oculta a la introspección, que provoca la impresión mágica y subjetiva de una revelación súbita. Sin embargo, es el hemisferio izquierdo el que, gracias a su conjunto de circuitos locales más estrechamente enlazados, resulta más eficiente a la hora de almacenar representaciones bien desarrolladas una vez se han producido. La naturaleza combinatoria y subjetivamente vaga de este proceso, antes de que surja una «construcción lógica»

explícita, queda bien reflejada en el relato introspectivo del proceso creativo que Albert Einstein refiere a Jacques Hadamard, un matemático francés que también fue una persona excepcionalmente creativa[23].

Mientras el cerebro aparentemente (y engañosamente) se encuentra en reposo, en el estado por defecto, que como ya sabemos es más pronunciado en el hemisferio *izquierdo* (pero no exclusivo de este) y es guiado por ideas y intereses previamente formados, la divagación mental que se desarrolla sobre todo (pero, una vez más, no de manera exclusiva) en la corteza posterior del hemisferio *derecho* conecta los puntos de anclaje, los «puntos neurales» activados durante el estado hiperfrontal precedente. Esto no significa necesariamente que la red neuronal por defecto no desempeñe ningún papel en el proceso. La naturaleza de la interacción entre la red ejecutiva central (REC) y la red neuronal por defecto (RND) en la divagación mental dirigida no se conoce bien, pero es razonable suponer que la REC impulsa la parte del proceso que implica un esfuerzo, que está dominada por una hiperfrontalidad prefrontal lateral y tiene como resultado el marcaje de los puntos de anclaje neural. En contraste con este proceso, durante la divagación mental, que en apariencia se realiza sin esfuerzo, la corteza prefrontal lateral se encuentra en un estado hipofrontal, y la RND toma las riendas. Como se recordará, en la RND se activan unas partes distintas de los lóbulos frontales, las áreas orbitofrontal y ventromedial. Además, se proyectan hacia la corteza de asociación posterior, pero activan redes distintas que reflejan pensamientos y preocupaciones distintas. En consecuencia, los puntos de anclaje neural que estaban activos cuando funcionaba la REC se encuentran inmersos en redes neuronales distintas cuando se activa la RND, lo que permite que se establezca todo tipo de nuevas conexiones que antes no eran posibles. Así pues, es posible que los procesos espontáneos que se producen en la corteza posterior, «liberados» del control ejercido por la corteza prefrontal lateral ahora que la REC ya no está activa, se aúnen con la leve insistencia de la RND, ahora activa, aumentando de este modo la probabilidad de que se produzca la inefable chispa creativa y surja una idea innovadora.

Ahora es el momento de una nueva advertencia. Toda discusión sobre la especialización hemisférica corre el riesgo de dejar al lector con la impresión de que las dos mitades del cerebro están organizadas de una manera radicalmente distinta. No es así. Las diferencias que comentamos aquí son sutiles, y cada uno de los hemisferios tiene tanto las propiedades locales como las de pequeño mundo que hemos comentado antes. Sin embargo, el énfasis es sutilmente distinto: las propiedades locales se expresan con mayor fuerza en la constitución de los circuitos del hemisferio izquierdo, mientras que las propiedades de pequeño mundo hacen lo propio en el hemisferio derecho. El énfasis en las propiedades locales favorece la emergencia de una red «profundamente indentada», con multitud de vecindarios distintos, mientras que el énfasis en las propiedades de mundo pequeño favorecen la emergencia de una red «más superficial», con vecindarios menos articulados y una mayor conectividad en todo su ámbito (véase la Figura 7.5). Los modelos computacionales del cerebro humano que usan *redes neuronales semánticas* han demostrado que una red dotada de propiedades de mundo pequeño puede generar un abanico más amplio y menos predictible de patrones de activación nuevos, que es la base neural de la generación de una nueva idea[24]. Dotar a los dos hemisferios de estas leves diferencias en sus propiedades de conexión tal vez sea la solución de la evolución para reconciliar y potenciar las dos piedras angulares de una cognición lograda: la capacidad de generar nuevas soluciones y la de conservar el conocimiento previamente adquirido.

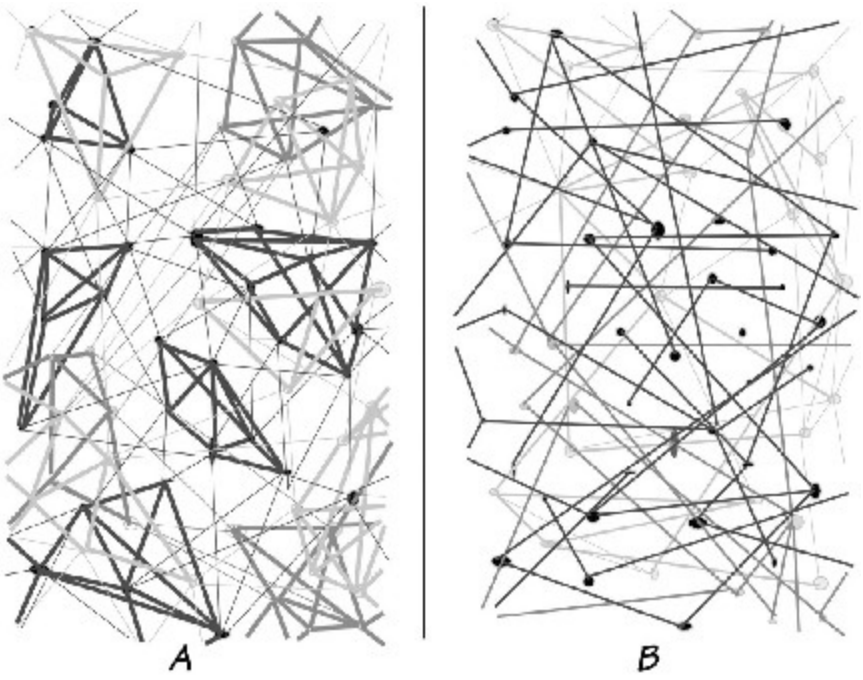


Figura 7.5. Conectividad de redes profundamente indentada frente a conectividad superficial. (A) La conectividad profundamente indentada está más articulada en la corteza del hemisferio izquierdo. (B) La conectividad superficial está más articulada en la corteza del hemisferio derecho.
Reproducido con permiso de *The New Executive Brain*, Oxford University Press, 2009.

La compleja relación que se establece en el proceso creativo entre los estados hiperfrontales de deliberación y los hipofrontales de divagación se ve reflejada de manera implícita en las famosas anécdotas sobre los momentos de epifanía, de revelación creativa, que tanto abundan en la historia de la ciencia: Arquímedes y su descubrimiento sobre la flotación mientras se bañaba, o Newton y su descubrimiento sobre la gravedad mientras miraba cómo caía una manzana. Ninguno de estos momentos se habría producido de no ser porque estas grandes mentes ya llevaban mucho tiempo reflexionando sobre sus problemas. Albert Einstein es más cercano a nosotros en el tiempo, y existen relatos explícitos sobre las muchas horas que pasaba pensando de manera sistemática sobre un problema antes de que un momento de epifanía surgiera como de la

nada. En el cambio de siglo, Jacques Hadamard envió a varios de los físicos más destacados del momento, Einstein entre ellos, un cuestionario con el que pretendía captar la naturaleza de sus procesos creativos. He aquí algunos fragmentos de la respuesta de Einstein:

> Estimado colega:
>
> En lo que sigue, y en la medida que me sea posible, intentaré responder de forma concisa sus preguntas. Mis respuestas no me satisfacen ni a mí mismo, y estaría dispuesto a responder a más preguntas si usted lo considera ventajoso para la muy interesante y difícil tarea que ha emprendido.
>
> A. Las palabras o el lenguaje, tal como se escriben o hablan, no parecen desempeñar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento. Las entidades físicas que parecen servir de elementos del pensamiento son ciertos signos e imágenes más o menos claros que pueden reproducirse y combinarse «voluntariamente». Hay, naturalmente, cierta conexión entre esos elementos y los conceptos lógicos relevantes. Está claro también que el deseo de alcanzar al final unos conceptos lógicamente hilvanados constituye el fundamento emocional de este vago juego con los elementos antes mencionados. Sin embargo, desde un punto de vista psicológico, este juego de combinatoria parece ser la característica esencial del pensamiento productivo, antes de que se establezca conexión alguna con la construcción lógica en palabras u otro tipo de signos que puedan comunicarse a otros.
> B. Los antedichos elementos son, en mi caso, de tipo visual, y algunos de tipo muscular. Las palabras convencionales u otros signos hay que buscarlos laboriosamente en un estadio secundario, cuando el juego asociativo ha quedado suficientemente establecido y puede reproducirse a voluntad.

C. De acuerdo con ello, se pretende que el juego con los antedichos elementos sea análogo a ciertas conexiones lógicas que se estén buscando.
D. Visual y motor. En el estadio en que las palabras empiezan a intervenir, estas son, en mi caso, puramente auditivas, pero solo interfieren en un estadio secundario, como ya se ha mencionado.
E. En mi opinión, lo que usted llama plena consciencia es un caso límite que nunca puede alcanzarse. Esto, a mi entender, parece estar relacionado con lo que se conoce como estrechez de la conciencia (*Enge des Bewusstseins*).

Nota: El Profesor Max Wertheimer ha intentado investigar la distinción entre la mera asociación o combinación de elementos reproducibles y la comprensión (*organisches Begreifen*); no puedo juzgar hasta qué punto su análisis psicológico capta los aspectos esenciales.

Cordialmente,
Albert Einstein[25].

La relación entre los estados de deliberación y de «divagación» del proceso creativo es iterativa: el estado de deliberación precede al de «divagación» y también lo sigue. La impresión de Einstein de que su explicación no logra capturar la esencia del proceso es reveladora, como lo es también su impresión de que «las palabras o el lenguaje […] no parecen desempeñar ningún papel en mi mecanismo de pensamiento» y que «las palabras convencionales u otros signos hay que buscarlos laboriosamente en un estadio secundario, cuando el juego asociativo ha quedado suficientemente establecido y puede reproducirse a voluntad». Esto sugiere que la «chispa creativa» es de naturaleza «afrontal» y de manera predominante se localiza en el hemisferio derecho, y que a ella le sigue una formulación más consciente y deliberada en términos simbólicos, que es esencialmente una tarea mediada por el hemisferio

izquierdo. En mi propia y humilde experiencia, puedo identificarme con esto gracias a mis primeros estudios en la Universidad de Moscú, donde obtuve una doble titulación en psicología y matemática. De estudiante, recuerdo percatarme (y maravillarme) de que el proceso mental de *formulación* de un enunciado matemático, un teorema, a menudo tenía muy poco que ver con el proceso de *demostrarlo* una vez formulado.

Muchas personas creativas nos hablan de estados casi de ensoñación durante los cuales se les aparecen sin esfuerzo, como si lo hicieran por sí mismas, soluciones a complejos problemas o imágenes artísticas. Pero también refieren que esos momentos mágicos van precedidos de un esfuerzo mental de gran intensidad y concentración. La revelación de la estructura del benceno en forma de una serpiente que se muerde la cola que se le manifestó a August Kekulé en un estado de ensoñación es una experiencia muy citada de divagación mental, aparentemente sin esfuerzo y «afrontal». Lo que, sin embargo, se cita con menos frecuencia es que la revelación le llegó a Kekulé después de años de duro trabajo sobre el tema, lo que sin duda es una actividad guiada por el lóbulo frontal. También abundan los relatos de personas creativas que, después de dedicar un día, con un esfuerzo agotador, a abordar un problema intratable, se van a dormir y a la mañana siguiente se despiertan con la solución. Estas son todas manifestaciones de la interacción sinérgica entre las dos caras del proceso creativo, una consciente, guiada por los lóbulos frontales, la otra inconsciente o, por lo menos, menos consciente: la divagación mental dirigida. En un proceso creativo que se caracteriza por una dualidad esencial, en el que la parte consciente impulsada por el lóbulo frontal se entrelaza con la divagación mental «afrontal», intentar averiguar cuál de estos dos componentes es más importante es un ejercicio vano. La epifanía, ese incomparable triunfo de engendrar algo nuevo e importante, surge de la interacción sinérgica entre los dos.

La mención que hace Einstein de las investigaciones de Max Wertheimer es interesante y, en cierto modo, presciente. Wertheimer fue uno de los tres padres fundadores de la psicología de la Gestalt (los otros dos fueron Kurt Koffka y Wolfgang Köhler). Sorprendentemente, el

proceso por el que se alcanza una solución creativa mediante la combinación de procesos «frontales» y «afrontales», tal como lo hemos esbozado en este capítulo, recuerda a algunos experimentos realizados por psicólogos de la Gestalt a principios del siglo XX. Estos descubrieron que la percepción humana tiende a «unir los puntos»: cuando a un observador se le presenta un conjunto de puntos dispuestos a lo largo del contorno imaginario de una forma familiar (como un triángulo o un círculo), el observador tiende a conectar mentalmente los puntos aislados y a percibirlos como una imagen continua (figura 7.6).

Se ha sugerido también que el hemisferio derecho percibe su entorno en «gestalts». Al parecer, la vieja intuición sobre las propiedades psicológicas del hemisferio derecho, que durante décadas no pasó de ser una metáfora heurística, quizá captase de manera profética algunas de las propiedades importantes del proceso creativo que solo se podían comprender con la ayuda de descubrimientos neurocientíficos realizados muchos años más tarde: los lóbulos frontales ayudan a identificar los puntos activando regiones dispares dentro de redes neuronales vastas y distantes, mientras que la divagación mental afrontal los conecta dentro de una red coherente. En una carta escrita por el gran Wolfgang Amadeus Mozart en la que intenta captar el proceso de creación de una composición musical, hay una alusión a la naturaleza conectora, al estilo de la Gestalt, del momento creativo, que es evocadora de la coalescencia de una red neuronal cohesiva. En cierto momento, Mozart no oye en su imaginación «las partes de manera sucesiva, sino [...] por así decirlo, todas a la vez (*gleich alles zusammen*)»[26].

La presciencia de los psicólogos de la rama Gestalt es notable pero no única. No es infrecuente que una teoría o concepto científico moderno tenga alguna vaga prefiguración décadas o incluso años antes. Debemos recordar que todos nos subimos a los hombros de gigantes, y la discontinuidad de la historia intelectual de la sociedad se encuentra estrechamente entretejida formando un continuo. Hay precedentes antiguos de la teoría atómica de la materia en la antigua India y en la Grecia clásica, más de dos milenios antes de que naciera la química moderna; Arquímedes ya practicaba un antecedente del cálculo casi dos

mil años antes de que cuajara en una rama bien desarrollada de la matemática; y si las ideas de Freud fueron prescientes y hallan eco de múltiples maneras en la neurociencia moderna, ¿por qué no las de los psicólogos de la Gestalt? Todo esto trae a colación el concepto introducido por otro gigante sobre cuyos hombros nos alzamos, el filósofo Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831): la espiral dialéctica del progreso.

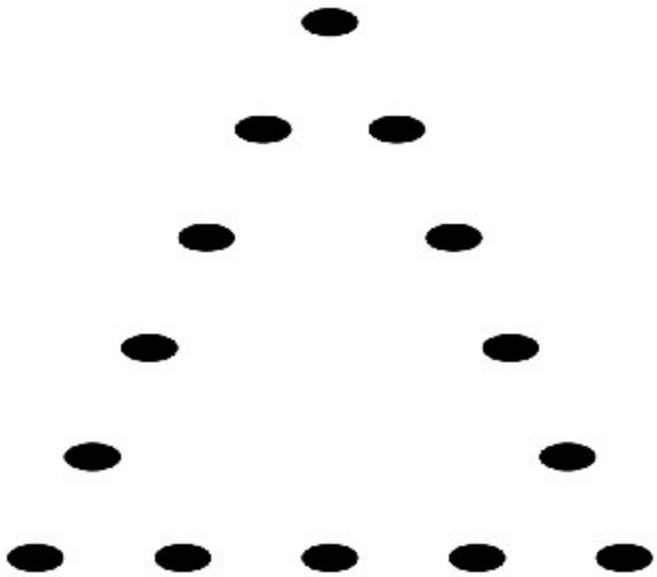


Figura 7.6. Un ejemplo de fenómeno Gestalt. Los puntos se «conectan» mentalmente y se perciben como un triángulo.

ITERACIÓN Y SELECCIÓN

Finalizamos este capítulo donde lo comenzamos: con la variación ciega y la retención selectiva, o VCRS. Al principio del capítulo argumentamos que una variación ciega totalmente aleatoria no conforma un escenario realista, desde un punto de vista informacional, sobre cómo se generan las ideas nuevas, y hemos dedicado la mayor parte del capítulo a esbozar un escenario alternativo que hemos denominado «divagación dirigida», un proceso en el que la retención selectiva es parte necesaria e incluso obligatoria. Una persona creativa tendría que ser extraordinariamente

afortunada para dar a la primera con la solución precisa, lo cual implica que el producto de la «chispa creativa» tiene que refinarse, que hay que evaluar su efectividad y relevancia con respecto al objetivo. Es más probable que esta parte del proceso sea consciente, que implique el lenguaje u otros sistemas simbólicos, como observaba Albert Einstein en su relato introspectivo, y que esté guiado por los lóbulos frontales. La selección entre alternativas se ha estudiado más ampliamente, y por ello resulta menos misteriosa y se comprende mejor que el modo en que se generan las alternativas. El papel de la corteza prefrontal en la selección y evaluación crítica de las alternativas, una vez que estas han sido generadas, está establecido desde hace mucho tiempo[27]. Lo que todo esto significa es que el proceso creativo constituye un ciclo iterativo: *hiperfrontalidad* > *hipofrontalidad* > *hiperfrontalidad*, y así sucesivamente durante días, meses o años, hasta dar con un solución que se considere buena y la mente inquieta se pueda dar por satisfecha.

8

¿Son creativos los babuinos?

La novedad en la evolución

A quienes no suscribimos una creencia extrema en la exclusividad de nuestra especie nos parece que toda exploración de los rasgos humanos se beneficia de considerarla dentro de un contexto evolutivo, y la creatividad, de igual modo que la capacidad para abordar la novedad, no es una excepción. En este capítulo exploraremos las raíces evolutivas de estos rasgos, lo que suscita todo tipo de preguntas, entre ellas: «¿Son creativos los babuinos?». Esta puede ser una pregunta difícil de responder, y la respuesta dependerá de cómo definamos la creatividad. El excepcionalismo antropomórfico radical implica que la creatividad es, por definición, un atributo exclusivamente humano, pero se puede argumentar que ese razonamiento es circular, además de anticuado. Si primatólogos como Frans de Waal llevan la razón cuando defienden que las diferencias cognitivas (de igual modo que las semejanzas cognitivas) entre los humanos y otras especies se entienden mejor como graduales y progresivas, más que como binarias y abruptas, entonces debemos suponer que algunos de los ingredientes cognitivos de la creatividad se deben poder seguir a lo largo de la evolución[1].

Fue precisamente mi aceptación de la premisa de las continuidades evolutivas, en contraposición a las discontinuidades abruptas, lo que me llevó a plantear la hipótesis de la especialización hemisférica sobre la base de la distinción entre la novedad cognitiva y las rutinas cognitivas, tal

como discutimos en el capítulo 6. Y no importa cómo se posicione uno sobre la cuestión de la «creatividad animal», puede estar razonablemente seguro de que los babuinos pueden procesar información nueva en el entorno cambiante de la sabana africana, pues de lo contrario hace tiempo que se habrían extinguido. Hay incluso investigaciones que demuestran que los babuinos son capaces de discriminar entre palabras inglesas ortográficamente correctas y cuasipalabras ortográficamente inverosímiles, toda una hazaña de dominio de la novedad, si tenemos en cuenta lo que suelen hacer los babuinos[2].

Así pues, es razonable preguntarse dónde se procesa la novedad en el cerebro del babuino. Y resulta que, como en sus parientes primates humanos, el hemisferio derecho del babuino es más eficiente que el izquierdo en el procesamiento de información nueva. Y que, como en los humanos, el hemisferio izquierdo pasa a dominar una vez que la tarea se torna familiar. Esto se demostró con un experimento que requería que los animales agruparan formas geométricas complejas que variaban en su grado de novedad o familiaridad. Las formas se presentaban a la mitad izquierda o derecha del campo visual, proyectándose así sobre el hemisferio derecho o izquierdo, respectivamente. Para participar en el experimento, los babuinos (tres machos y tres hembras) tenían que aprender cómo fijar la mirada en un punto de enfoque situado centralmente y manipular un mando. El experimento se acerca bastante a una réplica de los experimentos típicos diseñados para estudiar la especialización hemisférica en los humanos, algunos de los cuales ya hemos descrito en capítulos anteriores. El hecho de que los babuinos lograsen aprender las «reglas del juego» y seguirlas constituye por sí mismo una notable demostración de su inteligencia. Además, los hallazgos se parecen mucho a los obtenidos con humanos, Al principio del experimento, cuando la tarea es novedosa, el desempeño de los babuinos es más rápido cuando los estímulos se presentan a la mitad izquierda del campo visual, y consiguientemente se proyectan sobre el hemisferio derecho, mientras que al final del experimento este efecto se desvanece. Los autores llegaron a la conclusión de que «la lateralización hemisférica cambia con la práctica y que el hemisferio derecho del

babuino desempeña un papel crítico en el procesamiento de la novedad», que es justamente la conclusión que alcanzamos en el capítulo 6 con respecto al cerebro humano[3]. Esta notable semejanza en la especialización hemisférica en humanos y babuinos ya no es ninguna broma, sino que sugiere una continuidad evolutiva en el modo en que se maneja la novedad en el cerebro.

La creatividad en otras especies

¿Qué hacen los babuinos en un libro sobre la innovación y la creatividad en los humanos? Desde Darwin, los científicos reconocen que podemos comprender mejor nuestra propia especie si la situamos en su contexto evolutivo, y el hecho de que el procesamiento de la novedad en los babuinos también dependa del hemisferio derecho ayuda a lograr justamente eso. La búsqueda de precursores evolutivos de la creatividad humana es un tema de investigación atractivo, pero definir la creatividad en otras especies es tarea arriesgada, sobre todo si tenemos en cuenta que ya nos las vemos y nos las deseamos para definirla en nuestra propia especie. Más fácil es reconocer, definir y medir comportamientos nuevos, y en eso el babuino no está solo. En un artículo de 2009 de *Scientific American*, Peter MacNeilage, Lesley Rogers y Giorgio Vallortigara propusieron que la división del trabajo que vincula la novedad al hemisferio derecho y las rutinas establecidas al hemisferio izquierdo ha sido un rasgo definitorio de la organización del cerebro durante los quinientos millones de años de evolución de los vertebrados[4]. De hecho, ya en los roedores el hipocampo derecho y el izquierdo cumplen funciones distintas durante las distintas fases de la formación de recuerdos[5].

El club de las especies con cerebro lateralizado y capaces de generar comportamientos nuevos no queda limitado a animales terrestres, sino que incluye también a los cetáceos, un orden de mamíferos marinos que comprende las ballenas, los delfines y las marsopas. Los delfines son especialmente interesantes por varios aspectos. Dejando aparte a los humanos, los grandes simios y los elefantes, son los únicos animales

cuyo cerebro contiene células de von Economo o «neuronas en huso», que tienen axones muy largos que les permiten establecer una comunicación rápida entre regiones distantes del cerebro y que presuntamente se encuentran asociadas con una inteligencia elevada, la capacidad de resolución de problemas y el comportamiento social. Son animales muy inteligentes que pueden resolver problemas complejos y posiblemente sean capaces de algún tipo de creatividad.

A favor de esta última aseveración, la de que en algún sentido los cetáceos podrían ser creativos, suele citarse un estudio realizado en 1965 en el Centro Oceánico Makapuu de Hawái, en el que se «animó» a dos hembras de delfín de hocico estrecho a generar comportamientos nuevos[6]. Día a día, los únicos comportamientos que se reforzaban eran los que no se habían realizado el día anterior. Al cabo de varios días, los animales comenzaron a mostrar comportamientos bastante complejos (varios tipos de saltos aéreos, deslizamientos con la cola sobre el agua, «patinazos» por el fondo del tanque), que en muchos casos diferían de lo que se había observado nunca en cualquiera de los delfines de esta especie en el parque marino. Los delfines parecían haber captado la idea de que, para obtener el refuerzo (pescado), tenían que generar comportamientos nuevos, y parecían haber resuelto el reto de una forma «creativa». Como a los delfines se les ocurrían comportamientos distintos de los que habían mostrado en sesiones anteriores durante varios días sucesivos, se ha argumentado que, se defina como se defina la creatividad, aquellos delfines eran capaces de formar un concepto general de comportamiento «nuevo». Como en los humanos, también se observaban diferencias individuales evidentes en la «creatividad»: los comportamientos novedosos de Malia eran «más espectaculares e "imaginativos" que los de Hou»[7]. Además, para poder seguir ingeniando comportamientos nuevos, las dos hembras de delfín tenían que mantener el recuerdo de los comportamientos que ya habían exhibido en la sesión previa, lo cual constituye también una impresionante hazaña de memoria. Ya comentamos en el capítulo 4 de qué modo se manifiesta en el mono y en los humanos esta particular forma de memoria dependiente del lóbulo frontal, y ahora la

encontramos también en los delfines, lo que atestigua aún más si cabe su capacidad para la cognición avanzada.

La lateralización en otras especies

¿Cómo está organizado el cerebro de estos animales para permitirles tan prodigiosas hazañas cognitivas? Las tareas que implican discriminación visual son especialmente informativas porque, en los cetáceos, las vías visuales están completamente cruzadas (a diferencia del cerebro humano, donde solo se cruzan las vías nasales). Esto hace que sea más fácil hacer suposiciones sobre la especialización hemisférica a partir de su comportamiento: la preferencia por el ojo izquierdo, o la ventaja derivada de su uso, durante la realización de ciertas tareas implica la actuación del hemisferio derecho, mientras que la preferencia por el ojo derecho implica al hemisferio izquierdo. Se han llevado a cabo varios estudios que llevan a la conclusión de que el cerebro de los cetáceos está funcionalmente lateralizado, y que las distinciones entre novedad y familiaridad, y entre ítems únicos y reglas generales, captan algunas características importantes de esa lateralización.

Estos delfines no son los únicos cetáceos dotados de una considerable inteligencia. Unos parientes suyos, los delfines mulares, pueden formar conceptos numéricos rudimentarios, una habilidad que parece estar relacionada con el hemisferio izquierdo[8]. Por otro lado, el comportamiento «inquisitivo» implica al ojo izquierdo (hemisferio derecho) con mayor frecuencia que al derecho (hemisferio izquierdo)[9]. De forma un tanto incoherente con estos hallazgos, otras especies de delfín usan con mayor frecuencia el ojo izquierdo (hemisferio derecho) para examinar objetos familiares, y el derecho (hemisferio izquierdo) para examinar objetos extraños[10].

Luego están las aves. Pese al escarnio y menosprecio implícitos en expresiones como «cabeza de chorlito», muchas especies de aves tienen capacidad para el aprendizaje complejo y la resolución de problemas. Quien albergue dudas sobre ello debería leer *El ingenio de los pájaros*, de la divulgadora científica Jennifer Ackerman[11]. Varias especies de loro,

como las cacatúas de las Tanimbar, de Indonesia, manifiestan habilidades cognitivas complejas, como la inferencia por exclusión, la fabricación de herramientas y la resolución de rompecabezas técnicos[12].

Sin embargo, las aves logran sus proezas cognitivas con una arquitectura neural muy distinta de la que encontramos en los mamíferos. En estos últimos, la cognición más compleja se apoya en la corteza, dispuesta en (por lo general) seis capas o láminas. En las aves, en cambio, la complejidad cognitiva, que a menudo rivaliza con la de los mamíferos, se realiza en un complejo conjunto de núcleos neuronales. De acuerdo con la visión moderna sobre la evolución de los vertebrados, la divergencia de las ramas que habrían de dar lugar a las aves y los mamíferos se produjo durante el período Pérmico, hace más de doscientos millones de años[13].

Esto significa que cualquier semejanza entre los cerebros de los mamíferos y de las aves debe reflejar principios de organización neuronal muy fundamental y evolutivamente muy antiguos. Alternativamente, podría reflejar una «evolución convergente», es decir, el desarrollo independiente de adaptaciones parecidas en especies muy lejanas, lo que también atestiguaría la utilidad fundamental de este principio. Así pues, ¿está lateralizado el cerebro de las aves? Y, de ser así, ¿de qué manera? Pues resulta que así es: en varias especies de aves, entre ellas el periquito común, la gallina doméstica y otras, un cerebro más lateralizado resuelve problemas de manera más eficiente que un cerebro menos lateralizado[14].

No es solo que el cerebro de las aves esté lateralizado, sino que las diferencias funcionales entre sus lados izquierdo y derecho se asemejan enormemente a las observadas en los cerebros de los mamíferos, incluidos los humanos. Cuanto más se recompensa un patrón visual, más fuertemente se activa el hemisferio izquierdo de las aves[15]. Lo mismo puede decirse del aprendizaje de la importancia (la «relevancia» discutida en el capítulo 5) de los estímulos auditivos, en experimentos en los que un canto se asociaba con alimento y otro no. Una vez aprendida la regla de relevancia, se registraba la actividad neuronal de los dos lados del cerebro en el diamante cebra[*], y se observó que los pájaros que

aprendían deprisa mostraban más actividad en el hemisferio izquierdo que los que aprendían más despacio. ¡Tanto la familiaridad del estímulo como su relevancia se codificaban de manera predominante en el hemisferio izquierdo![16]

Conviene recordar que ya habíamos encontrado antes una asociación entre la relevancia y el hemisferio izquierdo, y fue en el cerebro humano. En el diamante cebra, el vínculo entre la relevancia y el hemisferio izquierdo se manifiesta de forma particularmente espectacular cuando se examinan las conductas de apareamiento. Para escoger pareja, el macho del diamante cebra utiliza sobre todo el ojo derecho (y, por tanto, el hemisferio izquierdo), y con tal grado de exclusividad que si se le tapa este ojo, es incapaz de elegir[17].

Los experimentos sobre el aprendizaje de cantos en las aves canoras son especialmente interesantes, y revelan los papeles contrastados de los hemisferios cerebrales de las aves a la hora de representar estímulos familiares o estímulos nuevos, que sorprendentemente recuerdan mucho a los que ya encontramos antes en el cerebro humano. Los individuos jóvenes del diamante cebra aprenden sus cantos imitando el canto de un «tutor» adulto. Pues bien, el canto del tutor, previamente aprendido, activa sobre todo el hemisferio izquierdo, mientras que no ocurre así con un canto que no les resulte familiar[18]. Además, a medida que aprenden y memorizan el canto, se activan significativamente más neuronas en el hemisferio izquierdo que en el derecho[19].

El babuino, el delfín y el diamante cebra se hallan muy lejos de los vertebrados en el árbol evolutivo, y sin embargo presentan patrones parecidos de especialización hemisférica: lo nuevo y único se procesa sobre todo en el hemisferio derecho, mientras que los patrones y categorías familiares se procesan sobre todo en el hemisferio izquierdo. Este es sin duda un principio general de la organización del cerebro que o bien surgió tempranamente durante la evolución, o bien (pero menos probablemente) represente una convergencia asombrosamente coherente en la evolución independiente de especies distintas (figura 8.1).

¿Hasta qué punto es universal la lateralización del cerebro y la distinción entre lo nuevo y lo familiar que se expresa en esta lateralización? ¿Puede observarse también en el sistema nervioso de los invertebrados? La respuesta a esta intrigante pregunta la encontramos en las antenas de la abeja melífera, las dos protuberancias que utiliza el insecto para captar olores. Pese a su humilde posición en el árbol de la evolución, este minúsculo animal puede memorizar y distinguir olores, y sorprendentemente la dinámica básica de su aprendizaje se asemeja a la de los humanos. Una vez formado un recuerdo olfativo con la ayuda de ambas antenas, la evocación del recuerdo a «corto plazo» (una o dos horas después del entrenamiento) requiere de la integridad de la antena derecha, mientras que la evocación del recuerdo «a largo plazo» (23-24 horas después del entrenamiento) requiere de la integridad de la antena izquierda (nótese que, en la abeja, las vías no están cruzadas, de modo que la antena derecha se proyecta sobre la mitad derecha del cerebro, y la izquierda sobre la mitad izquierda)[20].

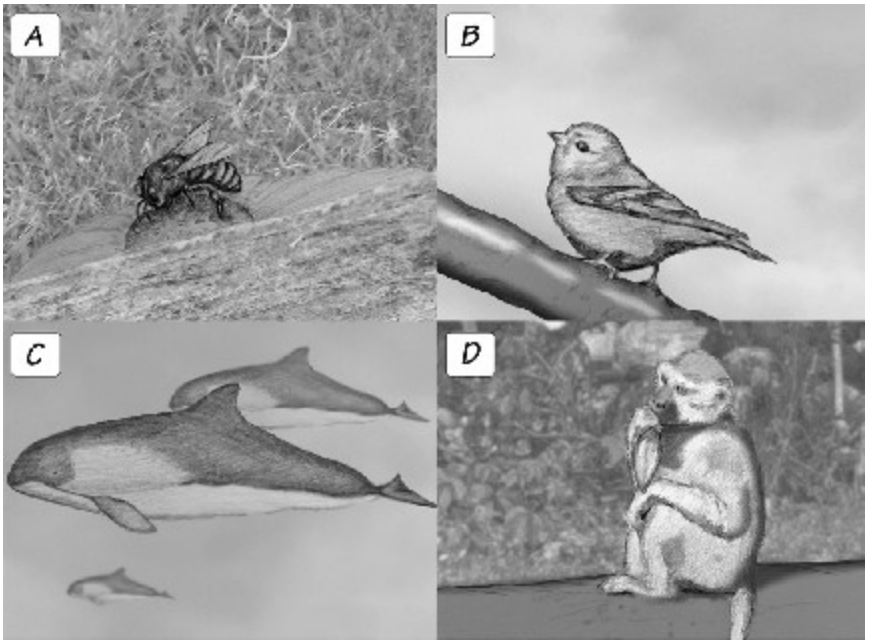


Figura 8.1. Abeja melífera, pinzón, delfín y babuino. Estos animales tan distintos tienen una organización cerebral parecida: las rutinas bien aprendidas se vinculan a la mitad izquierda del cerebro; el procesamiento de la información nueva, a la mitad derecha.

Que los sistemas nerviosos de organismos tan dispares exhiban patrones de lateralización funcional de un parecido tan impresionante es algo que causa estupor. La cuestión de si este parecido se debe a la evolución sucesiva de un ancestro común a lo largo de la cual se hayan conservado de forma muy marcada, de unas especies a otras, ciertos principios de organización del cerebro, o si, por el contrario, es el resultado de una evolución «convergente» que ha llevado a la formación de arquitecturas neurales parecidas en especies distintas, es objeto de un debate intenso y todavía no resuelto en la biología. Tampoco se entiende cabalmente la uniformidad de la lateralización. Muchos científicos creen que esta uniformidad es propia de las especies con comportamiento social, y menos común en especies solitarias[21].

Con independencia de cómo se resuelvan finalmente estas controversias, la distinción entre novedad cognitiva y rutinas cognitivas resulta ser fundamental, y separar su procesamiento en el cerebro parece

conferir una ventaja computacional universal. Como ya hemos comentado, la distinción entre procesamiento de información guiada o no por rutinas previamente formadas es mucho más fundamental que la distinción entre el procesamiento verbal y no verbal, puesto que esto último no es más que un limitado caso especial de lo primero. Los resultados de los experimentos de neuroimagen funcional con sujetos humanos que hemos descrito en capítulos anteriores encuentran un paralelo en prácticamente cada nicho del árbol evolutivo. El tema de la especialización del hemisferio derecho para abordar la novedad y del izquierdo para guiar los comportamientos rutinarios impregna buena parte de la evolución de los vertebrados e incluso de los invertebrados. Tras examinar los mecanismos cerebrales para enfrentarse a la novedad en otras especies, hallamos sorprendentes paralelos con los de nuestra propia especie.

DESARROLLO HUMANO Y CREATIVIDAD ANIMAL

Desarrollo próximo

Con independencia de cuáles sean los mecanismos cerebrales de la aptitud para el procesamiento de la novedad, primero tenemos que plantearnos cómo medir esa aptitud en otras especies. La idea para una aproximación novedosa a la medición de la aptitud para la novedad (otro juego de palabras intencionado) que comentaremos aquí se basa en la «zona de desarrollo próximo», un concepto introducido por Lev Vygotski, un psicólogo judío ruso que trabajó en la Unión Soviética a principios del siglo XX. Vygotski puede considerarse uno de los dos estudiosos del desarrollo cognitivo en los niños más innovadores; el otro fue Jean Piaget, un psicólogo suizo cuya obra es mucho más conocida en Occidente. Por una curiosa coincidencia, ambos nacieron el mismo año, 1896, pero sus trayectorias vitales fueron muy distintas. Piaget tuvo una vida larga y productiva en el estable y protegido mundo de un académico y asesor político europeo. Vygotski murió joven de tuberculosis en el volátil y turbulento mundo de la Rusia posrevolucionaria, a las puertas

de las inminentes purgas de Stalin, lo que hace aún más notable la significación de su legado intelectual.

Tanto Vygotski como Piaget se interesaron por las fases del desarrollo cognitivo y por su progresión, pero sus enfoques fueron muy distintos, y de un modo que refleja sus dispares historias intelectuales personales. Piaget se interesó inicialmente por la zoología, y sus primeras publicaciones fueron sobre moluscos. En cambio, los primeros intereses de Vygotski fueron en las humanidades, y sus primeras publicaciones fueron ensayos sobre la psicología de la literatura y el arte. Estos ensayos se recogieron póstumamente en un libro que, por razones políticas, no pudo publicarse hasta más de treinta años después de su muerte, y que llevaba por título *Psicología del arte*[22]. Un ejemplar de esta obra, dedicado por la viuda de Vygotski, se encuentra entre los pocos libros que llevaba en mi escaso equipaje cuando llegué a Estados Unidos en 1974 (figura 8.2).

Los caminos dispares que los llevaron a la psicología del desarrollo quedaron reflejados en sus teorías. Piaget concebía las fases del desarrollo cognitivo como algo predestinado y guiado por reglas biológicas intrínsecas. En cambio, Vygotski veía el desarrollo cognitivo como algo impulsado por el entorno cultural por medio de una instrucción explícita, lo que permitía al niño o niña adquirir habilidades cognitivas más allá de las que podría haber alcanzado por su propia cuenta. Si pensamos en el desarrollo cognitivo como un espacio en expansión, la «zona de desarrollo próximo» es el área que refleja la diferencia entre la expansión alcanzable para el niño que aprende por su cuenta y la expansión adicional que la instrucción hace posible. Vygotski argumentaba que dos niños (y, supuestamente, adultos) pueden tener un rendimiento parecido en los test que reflejan su conocimiento y habilidades cognitivas actuales, y aun así caracterizarse por «zonas de desarrollo próximo» de muy distinto tamaño[23].

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ ЭСТЕТИКИ

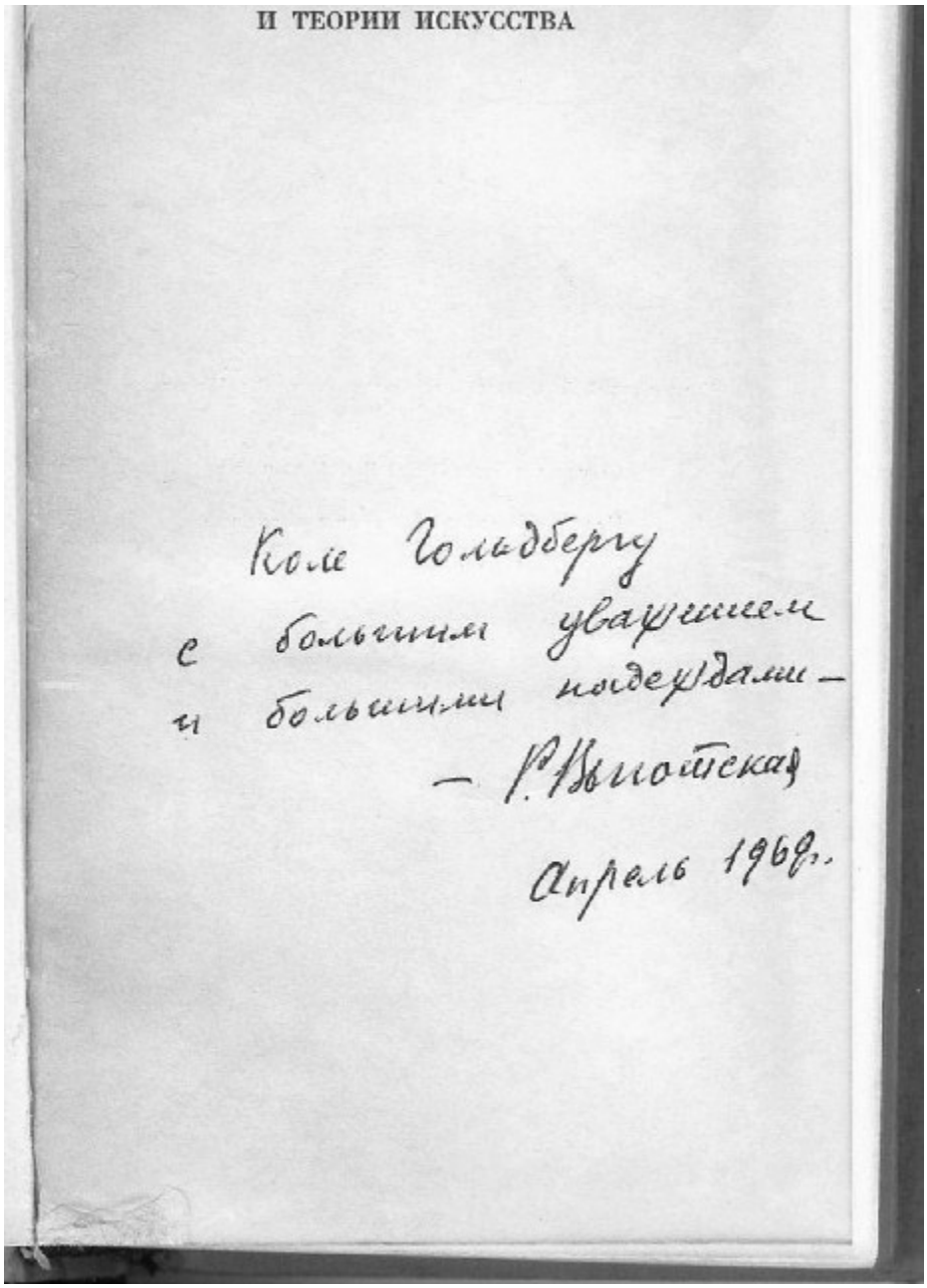


Figura 8.2. *Psikhologiya Iskusstva*, de Lev Vygotski, con la dedicatoria de su viuda. Una página de *Psikhologiya Iskusstva* [Psicología del arte] de Lev Vygotski (2.ª edición publicada en 1968 en la Unión Soviética) con la dedicatoria y firma de la viuda del autor, Roza Noyevna Vygotskaya. La dedicatoria dice: «Para Kolya [*mi apodo en ruso*] Goldberg con gran respeto y grandes esperanzas. R. Vygotskaya, abril de 1969». De la biblioteca personal de Elkhonon Goldberg.

Vygotski creía que el tamaño de la «zona de desarrollo próximo» varía de una persona a otra, y que esta variable capta un atributo crucial

de la mente humana, además de las diferencias individuales entre las mentes humanas. ¿Por qué? Porque así es como aprendemos los humanos. Sin una instrucción explícita y sin la introducción de herramientas cognitivas implícitamente cristalizadas en la cultura, es dudoso que cualquiera de nosotros hubiese aprendido a leer, escribir o calcular por su propia cuenta; sencillamente, por mucho talento y creatividad que posea una persona, eso es mucho más de lo que podría reinventar desde cero. A un nivel más elevado, incluso el más solitario y audaz descubrimiento o innovación conceptual del científico o artista de mayor talento ha sido «instruido» por la cultura en la que se produce, y solo se aparta en cierto grado de la cultura que lo acoge; encontramos aquí, una vez más, la zona de desarrollo próximo. Aunque Arquímedes ya usaba en su trabajo los infinitesimales y el método exhaustivo, no pudo aprovecharlos para formar una disciplina coherente. El cálculo, como rama de la matemática bien desarrollada, tuvo que esperar a nacer casi dos mil años más, hasta que finalmente lo introdujeron Isaac Newton y Gottfried Wilhelm Leibnitz en la segunda mitad del siglo XVII. He aquí un buen ejemplo de cómo el medio cultural y científico, en sentido amplio, empuja y limita la potencia mental de un genio individual. El concepto introducido por Lev Vygotski para caracterizar el desarrollo cognitivo en los niños puede servir también como útil herramienta heurística para capturar la relación entre el proceso de creatividad individual y la capacidad para la innovación, de un lado, y la cultura que lo acoge, del otro. Vygotski fue uno de los primeros psicólogos que de manera explícita intentó integrar las perspectivas biológicas y culturales sobre la cognición, lo cual hace que su legado intelectual sea directamente relevante para los estudios relativos a la creatividad.

El legado que Vygotski no planeó

El lector se preguntará qué hace Lev Vygotski, un estudioso del desarrollo cognitivo en los niños, en un capítulo sobre inteligencia animal. Está aquí porque, aunque Vygotski investigó el desarrollo

cognitivo humano, la utilidad de la «zona de desarrollo próximo» como índice de la capacidad para aprehender la novedad no se limita a nuestra especie (figura 8.3), sino que puede aplicarse a cualquier especie con capacidad para aprender y, de hecho, se usa con frecuencia para evaluar el potencial cognitivo de estas especies, aunque no se emplee este término. Cuando se los coloca en compañía de humanos, los animales a menudo exhiben sorprendentes proezas de dominio de la novedad que no habrían logrado por sí solos o que quedan completamente al margen de los comportamientos o las demandas cognitivas propias de su ecología. Irónicamente, Vygotski creía que la «zona de desarrollo próximo» era un atributo exclusivo de los humanos, inexistente en los primates no humanos, pero desde su muerte en 1934 las investigaciones sobre varias especies han demostrado que en eso se equivocaba. Paradójicamente, eso no ha hecho sino amplificar la importancia de las ideas de Vygotski.

Entre los ejemplos más citados de lo que puede interpretarse como la «zona de desarrollo próximo» de un primate en acción se cuenta el de Koko, el gorila occidental de llanura, quien (sí, es un individuo, ¡no un objeto!) adquirió un extenso vocabulario de palabras en lenguaje de signos americano que incluso era capaz de combinar para formar enunciados nuevos que le sirviesen para expresar sus deseos e incluso estados emocionales. Chantek, un orangután criado por la primatóloga Lyn White Miles como si fuera su «hijo adoptivo», también adquirió un extenso vocabulario de palabras en lenguaje de signos y era capaz incluso de formar nuevas palabras compuestas, como «tomate-pasta de dientes» para referirse a «ketchup», o «queso-carne-pan» para decir «hamburguesa de queso»[24]. Kanzi, un bonobo, también es célebre por su dominio de la novedad cognitiva. Él (¡otro individuo!) aprendió un vocabulario de 384 o más lexigramas (símbolos visuales que representan cosas o ideas) y usaba ese conocimiento para comunicarse señalando los lexigramas dispuestos sobre un teclado. Kanzi logró esta proeza sin la ventaja de una instrucción explícita, solo mirando cómo enseñaban a su madre, Matata (de hecho, su «madre» adoptiva, que robó a Kanzi de sus padres naturales). Posteriormente, la hermana de Kanzi, Panbanisha, así como sus hijos Nyota y Nathan, aprendieron también el lenguaje lexigráfico.

Sin embargo, Kanzi sigue siendo el primero, y hasta el momento probablemente el único simio bilingüe, pues también había aprendido el lenguaje de signos americano mirando vídeos en los que Koko, el gorila, lo utilizaba[25]. Para no ser eclipsados por otros grandes simios, los chimpancés gozan de capacidad cognitiva para cocinar, siempre y cuando sus compañeros humanos los provean de las herramientas e instrucciones apropiadas, como ha demostrado un estudio reciente[26]. Y no nos olvidemos del babuino que dominaba las normas ortográficas del inglés.

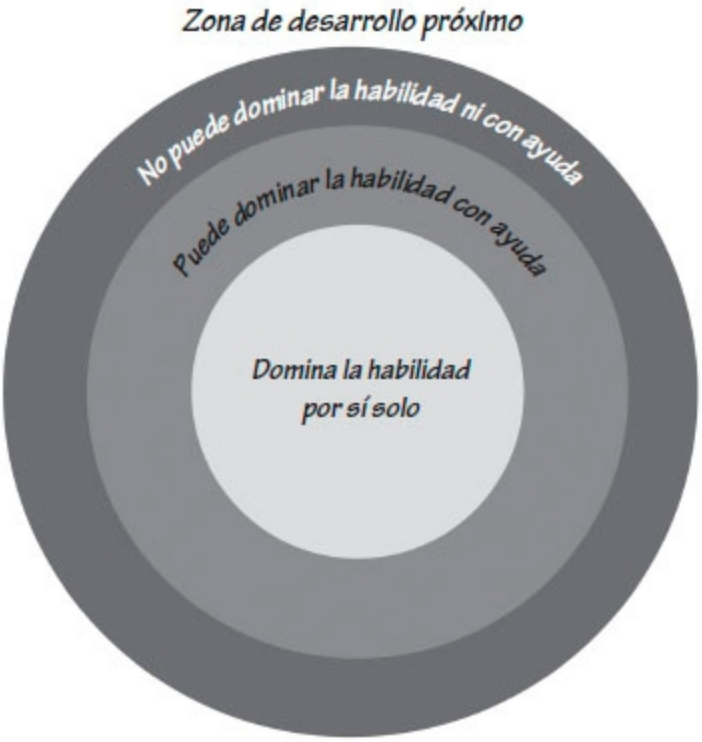


Figura 8.3. La zona de desarrollo próximo según Lev Vygotski.

A un nivel menos elevado, más mundano, consideremos el caso de un perro, una mascota familiar, que aprende una serie de órdenes de voz o con la mano. Esto suele conseguirse mediante un entrenamiento explícito, pero no siempre. Mi antiguo *bullmastiff*, Brit (quien para mí era definitivamente un individuo de gran importancia al que aún hoy

echo de menos) aprendió varias órdenes verbales con solo usarlas dentro de su contexto, y mediante simulacros explícitos, y a la tierna edad de once meses mi nuevo cachorro de mastín inglés, Brutus, parece muy prometedor en este sentido. Sin embargo, nunca se me ocurrió intentar enseñar álgebra a Brit o Brutus. Brit demostró un sentido rudimentario de los números, que se manifestaba en la cantidad de galletas que esperaba recibir cada noche antes de ir a dormir, ya que se quejaba si me quedaba corto, pero probablemente no pasase de ahí su «zona de desarrollo próximo», y nunca intenté llevarla más lejos.

La capacidad de adquirir habilidades cognitivas que, gracias a la interacción con un «instructor» humano, superan en mucho a las que se manifiestan en su comportamiento natural no se limita a los mamíferos. La larga «colaboración» entre el loro gris Alex y la psicóloga cognitiva Irene Pepperberg es un ejemplo notable. Bajo la tutela de Pepperberg, Alex aprendió a «nombrar» más de cincuenta objetos, siete colores, cinco formas y las cantidades hasta el seis (que más tarde amplió a siete y ocho). Incluso aprendió a construir frases simples para expresar sus deseos y comprendía hasta cierto punto las relaciones entre números[27].

Como medida del dominio de la novedad, la «zona de desarrollo próximo» es rica en implicaciones y posibilidades. Hay en general dos formas de estudiarla en otras especies: midiendo su capacidad para aprender de los humanos, y midiendo su capacidad para aprender de los miembros de su propia especie, pues el «instructor» que empuja los límites de la «zona de desarrollo próximo» de un animal no tiene por qué ser humano, puede ser un miembro de su propia clase. A consecuencia de esa transmisión de información social, y no biológica, de un miembro a otro de una misma especie, y de una generación a otra, puede ocurrir que ciertos comportamientos y habilidades estén presentes y se conserven en un grupo de animales pero ausentes en otro grupo de la misma especie. Este fenómeno se conoce como «cultura animal». Aunque las connotaciones implícitas en este término siguen siendo controvertidas, las observaciones que han llevado a acuñarlo hablan por sí mismas.

Poco después de la segunda guerra mundial, el primatólogo japonés Kinji Imanishi y sus colaboradores se dispusieron a estudiar los macacos japoneses. Para su sorpresa, se percataron de que distintas tropas de macacos, todos miembros de la misma especie pero que vivían en distintas partes de Japón, mostraban comportamientos muy distintos que iban desde la forma de criar a sus hijos hasta sus hábitos alimentarios. Entre los comportamientos únicos observados en una tropa de macacos pero no en otras estaba la costumbre de lavar los boniatos en un riachuelo antes de comerlos[28]. De modo parecido, se han documentado hasta treinta y nueve patrones de comportamiento distintos relacionados con el uso de herramientas, la construcción de nidos, el acicalamiento y el cortejo en distintas tropas de chimpancés, supuestamente gracias al aprendizaje y la transmisión entre generaciones dentro de comunidades, y no a la transmisión genética[29]. También se han observado en otros primates, e incluso en roedores, comportamientos parecidos «culturalmente transmitidos» y adquiridos por imitación o por instrucción directa de una cría por parte de un animal adulto[30]. Y, para no ser menos, unas amazonas (loros) de Costa Rica también muestran comportamiento «de transmisión cultural»: las distintas poblaciones de estas aves se comunican mediante «dialectos» distintos y diferenciados que aprenden mucho más fácilmente los jóvenes que las aves de mayor edad[31].

La zona de desarrollo próximo se ha invocado en la investigación sobre primates, pero no a menudo[32], y pese a todos mis esfuerzos, no he logrado encontrar nada en la literatura científica sobre cómo ampliar este concepto a la neurociencia comparada de las diferencias individuales en diversas especies. No obstante, si el concepto de zona de desarrollo próximo se puede aplicar de igual modo a la cognición humana y a la animal, ¿por qué no habríamos de hacer lo que los neurocientíficos vienen haciendo desde hace décadas: usar modelos animales como una ventana hacia los mecanismos cerebrales de la creatividad humana y la capacidad para la innovación y sus diferencias entre individuos? La investigación sobre la neurobiología de la creatividad está cobrando fuerza en varios laboratorios de universidades punteras de todo el

mundo, pero cualquiera de esos proyectos se enfrenta al problema de cómo definir, y lo que es aún más espinoso, cómo medir este esquivo constructo. Estos retos podrían ser más fáciles de superar en un estudio con animales en el que se comparen miembros de la misma especie en función del «tamaño de sus zonas de desarrollo próximo», definido como la facilidad relativa con la que dominan unas habilidades cognitivas nuevas mediante la interacción con un instructor humano o no humano. Una vez identificados miembros de la misma especie con zonas de desarrollo próximo grandes y pequeñas, en términos relativos, se podrían comparar sus cerebros con un nivel de detalle que difícilmente puede alcanzarse en la investigación humana. Y como es probable que la neurobiología básica subyacente sea fundamentalmente la misma, es posible que lo que lleguemos a aprender a partir de esos estudios sobre animales nos ofrezca al menos algún conocimiento heurístico útil sobre la naturaleza de la capacidad humana para la innovación, e incluso sobre la creatividad.

De hecho, ya disponemos de observaciones que apuntan a que existen diferencias individuales en el tamaño de la zona de desarrollo próximo en especies animales: entre los delfines, Malia era más «creativa» que Hou; entre los bonobos, Kanzi era más receptivo a la novedad que Matata; ciertos diamantes cebra aprendían más deprisa que otros; y el loro Alex parecía superar de largo a otros loros grises en su capacidad para aprender habilidades «humanas». Estos animales presentaban grandes diferencias en sus «zonas de desarrollo próximo» individuales, pero ¿en qué se diferencian los cerebros de los animales caracterizados por «zonas de desarrollo próximo» más o menos grandes? Identificar y caracterizar estas diferencias en otras especies desde una perspectiva morfológica, bioquímica y genética nos brindaría la oportunidad de conocerlas en nuestra propia especie. Centrarnos en la neurobiología que subyace a las diferencias individuales entre miembros de estas diversas especies nos podría ofrecer un revelador conocimiento sobre la naturaleza de esas diferencias en los humanos.

En términos más generales, cada vez parece más claro que los humanos no somos la única especie cuyos miembros se caracterizan por

un amplio abanico de diferencias en la cognición (como propietario de perros «en serie», hace tiempo que lo sé). Fijémonos, por poner un ejemplo, en la «personalidad». Hace tan solo unas décadas la sola idea de que, con referencia a especies distintas a la nuestra, pudiera hablarse de «personalidad», por no hablar de diferencias individuales en rasgos de la personalidad, habría sido recibida con escarnio, pero ahora está ganando fuerza entre científicos serios. En una revisión publicada en *Science*, una de las revistas científicas más prestigiosas del mundo, Elizabeth Pennisi describe diferencias individuales estables en aves, lagartos y arañas a lo largo de dimensiones como el carácter sociable o solitario, la agresividad o la propensión a un comportamiento de exploración[33]. Si todos estos rasgos están sujetos a diferencias individuales entre los miembros de una especie particular, ¿por qué no habría de estarlo la capacidad para la innovación, tanto por uno mismo como a través de la instrucción? Si abandonamos la concepción de inspiración teológica, pero cándida desde un punto de vista biológico, de que los humanos ocupan una posición totalmente separada del reino animal, abriremos las puertas a la posibilidad de aprender sobre la neurobiología de esas diferencias en los humanos al estudiarlas en nuestros parientes cercanos y lejanos en el reino animal.

¿Por qué es el «tamaño» de la zona de desarrollo próximo un buen indicador de la capacidad de innovación y de la creatividad? Porque modela la naturaleza fundamental de la innovación, que ya hemos descrito anteriormente en este libro, de un modo que no logran hacer los métodos más habituales para medir la creatividad. Un acto de innovación, un acto creativo, es inherentemente dual. La hazaña es individual, pero no se producen aisladamente, sino dentro de una cultura: el actor «se alza sobre los hombros de gigantes». Para un primate creativo, su entrenador humano es ese gigante, y el contacto con la cultura humana puede no solo alterar su comportamiento, sino también dejar una huella en el propio sentido del yo del animal de alguna forma profunda que todavía no hemos llegado a comprender. Algo que Chantek, el orangután, expresó de la forma más conmovedora cuando se refirió a sí mismo como «persona orangután»[34].

9

La mente creativa

UNAS POCAS Y DIGNAS PROEZAS

Eufórico tras sus primeras victorias sobre los persas, Alejandro llegó a la ciudad frigia de Gordio, en la actual Turquía. Allí le mostraron un carro atado a un poste con un complicado nudo. De acuerdo con una antigua profecía, el hombre que consiguiera deshacer el «nudo gordiano» se convertiría en «rey de Asia». Como eso era precisamente lo que Alejandro, famoso por su carácter supersticioso, tenía en mente, y comoquiera que sus tropas esperaban ansiosamente un augurio, de un modo u otro había de deshacer el nudo. Según los historiadores, Alejandro forcejeó con él durante unos minutos, pero sin éxito. Sobre lo que ocurrió entonces, las fuentes antiguas divergen. La tradición popular dice que Alejandro partió el nudo de un golpe de espada, pero según Plutarco y Arriano[1], hizo algo más sutil: extrajo la varilla que conectaba el nudo con la lanza del carro y consiguió así deshacerlo. Sea como fuere, el nudo gordiano fue desanudado y Alejandro procedió a conquistar el extenso imperio persa, convirtiéndose en «rey de Asia». De una singular manera, es posible que el episodio del nudo realmente le ayudase, pues en aquellos tiempos de supersticiones las tropas de Alejandro habrían percibido como un «mal augurio» que su caudillo no lograse desatar el nudo, y eso habría minado su moral con las consecuencias que de ello podrían esperarse.

Dos mil años más tarde, el gran matemático Johann Friedrich Carl Gauss (1777-1855) cortó su propio nudo gordiano en una clase de la escuela primaria cuando su airado profesor le ordenó que calculase la suma de todos los números enteros (números sin fracciones) del 1 al 100 como castigo por su mal comportamiento. Mientras que la mayoría de la gente, obedientemente, habría comenzado a sumar los números uno a uno (en una época en la que no había calculadoras), el joven Gauss comprendió al instante que la suma de dos números cualesquiera equidistantes desde la mitad de la secuencia era siempre la misma: $1 + 100 = 2 + 99 = 3 + 98\ldots = 50 + 51 = 101$. Como hay cincuenta de estas parejas, la solución al problema planteado por el ruin profesor (y que probablemente este desconocía) era $101 \times 50 = 5050$, y el joven Gauss dio con ella en cuestión de segundos[2].

Una de las cosas que distingue a un proceso realmente creativo de uno inteligente pero falto de originalidad es la parsimonia y elegancia de la solución. Varios científicos de reconocida capacidad creativa han explicado que la sensación de «¡ajá!», la impresión de que la solución a un problema difícil está a la vuelta de la esquina, viene desencadenada por la sensación de parsimonia, de una particular elegancia de la solución ofrecida. La capacidad de hallar una solución inesperada sin haber de recurrir al ataque lineal del problema, que es tedioso y laborioso, es una medida de la creatividad individual. Por eso la leyenda del nudo gordiano ha mantenido su estatus icónico durante más de dos mil años.

Una solución verdaderamente innovadora y creativa suele ser inesperada, sorprendente e incluso contraria a la intuición, al menos para un observador casual, y lo mismo puede decirse de la mente creativa responsable de la solución. Son varias las cualidades personales que pueden contribuir a ello, no siempre coherentes o intuitivamente evidentes, a veces incluso mutuamente contradictorias. En este capítulo comentaremos algunas de esas pocas cualidades de la mente creativa. La habilidad de alcanzar soluciones creativas implica que, aparte de las capacidades cognitivas convencionalmente definidas, una persona creativa puede beneficiarse de ciertos rasgos de la «personalidad» que probablemente resulten maladaptativos e incluso contraproducentes en

circunstancias cotidianas, por ejemplo un marco mental inconformista. Como las diferencias individuales en nuestras «personalidades» son también, en gran medida, un reflejo de las diferencias individuales en el cerebro, la discusión que sigue podría conducirnos a especulaciones inesperadas sobre los atributos neurales del cerebro creativo.

¿CONFORMARSE O NO CONFORMARSE?

El doble filo del conformismo

Kevin Joseph Sutherland perdió la vida en 2015, y nada menos que un 4 de julio. Graduado por la Universidad Americana y con solo veinticuatro años, viajaba en la línea roja del metro de Washington, D. C. para encontrarse con un grupo de amigos. El joven de dieciocho años Jasper Spires, delirante probablemente por efecto de drogas sintéticas, subió al mismo vagón con intenciones muy distintas. Le cogió el móvil a Sutherland y, cuando este se resistió, lo golpeó varias veces hasta tirarlo al suelo, y entonces lo pateó y apuñaló treinta o cuarenta veces con un cuchillo hasta matarlo. Procedió entonces a robar a los otros viajeros del vagón, salió del tren en la siguiente estación sin que nadie se lo impidiera, saltó la valla giratoria y desapareció. Al saltar la valla, sin embargo, perdió una bolsa en la que llevaba un carnet, lo que condujo a su captura y arresto[3].

El asesinato de Kevin Sutherland fue presenciado por una docena de horrorizados pasajeros, ninguno de los cuales interfirió o intentó salvarle la vida. ¿Cómo es eso posible? ¿Fue una manifestación de instinto de supervivencia cercano a la cobardía, quizá comprensible en presencia de un matón enloquecido que blandía un cuchillo ensangrentado? No necesariamente, opinaban los expertos en las tertulias de televisión. Podría tratarse de una «difusión de la responsabilidad» debida al «efecto espectador», según el cual los miembros de un grupo tienden a comportarse de un modo parecido. De acuerdo con el psiquiatra Gail Saltz, un experto habitual en la CNN, una persona que presenciase una salvajada como aquella estando solo probablemente interviniera en un

85 % de los casos, mientras que solo lo haría en un 30 % como miembro de un grupo mayor de espectadores. Este es el conformismo en su peor faceta.

Sin duda un episodio como este nos hace ver el «conformismo» como una mala palabra, nos hace pensar en la «banalidad del mal» de la Alemania nazi, en los niños que denunciaban a sus padres en la Rusia de Stalin, en la sumisión como borregos de los miembros de la secta de Jonestown. Los «ingenieros sociales» de los regímenes totalitarios y los mezquinos demagogos de sectas como Jim Jones sabían muy bien cómo sacar partido de la propensión humana al conformismo. No obstante, pese a sus demasiado frecuentes usos aberrantes, el fenómeno en sí es el pegamento básico del comportamiento de grupo, y tiene profundos efectos prosociales. Es el prerrequisito de la cohesión social tanto en sus manifestaciones benignas como en las malignas. Sin cierto grado de coordinación y coherencia entre los comportamientos individuales, un grupo social sencillamente no puede existir. Por poco intuitivo que parezca, el conformismo es, para bien o para mal, el pegamento de los regímenes totalitarios tanto como de las democracias.

El conformismo parece ser un fenómeno universal que impregna la toma de decisiones en asuntos grandes y pequeños, para hacer el bien o para hacer el mal. En un célebre experimento realizado por el psicólogo Solomon Asch, se pidió a los sujetos que emparejasen una línea con otra de una serie de tres en función de sus longitudes relativas. Aunque la elección correcta era evidente, la mayoría de los sujetos se desviaron de ella al menos en cierto grado por la respuesta claramente incorrecta de un falso participante del experimento que fingía representar la «opinión mayoritaria»[4]. A un nivel más malévolo, los ideólogos totalitarios siempre han sido duchos en el arte de la «gran mentira», bombardeando a la población con el mismo mensaje desde todas las direcciones. Y un estudio transcultural de Simon Gächter y Jonathan Schultz que incluía veintitrés países nos han enseñado que cuanto más corrupta es una sociedad en su conjunto, más frágil es la honestidad individual de sus ciudadanos[5].

El conformismo parece tener fuertes raíces evolutivas y está presente en sociedades animales con una organización muy jerarquizada. Ariana Strandburg-Peshkin y colaboradores siguieron a una tropa de babuinos con un sistema de posicionamiento global (GPS) para descubrir cómo se tomaban las decisiones sobre la dirección en que se movía la tropa. Lo que descubrieron fue que esta se mueve en la dirección elegida por la mayoría de sus miembros, no la elegida por el líder alfa: una protodemocracia en acción[6].

Conformismo y cerebro

¿Qué hace una discusión sobre el conformismo en un capítulo sobre la mente creativa? Con frecuencia aprendemos algo sobre la naturaleza de las cosas examinando sus contrarios. Que todo acto creativo de consecuencia es un ejercicio de inconformismo es una verdad evidente que no requiere mayor elaboración. Es obvio que la propensión al inconformismo no es un prerrequisito suficiente de la creatividad, pero sí cabe considerar que sea necesario. Por muy original que sea un pensador, si cualquier disparidad entre su pensamiento y el que prevalece en la sociedad puede llegar a espantarlo y convertirse en un obstáculo, el proceso creativo casi con seguridad quedará abortado y frenado hasta quedar en nada. Sean cuales sean los otros rasgos que deba poseer una persona creativa, la capacidad de resistir las presiones implícitas a tal disonancia, la de soportar la carga de ser un iconoclasta, se encuentra entre ellas. En algunas sociedades, el coste del inconformismo puede ser extremadamente elevado para una persona creativa. Pensemos en el gran Galileo Galilei (1564-1642), perseguido por la Inquisición por su visión heliocéntrica de la cosmología y forzado a pasar las dos últimas décadas de su vida en arresto domiciliario; o en Nikolái Vavílov (1887-1943), el científico soviético que el régimen de Stalin encerró por sus investigaciones genéticas en el Gulag, donde murió de inanición. Pensemos también en los artistas modernistas perseguidos en la Alemania nazi dentro de la campaña contra el «arte degenerado» («*Entartete Kunst*», un entrañable giro acuñado por Joseph Goebbels); y

de la parecida, aunque no tan agresiva campaña contra el modernismo en la Unión Soviética bajo el mandato de Nikita Jrushchov, en la década de 1960.

Bienvenidos a la corteza cingulada anterior (CCA). Hace tiempo que sabemos que la CCA se activa cuando el organismo topa con una disparidad entre sus expectaciones y la realidad; en otras palabras, cuando se produce una detección de error. La CCA también parece activarse preventivamente en las situaciones en las que es *probable* que ocurra un error a causa de una creciente competencia entre respuestas posibles[7]. Da la impresión de que la CCA es un estructura recelosa, el aprensivo que desde el cerebro avisa al organismo para que no «se meta en líos».

Pero ¿en qué líos? Sabemos que la aparición de la corteza cingulada durante la evolución está vinculada a la aparición del comportamiento social, como el cuidado de la progenie. Los mamíferos con la corteza cingulada anterior intacta realizan buenos cuidados parentales, mientras que los daños en esta región del cerebro provocan una pérdida de las habilidades de cuidado parental, e incluso de la propensión a realizar esos cuidados[8]. Las lesiones en la corteza cingulada de los macacos reducen la cantidad de tiempo que dedican a las interacciones sociales al tiempo que aumenta el que dedican a la manipulación de objetos inanimados[9]. Las investigaciones bioquímicas apuntan en la misma dirección: la vasopresina, un neuropéptido estrechamente implicado en los comportamientos sociales y en la regulación de las emociones en los mamíferos, es especialmente activa en la corteza cingulada[10]. ¿Acaso la detección de error o su anticipación por la CCA cobran pleno sentido en el contexto social? ¿Es la CCA el conformista del cerebro, el encargado de que el comportamiento individual concuerde con el del grupo?

En un experimento realizado por Vasily Klucharev y colaboradores en el Instituto Donders del Cerebro, la Cognición y el Comportamiento, en los Países Bajos, se presentó a los sujetos (todos mujeres) una serie de fotografías de rostros de mujeres y se les pidió que juzgaran su belleza de acuerdo con una escala numérica. Después de calificar un rostro, al sujeto se le enseñaba una puntuación que

presuntamente reflejaba la opinión mayoritaria del grupo de sujetos, y que era significativamente diferente de la propia del sujeto en cuestión. Esta discordancia entre la opinión individual y la del grupo provocaba un pico de activación de la CCA que se registraba con la ayuda de técnicas de resonancia magnética funcional (RMf) y magnetoencefalografía (MEG). Además, cuanto mayor era la activación, más ansiedad mostraba el sujeto que «disentía» por revisar su propia puntuación para que concordara con la del grupo[11]. Sin embargo, cuando la CCA se inhibía temporalmente mediante estimulación magnética transcraneal repetitiva (EMTr), la ansia por acomodarse a la opción mayoritaria desaparecía[12]. El efecto dual (la propensión al conformismo asociada con una fuerte activación de la CCA y la eliminación del efecto tras la inhibición de la CCA) apunta directamente al papel de esta estructura en el comportamiento conformista.

¿Cuáles son las implicaciones de estos descubrimientos para nuestra comprensión de las diferencias entre el cerebro conformista y el inconformista? Del mismo modo que estos experimentos nos informan sobre los mecanismos cerebrales del conformismo, nos conducen a enunciar interesantes hipótesis sobre los mecanismos cerebrales del inconformismo, o al menos sobre sus prerrequisitos. Bajo esta luz, las personas con una CCA menos activa, o quizá morfológicamente más pequeña, serían menos reacias a discrepar de la mayoría, más tolerantes con las presiones por «ir a su aire», y por lo tanto más dispuestas para manifestar el coraje de la discrepancia intelectual, artística y tal vez incluso moral que tan importante es en todo proceso creativo que produzca innovaciones significativas. Curiosamente, aunque tal vez no sea casual, la corteza cingulada es más pequeña en el hemisferio derecho que en el izquierdo en paralelo con los papeles relativos que desempeñan los dos hemisferios en el tratamiento de la novedad cognitiva (derecho) frente a las rutinas cognitivas (izquierdo)[13]. Y a riesgo de que resulte simplista, me inclino por considerar la posibilidad de que la CCA tenga un tamaño algo menor o sea fisiológicamente menos activa en los zurdos naturales, una proposición muy fácil de falsar con un estudio morfométrico (que, por lo que yo sé, todavía no se ha hecho).

Para examinar más a fondo el papel de la CCA en el conformismo social, consideremos lo siguiente. En un experimento típico con técnicas de neuroimagen funcional, el «mensaje de error», la conclusión de que la respuesta del sujeto no se corresponde con la respuesta correcta, que a su vez desencadena un pico de activación de la CCA, no la establece directamente el sujeto, sino que se le comunica a través de una «figura de autoridad virtual», normalmente una pantalla de ordenador en la que aparece una valoración: «correcto» o «incorrecto». La presencia de una autoridad virtual que «juzga» el comportamiento del sujeto introduce en el experimento un claro componente social para el que no suele establecerse un control. ¿Cuál podría ser un control apropiado? Tal vez podría servir como control experimental una situación en la que se pida al sujeto que juzgue una magnitud, por ejemplo la longitud de una línea, que luego el mismo sujeto mediría directamente, llegando así por cuenta propia a una conclusión sobre la exactitud de su juicio. En este caso, la discordancia entre la respuesta del sujeto y la respuesta correcta estaría desprovista de las connotaciones sociales de la no conformidad. ¿Sería el nivel de activación de la CCA en respuesta a la detección de error el mismo con y sin el componente social, o sería distinta?

En el experimento de Klucharev sobre la belleza, podría establecerse un control experimental pidiendo a los sujetos que juzgasen la edad, de manera que en lugar de enfrentar la opinión del sujeto a la opinión simulada de la mayoría, la estimación del sujeto se comparase con unas edades «reales» igualmente simuladas. De este modo, en ambas tareas se compararía una predicción con un resultado, pero mientras que en el primer caso esta comparación tendría las connotaciones sociales de conformidad o no conformidad con una «opinión mayoritaria», en el segundo caso no sería así, puesto que el juicio individual se compararía con un «hecho» impersonal, no con la «opinión» de un grupo. No sorprendería que en tales situaciones de detección de error desprovistas de matices de aprobación social, la activación de la CCA tras una discordancia se redujera o, al menos, fuese de algún modo distinta.

Nótese que la CCA (así como la corteza frontoinsular y prefrontal lateral y orbital) es donde se encuentran las neuronas de von

Economo[14]. Estas neuronas (también conocidas como células en huso) son notables por tener axones muy largos que se proyectan hacia la corteza posterior. Como ya hemos mencionado, las neuronas de von Economo proveen una comunicación rápida entre regiones muy apartadas del cerebro y se encuentran en las especies de mamíferos con cerebro de tamaño grande y una cognición y comportamiento social altamente desarrollados: humanos, grandes simios, elefantes y ballenas. Son más abundantes en el hemisferio derecho que en el izquierdo y cabe suponer que son importantes en la regulación de la cognición social y del comportamiento social[15].

Los daños a las neuronas de von Economo son frecuentes en la demencia frontotemporal, y provocan pérdida de juicio social, empatía y autocontrol en las interacciones con otras personas[16]. Esto puede hacer que resulte un tanto desconcertante mi afirmación de que un tamaño reducido de la CCA (posiblemente pero no necesariamente asociado a un número reducido de neuronas de von Economo) pudiera ser un rasgo adaptativo, estimulador de la creatividad, puesto que se podría pensar que una rápida comunicación entre la corteza prefrontal y otras partes del cerebro es también un requisito previo importante para el proceso creativo, como probablemente sea el caso. Sin embargo, esta aparente contradicción podría ser en realidad un reflejo de una característica profunda de la evolución del cerebro y de la evolución en general. No cabe esperar que el proceso evolutivo posea la perfecta organización de una composición orquestal. Muy al contrario, como bien argumentaba Stephen Jay Gould (1941-2002), la evolución está repleta de contradicciones, incoherencias y adaptaciones *ad hoc*. Como ya sabemos, las vías que conducen a la creatividad son múltiples, y en distintos individuos dependen de constelaciones distintas de estructuras neuronales. El papel de la CCA en el proceso creativo ha sido propuesto por muchos autores. Es posible que tanto una CCA hiperactiva/grande como una CCA hipoactiva/pequeña beneficien al proceso creativo pero por vías distintas: facilitando la interacción frontoposterior a través de las neuronas de von Economo («cuanto más grande, mejor»), o

liberando a la persona creativa de las garras de la conformidad («menos es más»).

LA TEORÍA DE LA MENTE COMO ARMA DE DOBLE FILO

Un verdadero conformista no solo conformará sus puntos de vista con los de otras personas, sino que además intentará anticiparse a opiniones todavía no declaradas. Este conformismo anticipativo está estrechamente relacionado con la capacidad de entrar en la mente de otras personas, la «teoría de la mente». Sabemos, naturalmente, que la «teoría de la mente» es algo bueno. Todos hemos aprendido que es una de las manifestaciones más avanzadas de la función del lóbulo frontal, el pegamento de interacciones sociales complejas, y que las personas con déficits en el ámbito de la «teoría de la mente» sufren una grave desventaja social. Es bastante obvio que es indispensable en muchos campos que requieren creatividad.

Un artista de la interpretación debe conectar con su público a un nivel visceral, si no intelectual, igual que un político dotado de un talento «natural». La capacidad de «leer» el público es esencial para su éxito. Y probablemente pueda decirse lo mismo de cualquier actividad en la que la persona creativa debe entrar en sintonía con el público en general. Un empresario no debe poseer únicamente un buen sentido del actual marco mental colectivo de los consumidores, sino que debe ser capaz de anticiparse a la dirección en la que este cambia. Steve Jobs, el fundador de Apple, es recordado por su capacidad técnica, pero sobre todo por su habilidad para anticipar las necesidades percibidas por la gente, incluso de «crearlas». Por otro lado, cuando a mediados del siglo XIX George Boole (1815-1864) introdujo lo que hoy conocemos como álgebra booleana o lógica booleana en un libro con el ambicioso título de *Investigación sobre las leyes del pensamiento*, ¿se dejó guiar por la presciencia de que, un siglo más tarde, su invención matemática sentaría los cimientos del valiente nuevo mundo de las computadoras y otras tecnologías digitales? Seguramente no[17]. «Nada resulta más práctico que una buena teoría» es una máxima muy citada que se atribuye al

psicólogo Kurt Lewin (1890-1947), y que por lo general es cierta. Pero eso no siempre significa que la mente creativa que hay tras una «buena teoría» se vea necesariamente movida por la anticipación de sus aplicaciones prácticas, sino más a menudo por la lógica interna de la disciplina y el sentido personal de la importancia intelectual intrínseca.

Así pues, ¿es posible que a un matemático o a un físico teórico innovador le resulte liberador sentirse ajeno a la opinión mayoritaria de sus colegas, ya sea declarada o, en particular, anticipada? Al fin y al cabo, ser demasiado consciente de esas opiniones puede intimidar e invitar al conformismo. Una capacidad para la «teoría de la mente» bien desarrollada puede ser un don indispensable en ciertas empresas creativas, pero un impedimento en otras.

¿Cómo medimos la capacidad de penetrar en la mente de otras personas, la capacidad para la «teoría de la mente»? Disponemos de varios paradigmas para estudiarla que suelen centrarse en «duetos», es decir, en lo que un individuo puede leer en la mente de otro. Pero es igual de interesante, si no más, sobre todo en el contexto de nuestra discusión, medir la capacidad de una persona para formarse una idea del marco mental «colectivo», una suerte de media ponderada que capte la opinión, actitud o procesos de pensamiento de un grupo. ¿Cómo se podría medir la lectura que hace un individuo de la mente colectiva de un grupo?

Consideremos el juego de «⅔ del promedio». A un jugador se le pide que escoja un número entero entre 0 y 100 que sea ⅔ del número promedio escogido por otros participantes en el juego. En realidad, el juego tiene que ver con la teoría de la mente, pero de un grupo, no de una mente individual. Una persona totalmente desprovista de esta capacidad se limitaría a escoger el número 67, el más alto que se puede escoger sin romper las reglas del juego, pero para escogerlo hay que estar totalmente ajeno a los otros jugadores. Los participantes en el juego probablemente no lo escojan porque un individuo tan obtuso como para hacerlo seguramente no se interesaría nunca por un juego cerebral de este tipo; es más probable que se vaya a tomar una cerveza al bar de la esquina. Alguien que tome en cuenta los estados mentales de otras

personas supondrá que el número escogido por otros jugadores no será mayor que ⅔ de 67, o 45. Quien atribuya a los otros jugadores una «teoría de la mente» más honda considerará aún otro paso (lo que daría 30), y quizá otros más. Un conjunto de jugadores totalmente «racionales» llevará esta iteración a su fin lógico, llegando todos ellos a la solución de 0, un resultado que en la teoría del juego se conoce como «equilibrio de Nash»[18].

Pero tal como nos ha enseñado la economía del comportamiento, los seres humanos de carne y hueso nunca son «infinitamente racionales», y la «racionalidad» se presenta en dosis muy diversas en distintos individuos. A los economistas académicos les ha llevado décadas descubrir que los modelos construidos bajo la suposición de una «racionalidad perfecta» raramente capturan el comportamiento de las personas reales, pero las personas dedicadas a la toma de decisiones en la práctica siempre lo han sabido. Se cuenta que uno de ellos, un individuo sin duda excepcional llamado Napoleón Bonaparte, hizo el célebre comentario de que ganar una batalla no tenía tanto que ver con disponer de un plan de ataque «perfecto» como con anticipar con precisión los movimientos imperfectos del enemigo. De igual modo, un participante reflexivo del juego de «⅔ del promedio» hará una elección a partir de sus suposiciones sobre las suposiciones de los otros jugadores.

Convencido de ello, la primera vez que jugué a este juego en línea hice una serie de suposiciones arbitrarias: que en una muestra típica de jugadores, el 10 % escogería 45, el 20 % escogería 30, el 40 % escogería 20, el 20 % escogería 13 y el 10 % restante escogería 9. Eso daba una estimación de 22 como número promedio elegido por una muestra típica de jugadores, de modo que mi elección como solución al problema fue 14 o 15. ¿Hasta qué punto resultaron precisas mis suposiciones sobre los procesos mentales de los otros jugadores? Para descubrirlo, visité la página web del juego, donde cada día se mostraban los resultados de los cien jugadores más recientes. En cinco días consecutivos, los números promedio fueron 10, 9, 10, 10 y 12. Parece que los otros jugadores tenían de mí una opinión más halagadora que yo de ellos. Había subestimado la

«teoría de la mente» de grupo de los otros jugadores, pero no por mucho.

Pero eso es solo mi caso, el de un neuropsicólogo clínico bastante normal. ¿Cómo responderían a un test como este unos individuos con un historial reconocido de innovación y creatividad de relevancia? ¿Serían los resultados uniformes, o «específicos de un ámbito», o incluso muy distintos para distintas esferas de la creatividad? ¿Se verían reflejados los distintos perfiles de desempeño en estas tareas de «teoría de la mente» en diferencias distintivas en el cerebro de los jugadores, reveladas mediante técnicas de neuroimagen? Una capacidad excepcional para la innovación y la creatividad ¿se vería reflejada en un perfil de «teoría de la mente» distintivo? ¿O acaso no tendrían relación alguna, en cuyo caso el rendimiento en juegos como «⅔ del promedio» resultaría ser igual en las personas brillantes que en una persona cualquiera? En la medida que exista esa diferencia, ¿hallaremos una correlación positiva entre la creatividad y penetración de la «teoría de la mente», o, en contra de la intuición, tomará la forma de una mayor creatividad asociada con una menor penetración de la «teoría de la mente»? Estas son preguntas interesantes que todavía no se han intentado responder de manera sistemática, y juegos como «⅔ del promedio», que ya se han utilizado en investigaciones de economía del comportamiento, todavía tienen que incorporarse al arsenal de investigación de la neurociencia cognitiva en general.

Mi muestreo de la respuesta promedio sobre los «⅔» por cien jugadores durante varios días produjo unos resultados extremadamente estables: en cualquiera de los días, se situaba entre 9 y 12. Suponiendo que las personas que se sienten atraídas por este juego no representan en sí mismas unos casos atípicos (aparte de poseer una mente alerta e inteligente), este resultado sugiere una uniformidad sorprendente (al menos para mí) en el razonamiento mediante la «teoría de la mente» en la población general para un juego de este tipo. Para cerciorarme de que no hubiera una explicación más trivial, por ejemplo que eran muy pocas las personas que participaban en el juego y el conjunto de los «cien jugadores más recientes» no cambiaba demasiado en cinco días

consecutivos, consulté la página web durante cinco días más, esta vez más espaciados, varios meses más tarde. Los promedios de los jugadores fueron muy parecidos a los de antes: 12, 13, 13, 13, 14 (y más cercanos a mi propia apuesta).

La uniformidad en el desempeño entre personas «comunes» (suponiendo, naturalmente, que sean «comunes» quienes se ven atraídos por un juego como este) hace del juego de «⅔ del promedio» y otros por el estilo unos candidatos adecuados para identificar personas con procesos relacionados con la «teoría de la mente» fuera de lo habitual, entre ellos tal vez a los dotados de talentos inusuales de varios tipos.

CREATIVIDAD E INTELIGENCIA

¿Hasta qué punto es creativa una mente inteligente? ¿Hasta qué punto es inteligente una mente creativa? La relación entre inteligencia y creatividad ha intrigado a los psicólogos durante décadas, y la investigación sobre esta relación ha crecido hasta constituir todo un género, cuyo padre posiblemente encontremos en Joy Paul Guilford (1897-1987). La pregunta que planteó Guilford es la siguiente: «¿Es la creatividad un corolario de la inteligencia general, o se trata de un rasgo distinto que no tiene por qué coincidir con la inteligencia general?». Guilford propuso que un nivel significativo de creatividad requiere una inteligencia relativamente elevada, pero que esta relación se rompe a niveles muy altos de inteligencia. La idea, que pasó a conocerse como «teoría del umbral», propone que inteligencia y creatividad se encuentran un tanto correlacionadas en personas con un CI por debajo de 120, pero que esta correlación se rompe para valores más altos de CI. Algunas investigaciones recientes parecen apoyar esta idea[19].

Naturalmente, cualquier discusión rigurosa sobre inteligencia y creatividad, juntas o por separado, descansa sobre nuestra capacidad para hacer operativos estos constructos y cuantificarlos. En la literatura contemporánea, el concepto de *inteligencia* suele hacerse operativo en forma de coeficiente de inteligencia (CI), que se mide de acuerdo con la versión más reciente de la Escala Wechsler de Inteligencia para Adultos,

o WAIS (por sus siglas en inglés). ¿Y la creatividad? Guilford introdujo el concepto de «pensamiento divergente» (en contraste con el «pensamiento convergente»), y este se convirtió en la piedra angular de la investigación sobre la creatividad y de su medición. Pero, exactamente, ¿qué es? En su deliciosamente creativa obra *Creativity 101*, James Kaufman define el pensamiento divergente como una «respuesta a preguntas que carecen de respuestas obvias y únicas»[20]. Da la impresión de que el intento de definir «pensamiento divergente» sea todo un ejercicio de pensamiento divergente.

¿Qué es, pues, lo que medimos? Los psicólogos hacen bien en preocuparse por la «validez ecológica» de sus test, es decir, de la medida en que reflejan demandas cognitivas de la vida real. ¿Y qué decir de la «validez existencial» de nuestros test, de la medida en que reflejan lo que es importante y significativo? Cuando los compañeros de trabajo y los amigos de Johnny dicen de él que es «muy inteligente», quieren decir que es «brillante» o «listo»; y cuando dicen de Bobby que tiene «poca inteligencia», se refieren a que es «corto» o «estúpido». No tienen ni idea de cuáles son sus CI-WAIS expresados con tres (bueno… dos) dígitos, ni les importa. Lo que de verdad les importa es esa esquiva cualidad del habla común (a diferencia de la investigación psicológica o los informes clínicos) que «cuando la ves, la reconoces» a la que llamanos «inteligencia».

Nuestra cultura está impregnada de la suposición implícita de que esta esquiva cualidad puede captarse y cuantificarse mediante un solo número. La idea de «inteligencia general», que supuestamente recoge el mágico CI, lleva décadas firmemente arraigada en la cultura popular. Son muchas las disposiciones burocráticas, administrativas y legales que se basan en esta suposición implícita, sobre la que se han escrito cientos de artículos. Sin embargo, la sola idea de que el CI-WAIS sea una medida significativa de la «Inteligencia con I mayúscula» podría deberse a una coincidencia casi cómica en una elección de palabras accidental. Si David Wechsler hubiera llamado a su famosa prueba «Test Wechsler de la Función Mental en Adultos», o «Test de Nueva York-Bellevue de la Función Mental», o «Test de Broma del Alegre Psicólogo», o cualquier

cosa menos «Test Wechsler de Inteligencia para Adultos», es muy posible que hoy no llevase adherido ninguno de los significados añadidos implícitos en el elevado término «inteligencia», y la idea de que una variable pueda capturar la «inteligencia» humana en un solo número ni siquiera se habría planteado. Pero eso es precisamente lo que ha ocurrido. Se ha afirmado que la variación individual en la inteligencia definida por el CI predice la variación individual en cualquier tarea cognitiva[21]. Sin embargo, incluso si dejamos de lado la cuestión de que «cualquier» es un espacio muy grande, el hecho de que el CI se calcule como una medida derivada que resume el rendimiento individual en un gran número de tareas específicas hace que esta afirmación sea inherentemente circular.

¿Cuál es la relación entre el CI-WAIS, o, para el caso, entre cualquier otra medida psicométrica de la «inteligencia», y el juicio cotidiano emitido por cualquier persona acerca de otra para situarlos en una escala continua intuitiva de «tonto» a «listo»? No lo sabemos. En mi anterior libro, *The New Executive Brain*[22], propuse un experimento diseñado para clarificar esta relación. Por lo que yo sé, todavía no se ha llevado a cabo.

Esbocemos aquí una versión modificada de ese experimento. Es necesario seleccionar dos paneles demográficamente equivalentes de participantes legos, desconocedores de las teorías de la inteligencia (¡no valen psicólogos!): «entrevistadores» y «entrevistados» (pueden ser dos grupos o uno solo en el que cada miembro ejerza las dos funciones). Cada «entrevistador» dedicará una cantidad de tiempo predefinida (quizá unas pocas horas) a cada «entrevistado» en una interacción libre o semiestructurada. A partir de esta interacción, cada entrevistador calificará a cada entrevistado según una escala de «listo-tonto» (LT) de varios puntos, de modo que para cada entrevistado se calculará un CLT (Coeficiente Listo-Tonto) que permitirá ordenarlo en la escala LT. Además, se pasará a cada entrevistado la versión más actual del «Test Wechsler de Inteligencia para Adultos» (CI-WAIS, en el momento de escribir esto)[23] o de alguna otra escala psicométrica de «inteligencia», y de nuevo se ordenará a los sujetos de acuerdo con los CI resultantes.

¿Cómo será la correlación entre la ordenación CI y la ordenación CLT? Esta es una interesante pregunta que todavía aguarda una respuesta clara. Llamémoslo Experimento 1.

Podemos plantear una pregunta parecida con respecto a la creatividad. Cuando juzgamos a alguien «creativo» y a otra persona como desprovista de originalidad, no tenemos ni idea de su rendimiento en un test de «pensamiento divergente», ni nos importa. Evaluando los productos de sus esfuerzos nos hacemos una idea de lo creativos que son diferentes miembros de grupos de emprendedores y profesiones «creativas». Los científicos, artistas y emprendedores constantemente se comparan con sus pares, igual que hacen sus pares, y esas calificaciones entre pares se han utilizado en varios proyectos de investigación sobre la creatividad[24]. En esta línea, Lev Landau (1908-1968), un físico teórico soviético galardonado con el Premio Nobel, de los más destacados de su generación y dotado de una pintoresca personalidad, llegó a desarrollar una «escala logarítmica» de productividad y creatividad que iba de 0 (la más alta) a 5 (la más baja), sobre la que situó a los físicos más importantes. Newton se llevó un 0, Einstein un 0,5, los fundadores de la mecánica cuántica Niels Bohr, Paul Dirac, Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger, un 1, y el propio Landau un 2[25].

No hay manera de saber qué habría opinado Landau de los problemas de pensamiento divergente que se suelen utilizar en la investigación sobre la creatividad, pero hay buenas razones para pensar que los habría rechazado con desdén por ser «demasiado estúpidos para resolverlos». A la edad de cincuenta y cuatro años, Landau sufrió un grave traumatismo craneal en un accidente de coche y fue hospitalizado en el Instituto Burdenko de Neurocirugía de Moscú, donde yo mismo inicié mi aprendizaje en el laboratorio de Aleksandr Lúriya algunos años más tarde. Según el relato transmitido en la institución, así como la memoria escrita por su viuda, cuando los neuropsicólogos se dirigieron a Landau con sus test, los persiguió hasta echarlos de la habitación embargado por un frío furor, claramente ofendido por la aparente simplicidad de las pruebas[26]. Pero aun en el caso de que lo hubieran podido convencer de que realizase algunos test de pensamiento divergente, nada nos garantiza

que Landau los hubiera realizado bien pese a ser uno de los físicos teóricos más brillantes de su generación, admirado casi como un genio por sus colegas. De acuerdo con Keith Sawyer, uno de los más destacados investigadores de la creatividad, entre estos está creciendo el consenso de que los test de pensamiento divergente «no son medidas válidas de la creatividad en la vida real». De igual modo, un metaanálisis de un gran número de estudios ha llevado a la conclusión de que un buen rendimiento en los test de pensamiento divergente en los niños no es un buen predictor de sus logros creativos en la vida real durante la edad adulta (la correlación es de solo 0,216), como tampoco lo es el CI (con una correlación de 0,167)[27].

Consideremos ahora el Experimento 2. Tomemos una muestra de científicos (o artistas, escritores o emprendedores) y pidámosles que se califiquen unos a otros anónimamente (todos habrían de pertenecer al mismo campo de actividad) según una escala de varios puntos de «creativo a estéril» (CE); con un poco de suerte se podría conseguir que dejasen a un lado sus celos y sus rivalidades tribales. Se calcularía entonces un promedio de esas puntuaciones para cada participante con objeto de obtener un valor de CCE (Coeficiente Creativo-Estéril). Los CCE individuales se ordenarían de acuerdo con la escala CE.

Pasemos a continuación a nuestros participantes los supuestos test de «creatividad», los de pensamiento divergente, que se utilizan con mayor frecuencia (nuestros participantes probablemente estarían más dispuestos a someterse a ellos que Lev Landau, pues la mayoría no habrían sido galardonados con un Nobel o un Pulitzer) y luego los ordenaríamos de acuerdo con su rendimiento en estos test. ¿Cómo será la correlación entre el orden basado en el «pensamiento divergente» y el basado en el CCE? Otra interesante pregunta que también aguarda una respuesta clara.

Por último, consideramos un Experimento 3, que en realidad es una versión del Experimento 1 en el que participarían los sujetos del Experimento 2. En este caso, los participantes en el Experimento 2 serían los «entrevistados» (para los cuales ya habríamos obtenido una ordenación CCE) y los «entrevistadores» serían miembros del público

general no implicados ni especialmente interesados en el área de creación en cuestión: gente normal y corriente. Siguiendo las normas del Experimento 1, los entrevistadores puntuarían a los entrevistados según la escala LT, y para cada uno de los entrevistados se computaría un CLT individual. Ahora disponemos de dos ordenaciones o *rankings* «existencialmente válidas», una de inteligencia, la otra de creatividad, que reflejarían el juicio emitido por personas reales del mundo real y no tendrían nada que ver con el CI-WAIS (u otras medidas psicométricas de inteligencia) ni con los test de laboratorio de pensamiento divergente que se suelen usar en la investigación sobre la creatividad. ¿Hasta qué punto estarían correlacionadas las ordenaciones CLT y CCE? Esta es una forma muy diferente de plantear la pregunta sobre la relación entre inteligencia y creatividad, y la respuesta, si algún día llegamos a conocerla, podría sorprendernos.

UNOS POCOS TEST QUE MERECEN LA PENA

Dado que, lamentablemente, los genios reconocidos no abundan, y dado que la disponibilidad de sus cerebros para neuroimagen y autopsias es todavía menor, buena parte de la investigación sobre los mecanismos cerebrales de la creatividad y la innovación ha tenido que realizarse con sujetos relativamente corrientes que realizan test de laboratorio que presuntamente miden la creatividad. Son muchos los estudios que se han realizado para relacionar diferencias individuales en el cerebro con el desempeño en test de pensamiento divergente, de generatividad y otros. Se puede poner en duda la relación entre estos test y lo que realmente queremos medir, la Creatividad con C mayúscula, y yo me cuento entre quienes dudan. Mientras examinaba algunos de los test psicológicos diseñados para medir la «creatividad», a menudo me quedaba con la impresión de que el destello de espontaneidad efervescente, de elegancia y de parsimonia estaban tristemente ausentes en su diseño. Al contrario, a menudo invitaban justamente a lo contrario, a un esfuerzo laborioso y forzado, lleno de jadeos y resuellos. Para colmo, las «métricas» diseñadas para ordenar en un *ranking* los resultados de esos esfuerzos suelen ser

igualmente artificiosas, forzadas y faltas de elegancia. Otro de los grandes problemas de los test de «pensamiento divergente» es que se quedan cortos con respecto al principal criterio de creatividad: la combinación de novedad y utilidad. Es ahí donde los constructos de creatividad y novedad divergen. Un uso esotérico, al borde de la extravagancia, de un ladrillo (un objeto que parece ser uno de los predilectos en las tareas de «múltiples usos») puede ser novedoso, pero difícilmente será útil.

No obstante, hay varios estudios realizados con «test de creatividad» que son verdaderamente interesantes e incisivos. Estos a menudo utilizan los Test de Torrance de Pensamiento Creativo (TTPC). Diseñado por Ellis Paul Torrance para medir el «pensamiento divergente», este conjunto de test requieren del sujeto que proponga tantos usos como le sea posible de un objeto como (sorpresa, sorpresa) un ladrillo, que ornamente un dibujo simple de tantas maneras como se le ocurran, y que resuelva varias otras tareas ingeniosas. El TTPC ha sido el pilar de la investigación sobre la creatividad durante más de medio siglo[28]. Y resulta que el rendimiento en este test se encuentra positivamente correlacionado con el volumen del lóbulo parietal derecho[29].

En otro estudio, Rex Jung y sus colaboradores administraron el Cuestionario de Logros Creativos y tres test de «pensamiento divergente» a un grupo de sujetos jóvenes. Cuando el rendimiento se correlacionó con el grosor cortical de varias regiones de la corteza, se puso de manifiesto un claro patrón: un aumento de la creatividad se asociaba con un aumento del grosor cortical en el giro angular y en la corteza cingulada posterior del hemisferio derecho, y con un descenso del grosor cortical en diversas áreas de los lóbulos frontal, parietal, occipital y temporal del hemisferio izquierdo[30].

En una serie de estudios, algunos de los cuales ya describimos en el capítulo 5, Takeuchi y colaboradores, de la Universidad Tohoku (Japón), han demostrado que el rendimiento en un test de pensamiento divergente en un grupo de jóvenes adultos sanos estaba positivamente correlacionado con el tamaño de la corteza dorsolateral derecha y con la

integridad de la materia blanca en el lóbulo parietal inferior derecho (un área formada por los giros angular y supramarginal, que desempeñan un papel central en la cognición compleja)[31].

Así pues, aun teniendo en cuenta todas las advertencias en contra de relacionar rasgos complejos con estructuras cerebrales específicas, por lo que atañe al hemisferio derecho en relación con la creatividad, «el tamaño importa», siempre y cuando aceptemos que el rendimiento en los test de pensamiento divergente y otros por el estilo tiene algo que ver con la propiedad real que se quiere medir, que es la creatividad significativa y relevante en la vida real. Y esto, como ya hemos argumentado, ha sido más un artículo de fe que una relación empíricamente demostrada.

Una manera de incrementar nuestra confianza en los resultados experimentales sería que hallásemos una convergencia entre los resultados obtenidos con distintas metodologías, en este caso, entre los estudios estructurales y los funcionales. Un equipo de científicos australianos estudió los correlatos electrofisiológicos de la «perspicacia en la resolución de problemas» en los que intervenían asociaciones verbales remotas. A causa de la naturaleza verbal de la tarea, cabía esperar una especial implicación del hemisferio izquierdo; sin embargo, los cambios relacionados con la tarea se observaron en las regiones temporal derecha y prefrontal derecha en varios estadios de la resolución de los problemas[32]. En un estudio relacionado, en el que la tarea consistía en pensar en usos alternativos de objetos comunes, en los sujetos más originales se registró una implicación predominante del hemisferio derecho (sincronización alfa relacionada con las tareas), mientras que en los sujetos menos originales no se observaron asimetrías hemisféricas relacionadas con las tareas[33]. La naturaleza exacta de la implicación del hemisferio derecho en estos experimentos no está clara, pero podría interpretarse como una relajación del control que ejerce el lóbulo frontal sobre la corteza posterior, tal como hemos descrito en el capítulo 7.

La activación del lóbulo frontal en el proceso creativo es un hallazgo bastante común, pero su interpretación es un tanto equívoca. Mediante la medición del flujo sanguíneo cerebral regional (FSCr), un equipo de

científicos de la Universidad de Lund, en Suecia, hallaron diferencias entre sujetos de alta y baja creatividad en una tarea de pensamiento divergente (basada en múltiples usos de, ¿qué si no?, un ladrillo); los primeros mostraban una significativa activación bilateral en la corteza prefrontal, los segundos solamente una activación unilateral en el lado izquierdo[34].

Diversos estudios han mostrado que suele observarse un aumento de la frecuencia alfa (8-12 Hz) cuando los sujetos están ocupados en pensamiento divergente y otras tareas de «creatividad»[35]. Para clarificar el papel de este aumento en el proceso creativo, un equipo de científicos de la Universidad de Carolina del Norte indujo una frecuencia alfa en los lóbulos frontales mediante estimulación transcraneal de corriente alterna (tACS, por sus siglas en inglés). El resultado fue una mejora significativa del rendimiento de los sujetos en el TTPC[36]. Desconocemos los mecanismos precisos que vinculan la frecuencia alfa en los lóbulos frontales con la creatividad; podrían ser paradójicos, y representar un control reducido de los lóbulos frontales sobre el resto de la corteza, lo que tendría un efecto de «hipofrontalidad transitoria». Sin embargo, la activación frontopolar mediante estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS) mejoró el rendimiento en una tarea «creativa» de razonamiento analógico[37].

Así pues, parece que algunos resultados apuntan a una activación frontal («hiperfrontalidad») mientras que otros sugieren una desactivación frontal («hipofrontalidad»), lo cual es coherente con el papel dual de la corteza prefrontal en los procesos creativos, tal como hemos descrito en el capítulo 7. En cualquier caso, no nos permite deshacernos de esa persistente e irritante pregunta: ¿hasta qué punto pueden las pruebas breves, que no pasan de ser «instantáneas», como la de los múltiples usos de un ladrillo, decirnos algo sobre la creatividad eficaz y relevante en el mundo real, en contraposición a la frugalidad, la sociopatía, o nada en absoluto?

¿HASTA QUÉ PUNTO ES MALA LA LOCURA?

Creatividad y trastornos psiquiátricos

El criminólogo italiano Cesare Lombroso (1835-1909) es bien conocido por su controvertida teoría que postula que la propensión a la criminalidad es un rasgo biológico atávico que queda reflejado en ciertas características físicas y fisiognómicas exclusivas de los criminales. Mi primer contacto con esta teoría se produjo a través de mi madre a causa de su temeraria irreverencia e incorrección política (o, en la jerga soviética de la época, «laxa ideología»). Solía señalar las fotografías de los líderes soviéticos que se exhibían de forma conspicua en la primera plana de *Pravda*, el diario oficial del Partido Comunista de la Unión Soviética y principal periódico de aquella tierra, y decía: «Ves, todos se parecen a los tipos de Lombroso». Era parte de su privada pero incesante campaña por vacunar a su hijo (yo) frente a los efectos tóxicos del adoctrinamiento político soviético, por mucho que con diez años de edad yo no tuviera la menor idea de qué me estaba hablando.

La otra teoría de Lombroso, menos conocida, que expuso en su obra *L'uomo di genio*, sostenía que el genio artístico es una forma de locura, un trastorno psiquiátrico[38]. Fue una de las primeras teorías influyentes que vincularon la creatividad con la demencia. La imagen de un artista o un científico loco que le da la vuelta a las preconcepciones establecidas ha seducido desde siempre la imaginación del público general, de escritores de ciencia ficción y de directores cinematográficos. Pero también han sido muchos los científicos serios que se han interesado por una asociación entre creatividad y psicopatología, una idea que sin duda posee cierto atractivo heurístico. Se ha argumentado, por ejemplo, que ciertos rasgos neurales y cognitivos, entre ellos la desinhibición cognitiva, la atracción por la novedad y la hiperconectividad neural, son prerrequisitos compartidos por la creatividad y la psicopatología[39].

No cabe duda de que, por definición, el talento se aparta de la norma que dicta el promedio de la población. Un pequeño número de perturbaciones respecto a la composición neural normativa puede conferir ventajas en ciertas áreas, aunque tal vez a costa de desventajas en otros ámbitos; la zurdera, que ya hemos comentado en un capítulo

anterior, puede servir de ejemplo. Sin embargo, lo más probable es que la gran mayoría de esas perturbaciones no confieran ninguna ventaja. La mayoría de las personas que destacan por su creatividad no están locas, del mismo modo que la gran mayoría de los que sufren una demencia no son creativas de un modo relevante para la sociedad. Además, hay muchas formas de «locura» y muchas de creatividad, de modo que toda discusión seria sobre la relación entre ambas debe alcanzar cierto grado de concreción. La esquizofrenia, el trastorno bipolar, la epilepsia y el síndrome de Tourette se han relacionado con la creatividad, tanto a ojos del público general como de los propios afectados. Yo mismo conocí a un joven con síndrome de Tourette que rechazaba la medicación, a pesar de los severos tics que sufría, porque le parecía que su trastorno tenía el lado bueno de una creatividad que no deseaba perder.

A partir de reconstrucciones históricas y relatos autobiográficos, se ha afirmado que Beethoven, Byron, Dickens, Pushkin, Schumann y Van Gogh sufrían trastorno bipolar, al igual que Churchill y Napoleón. También se ha sugerido que Julio César, Mahoma, Juana de Arco, Martín Lutero, Pedro el Grande de Rusia y el escritor Fiódor Dostoyevski sufrían epilepsia, y que el bailarín Vaclav Nijinski era esquizofrénico (algo que también se ha escrito sobre Van Gogh). Algunas de estas afirmaciones se basan en observaciones históricas bien documentadas, pero muchas son conjeturas basadas en pruebas bastante cuestionables[40].

Hay, además, un problema de «datos incompletos». Es relativamente fácil hacer un listado de personas creativas importantes afectadas por un trastorno psiquiátrico documentado o que se sospecha, y la lista puede resultar engañosamente impresionante. Pero la asociación solo cobra sentido cuando se examina con relación al número total de individuos afectados por el trastorno en cuestión, y cuando este ratio se compara a su vez con el ratio entre personas creativas y personas normales en la población general. Al menos en principio, estos ratios se pueden calcular y comparar para tiempos modernos, para los cuales se dispone de datos epidemiológicos y demográficos y se puede hacer un muestreo riguroso. Pero a no ser que uno esté dispuesto a aceptar algunas suposiciones muy

poco fundamentadas, resulta imposible hacer estimaciones por el estilo para el pasado lejano, y aun no tan lejano.

También conviene tener presente la diferencia entre ser «creativo» y pertenecer a una «profesión creativa» y no caer en la trampa de esta confusión semántica. No todo escritor, pintor o músico es realmente creativo; de hecho, la mayoría probablemente no lo sean. Una muestra de los camareros de los restaurantes de Manhattan, la mayoría de los cuales se presentan como actores, cantantes o bailarines (y, técnicamente, a menudo lo son, solo que de forma esporádica y apenas a tiempo parcial), nos llevaría a la conclusión de que la pertenencia a una «profesión creativa» tiene que ver más con las aspiraciones que con los hechos. Dependiendo de los criterios de selección, todos podrían calificarse como «miembros de profesiones creativas» en una muestra para la investigación, aunque en términos más realistas no lo sean. Un abogado del diablo podría incluso argumentar que la percepción que tienen de sí mismos, un tanto teñida por los deseos y ligeramente ilusoria, está asociada con la psicopatología más que con el verdadero talento o la creatividad. Cabe preguntarse cómo rellenarían algunos de estos «aspirantes» un autoinforme sobre creatividad, uno de esos cuestionarios que a veces se utilizan en la investigación mediante los cuales se pregunta a los sujetos que evalúen sus propios logros y rasgos creativos, como el Cuestionario de Logros Creativos y la Lista de Adjetivos de Gough[41].

Pese a todo ello, se han realizado varios estudios rigurosos sobre la relación entre la creatividad y los trastornos psiquiátricos. Nancy Andreasen comparó las tasas de enfermedad mental en treinta escritores creativos y treinta controles, más sus respectivos parientes de primer grado, y halló tasas superiores de enfermedad mental, sobre todo de trastorno bipolar, en los escritores y sus parientes que en la muestra de control[42]. Kay Redfield Jamison realizó un estudio parecido sobre un grupo de eminentes escritores y artistas británicos y obtuvo resultados similares: la prevalencia de los trastornos del estado de ánimo era significativamente mayor entre sus sujetos que en la población general. En la misma línea se encuentra el estudio realizado por un equipo de

científicos del Instituto Karolinska de Estocolmo, que halló que las personas con trastorno bipolar y sus parientes, así como los parientes de enfermos de esquizofrenia (pero no los propios esquizofrénicos), tenían una representación más alta de lo esperado en las profesiones creativas. Así pues, parece que la pauta es universal y se encuentra presente en varias sociedades occidentales[43].

Tanto Nancy Andreasen como el equipo sueco han demostrado que las profesiones creativas tienen una representación superior a la esperada no solo entre los pacientes, sino también entre sus parientes de primer grado, algo que suele interpretarse como que los rasgos cognitivos subyacentes son heredables. Suponiendo que la relación entre la creatividad y los trastornos mentales sea cierta, ¿cuáles serían los mecanismos biológicos subyacentes? Se han propuesto varios factores genéticos compartidos. Uno de ellos está relacionado con el polimorfismo (variante) del gen *DRD2* del receptor D2 de la dopamina, que se ha relacionado con la esquizofrenia, la búsqueda de novedad y la creatividad (más sobre este gen en el capítulo 10)[44].

Otra asociación posible entre creatividad y psicosis es la que propone el científico húngaro Szabolcs Keri, quien publicó un hallazgo muy provocador que mostraba que un polimorfismo de un gen determinado estaba relacionado con una alta creatividad, evaluada con el Cuestionario de Logros Creativos y el subtest de «Just Suppose» («supón que») del TTPC. Una variante del gen en cuestión, *Neurregulina 1*, se ha vinculado con riesgo elevado de psicosis, reducción de la activación del lóbulo frontal y temporal durante una tarea cognitiva, y reducción de la densidad de materia blanca y de la conectividad estructural en la rama anterior de la cápsula interna (un importante haz de fibras que conectan los lóbulos frontales con varias estructuras subsorticales). En suma, una variante de un gen que predispone a la psicosis y mina la estructura y función de los lóbulos frontales, probablemente poniendo a la persona en un estado permanente de hipofrontalidad (que se convierte así en un rasgo), se ha relacionado con una estimulación de la creatividad. ¡Como mínimo, hay múltiples creatividades![45]

«Hiper» e «hipo» en la creatividad y la demencia

Si suponemos que ciertas formas de creatividad y ciertos tipos de trastorno psiquiátrico (ninguno de los dos constructos es monolítico) comparten ciertos rasgos cognitivos y posiblemente algunas causas, ¿cuáles son los mecanismos neurales tras estas similitudes? Es posible que intervengan múltiples factores, dispares y no necesariamente coherentes, o una combinación de varios de ellos.

Algunos de estos factores podrían estar relacionados con la interacción entre hiperfrontalidad e hipofrontalidad. Tal como argumentamos en el capítulo 7, el proceso creativo está impulsado por una alternancia entre la hiperfrontalidad, que guía la fase preparatoria, deliberada y trabajosa, y la hipofrontalidad, que es necesaria para que surja la «chispa creativa» si la fase de deliberación no alcanza el objetivo. La hipofrontalidad es un prerrequisito de la creatividad siempre y cuando sea transitoria y la capacidad del cerebro para cambiar entre hiper- e hipofrontalidad se mantenga intacta; cuanto más ágil sea esta capacidad, mayores serán los beneficios para el proceso creativo. En claro contraste con esto, la mayoría de los trastornos que se asocian con la creatividad (ya sea por sabiduría popular, ciencia o ambos) se caracterizan por un predominio habitual de la hipofrontalidad y una comunicación reducida o distorsionada entre la corteza prefrontal y otras estructuras cerebrales, donde deja de ser un estado transitorio para convertirse en un rasgo relativamente permanente. Así ocurre en la esquizofrenia, en el trastorno del estado de ánimo, en el síndrome de Tourette y en ciertas formas de trastorno convulsivo[46].

En todos estos trastornos, el equilibrio entre los dos prerrequisitos de un proceso creativo eficiente (los estados hiperfrontal e hipofrontal) queda trastocado. Con frecuencia, el segundo de los dos requisitos de la creatividad se expresa en exceso, pero sobre todo se produce un lamentable defecto de expresión del primero. A causa de este desequilibrio a lo largo del continuo de rasgos cognitivos, puede darse un punto en el que una imaginación creativa y unas asociaciones tangenciales poco precisas (un síntoma común en las lesiones del lóbulo

frontal y en la esquizofrenia) se acercan de manera precaria, como ocurre con la perseverancia monomaníaca pero adaptativa y necesaria para impulsar el proceso creativo y la perseveración francamente patológica (otro síntoma común de la patología del lóbulo frontal y de ciertos tipos de trastorno convulsivo).

Aunque la hipofrontalidad suele ser el atributo predominante de un cerebro trastornado, se producen ciertas fluctuaciones. Un equipo de neurocientíficos chinos estudió las pautas de coherencia entre los niveles de activación fisiológica a lo largo del tiempo en regiones cerebrales específicas («homogeneidad regional») y descubrió que la coherencia disminuía en el trastorno bipolar, especialmente en los lóbulos frontales. Esto significa que los cambios en los niveles de activación de los lóbulos frontales se hallan sujetos a fluctuaciones volátiles. ¿No sería posible que en el trastorno bipolar la propensión a la fluctuación entre hipofrontalidad e hiperfrontalidad facilite la creatividad?[47]

Ciertos atributos de la conectividad neural podrían ser también posibles factores en la intersección entre la creatividad y la psicopatología. Shelley Carson, de la Universidad de Harvard, propuso que la hiperconectividad podría ser un factor compartido entre los trastornos psiquiátricos y la creatividad[48]. De hecho, tal como comentamos en el capítulo 7, cierto nivel óptimo de conectividad neuronal es prerrequisito de la capacidad para unir ideas dispares. Sin embargo, la mayoría de los sistemas biológicos operan siguiendo una curva en U invertida: demasiado poco es malo, pero demasiado también lo es. Quizá haya un punto a lo largo de la curva en U invertida de la conectividad en la que la frontera entre «justo» y «demasiado» quede desdibujada, facilitando tanto la creatividad como la psicopatología. Se ha propuesto que un exceso de conectividad neural a causa de una poda insuficiente en la infancia podría ser el mecanismo que se esconde tras ciertas formas de autismo, y también es un factor de riesgo para el trastorno convulsivo. La hiperconectividad también se ha descrito en personas con ciertas formas de esquizofrenia y en sus parientes de primer grado[49].

Como ya hemos comentado, en el cerebro sano pueden surgir estados «hiperconectados» cuando la corteza de asociación posterior, especialmente en el hemisferio derecho, elude el control de la corteza prefrontal durante estados hipofrontales. Pero en ciertas patologías, esta condición puede adoptar la forma de un rasgo permanente a causa de una conectividad estructural excesiva, lo cual daría lugar a una condición funcionalmente parecida a una hipofrontalidad permanente, algo que puede tener su lado bueno, pero que en definitiva es malo.

CREACIÓN DE MENTES

¿Es posible fomentar la creatividad y el talento para la innovación? Y, de ser así, ¿cómo? Preguntas tan poco precisas como estas invitan a infinidad de respuestas, desde las que critican de forma tan amplia como mordaz los sistemas educativos actuales hasta los intentos prácticos de idear alternativas constructivas. Son ejemplo de las primeras las apasionadas conferencias TED del educador británico *sir* Kenneth Richardson, con títulos como «¿Matan las escuelas la creatividad?», llenas de frases ingeniosas y aforismos al estilo de «La creatividad es hoy tan importante como la alfabetización» o «Si no estás dispuesto a equivocarte, nunca se te ocurrirá nada original»[50].

Las segundas están representadas por varios programas educativos innovadores. Con independencia de sus inclinaciones teóricas, todos esos programas se erigen sobre la premisa de que es posible moldear una mente creativa mediante una intervención educativa bien diseñada, pues si no fuera posible, los fracasos a la hora de estimular la mente creativa serían comprensibles, y todo intento por conseguirlo sería, ya de entrada, una insensatez. ¿Qué podría servirnos como prueba definitiva de lo uno o lo otro? Probablemente no un aumento del rendimiento en los test de pensamiento divergente o en las matrices progresivas, pues ya sabemos que el rendimiento en estos test no es un buen predictor del éxito en la innovación en la vida real. Para que tenga pleno sentido, la prueba debería estar enraizada en la vida real, y ahí radica la dificultad. Un estudio realmente convincente debería ser longitudinal, es decir,

debería seguir y comparar la vida y trayectoria profesional de personas graduadas en distintos programas educativos. Y para no estar a merced de idiosincrasias anecdóticas, debería incluir un gran número de estudiantes. En definitiva, el estudio tendría que ser afín a los que evalúan los efectos a largo plazo de un nuevo fármaco, y eso hace que sea casi imposible.

No obstante, aunque no haya pruebas convincentes de que la creatividad se puede moldear mediante un programa adecuado, tampoco hay pruebas de lo contrario. Así pues, en lugar de someterse a una «parálisis por parálisis», varios equipos dieron un salto de fe y diseñaron programas con ese objetivo. Aunque todavía no reciban el respaldo del tipo de pruebas empíricas que acabamos de señalar, al menos algunos de estos programas están guiados por una lógica científica razonable.

Aunque tengan como fin último estimular la creatividad, estos programas a menudo deconstruyen este elevado pero esquivo concepto en varios procesos cognitivos y metacognitivos más fáciles de definir: flexibilidad mental, profundidad de procesamiento, pensamiento creativo, control inhibitorio y otros. Se pierde así la mística de la «creatividad», pero dejar la mística fuera de los procesos educativos nunca es mala idea. Todos estos enfoques se sustentan en la premisa de que instilar habilidades metacognitivas es tan importante o más que enseñar contenidos concretos como historia o geografía, y que puede conseguirse mediante una instrucción directa. Son muchos los programas que se han diseñado o al menos intentado diseñar, y abarcan todo el espectro educativo, desde el jardín de infancia hasta la universidad[51]. Dos de ellos, a ambos extremos del espectro, constituyen casos de estudio especialmente interesantes: *Tools of the Mind* y *Minerva Schools*.

Tools of the Mind (literalmente, «herramientas de la mente») es el resultado de la colaboración entre una psicóloga emigrada desde Rusia, Elena Bodrova, y la educadora americana Deborah Leong[52]. Se apoya en las teorías de Lev Vygotski (cuyo trabajo ya hemos comentado en el capítulo sobre la inteligencia animal, y ya ha llegado el momento de evocarlo allí donde realmente toca: en el desarrollo cognitivo humano),

existe desde 1993 y está dirigido a jardín de infancia y preescolar. El concepto de «herramientas mentales» internalizadas a partir de la cultura ocupaba un lugar central en el enfoque de Vygotski sobre el desarrollo cognitivo; de hecho, el primer artículo que escribió con Aleksandr Lúriya, en el que ya aparece el germen de estas ideas, se titulaba «La herramienta y el símbolo» («*Orudiye i znak*»)[53]. En la jerga actual, las «herramientas de la mente» de Vygotski se corresponden de manera aproximada con la autorregulación, el control inhibitorio y las funciones ejecutivas. Formada en Rusia, Elena Bodrova importó algunas de las ideas educativas de Vygotski a Estados Unidos, donde, en colaboración con Deborah Leong, las adaptó al contexto local. El enfoque que resultó de este esfuerzo es una combinación de actividades sociales basadas en juegos de ficción cuidadosamente diseñadas y dirigidas al desarrollo de la inhibición, el autocontrol y la cooperación, junto a una instrucción encaminada a fomentar la autorregulación. Con ello, se anima a los niños a enfrentarse a los problemas con espíritu crítico y a buscar múltiples soluciones alternativas.

En todo programa destinado a instilar habilidades generales, sean cognitivas o sean físicas, el reto es la transferencia: ¿quedará la mejora limitada a las tareas directamente utilizadas en el entrenamiento o se ampliará a un abanico más amplio de tareas más allá de las usadas en el entrenamiento? Cuanto más amplia sea la transferencia, mayor será el valor del entrenamiento, mientras que una mejora de poco alcance, sin transferencia, tendrá una utilidad limitada.

En el caso de Tools of the Mind, todo parece indicar que las habilidades instiladas se generalizan y se transfieren. Cuando a los niños que participaron en el programa se los comparó con los educados en un programa más convencional con respecto a su rendimiento en tareas de funciones ejecutivas que no habían formado parte de sus rutinas de entrenamiento, los graduados en Tools of the Mind resultaron ser mejores. También lo fueron en tareas de atención y mostraron una mayor velocidad en las operaciones mentales. Los graduados en Tools of the Mind también destacaron en las áreas más tradicionales de la instrucción escolar: sus habilidades lectoras y matemáticas fueron

superiores a las de los estudiantes que participaron en un programa educativo más tradicional[54]. La pregunta última y la única realmente importante es cómo les irán las cosas a largo plazo, en la vida real, a los graduados en Tools of the Mind. El programa lleva en marcha el tiempo suficiente para que sea posible realizar un estudio que aborde esta pregunta, y cabe esperar que no tarde en hacerse.

Minerva Schools es el lugar que algunos de los niños de Tools of the Mind podrían elegir para su formación universitaria. Se trata, en efecto, de una universidad, pero insólita por constituir un verdadero experimento sobre educación superior. Fundada en 2012 por un emprendedor, Ben Nelson, con fines lucrativos y financiada con capital de riesgo, se presenta como una universidad del futuro que ofrece (por el momento) varias titulaciones de grado. Es descaradamente elitista pero, por contradictorio que parezca, lo es en el buen sentido. El proceso de selección hace hincapié en la aptitud y capacidad para el aprendizaje independiente, la curiosidad intelectual y una mente crítica, todos ellos atributos en los que llevan ventaja los graduados en Tools of the Mind. La matrícula se mantiene muy baja en comparación con la mayoría de las universidades privadas, el proceso de admisiones es ciego a los ingresos familiares y la extracción racial o étnica, y el cuerpo de estudiantes es más internacional que el de la mayoría de las universidades americanas. Minerva Schools, que recibe su nombre de la diosa romana de la sabiduría (y además hija de Júpiter), tiene un linaje difícil de igualar y su misión es apropiadamente elevada: ayudar a educar líderes de la sociedad y no simplemente expertos en un estrecho ámbito.

Aunque ambos programas (Tools of the Mind y Minerva Schools) se dirigen a los extremos opuestos del espectro educativo (niños en edad preescolar y universitarios), ambos se basan en la ciencia de la cognición y se adhieren a los mismos principios. El programa docente de Minerva pone el énfasis en el procesamiento cognitivo «profundo» en contraposición a la simple memorización, así como en el liderazgo, el trabajo eficaz en grupo, la comunicación efectiva, el pensamiento crítico y las soluciones alternativas. Se hace hincapié en romper las fronteras tradicionales entre disciplinas (otra vez la maldita balcanización), en

desarrollar herramientas cognitivas («hábitos mentales») y constructos («conceptos fundacionales») universales, y en abordar las «grandes preguntas» relevantes para todas las sociedades. El formato de clases magistrales se evita porque, según los líderes de Minerva, «las conferencias son una forma muy buena de enseñar pero muy mala de aprender», de modo que la mayor parte del contenido factual lo adquieren los estudiantes por su cuenta a partir de varios recursos en línea. En la clase (que es virtual), los estudiantes discuten y aprenden cómo aplicar el conocimiento adquirido. Una amplia exposición al mundo, y la inmersión en él, ocupan un lugar central en los procesos educativos de Minerva. A lo largo del programa, los estudiantes realizan estancias en varias grandes ciudades de América del Norte y del Sur, de Europa y de Asia. Todo esto se realiza de acuerdo con un programa de estudios cuidadosamente diseñado, y el proceso educativo es guiado por un equipo de expertos profesores, dos de los cuales son destacados neurocientíficos cognitivos[55].

Tools of the Mind y Minerva Schools se cuentan entre los experimentos más interesantes que buscan moldear la mente de forma directa a través de la educación, pero hay otros. A un hombre muy inteligente (que no es otro que mi difunto padre, que hablaba alemán) le gustaba preguntarse retóricamente: «¿Cómo es que hay tantos *Wunderkinder* (niños prodigio) pero tan pocos *Wundermenschen* (hombres prodigios, un neologismo de su propio cuño)?». Quizá con el éxito de estos programas podamos albergar la esperanza de que la tasa de conversión de *Wunderkind* en *Wundermensch* mejore enormemente, y con él nuestro mundo.

¿Hasta qué punto es realista la idea de fomentar la mente creativa? Esta es una pregunta que se plantean psicólogos del desarrollo, educadores, diseñadores de políticas, gurús de grandes corporaciones e incluso militares. No tenemos una respuesta definitiva, pero sea cual sea, no será un «sí o no» binario. La respuesta, o más bien respuestas, tendrán que ser más matizadas y tomar en cuenta muchos tipos de mentes creativas. También necesitaremos formas mejores de definir y medir la creatividad en numerosos ámbitos de la actividad humana. Una cosa está

clara: las deliberaciones de salón y las formulaciones *a priori* no bastarán: tendremos que seguir intentándolo. Ir más allá de la enseñanza de contenidos y habilidades específicos para infundir unos «hábitos de la mente» metacognitivos de un orden superior es un paso en la dirección correcta, pero habrá otros.

10

El cerebro creativo

UNOS POCOS CEREBROS REALMENTE BUENOS

La idea de que un don tan valioso y único como la creatividad pueda manifestarse en algo tan poco sutil como la anatomía general del cerebro puede resultar poco atractiva, casi profana, pero esta objeción pierde fuelle en cuanto uno se percata de que las revistas de neurociencia están repletas de artículos que relacionan diferencias individuales en la morfología del cerebro (tamaño, volumen o superficie de distintas regiones) con el rendimiento cognitivo. Entonces, ¿por qué habría de ser distinta la creatividad? Disponemos de una pequeña colección de cerebros, dispersos por varios museos e instituciones científicas de todo el mundo y meticulosamente estudiados, que pertenecieron a personas cuyo lugar en la historia sin duda merece la suposición de que, para bien o para mal, sus difuntos dueños estaban dotados de una enorme Creatividad, con ce mayúscula. He aquí unos pocos.

El genio

La contribución creativa del cerebro de Albert Einstein no necesita preámbulo en este libro, pero su destino póstumo sí, y es un poco macabro. Tras la muerte de este gran científico, a la edad de setenta y seis años, su cerebro fue extraído y conservado por el patólogo Thomas Harvey, quien lo mantuvo oculto durante varios años. Es objeto de

discusión si esto se hizo o no con el permiso de Einstein o de su familia. En cualquier caso, no se hizo público que el cerebro de Einstein se había conservado hasta más de veinte años más tarde, y sus varias secciones acabaron en el Museo Nacional de la Salud y la Medicina, en el Centro Médico Universitario de Princeton y en el Museo Mütter de la Universidad de Pensilvania. Se realizaron entonces varias investigaciones científicas del cerebro de Einstein, la mayoría de ellas realizadas sobre fotografías de las secciones, no sobre el propio cerebro.

Uno de los estudios más conocidos, realizado por Sandra Witelson y sus colaboradores en la Universidad McMaster de Canadá, reveló la ausencia del opérculo parietal y de parte de la cisura de Silvio. Esta inusual anatomía cortical podría haber conducido a la expansión de otra área, el lóbulo parietal inferior, que forma parte de la corteza de asociación heteromodal, y sabemos que esta es importante en los procesos cognitivos especialmente complejos. ¿Se esconde ahí una parte del secreto del genio de Einstein? Cualquier conjetura al respecto sigue siendo objeto de especulación[1].

Un estudio más reciente, realizado por Dean Falk y colaboradores y también basado en fotografías, reveló otros detalles que tal vez podrían arrojar luz sobre la naturaleza del genio de Einstein, o al menos sobre sus vocaciones. La representación de su mano izquierda en la corteza motora era inusualmente grande, formando un «pliegue en forma de pomo». Esta característica no es infrecuente en el cerebro de los violinistas diestros, como el propio Einstein, y probablemente tenga poco o nada que ver con su genio como físico. Quizá fuera más relevante para sus excepcionales capacidades cognitivas la extraña morfología de su corteza prefrontal, que sugería un paisaje de circunvoluciones excepcionalmente complejo y una superficie global de la corteza prefrontal más amplia de lo habitual. También se hallaron expandidas las áreas del lóbulo temporal inferior, que también son bien conocidas por su importancia crítica para la cognición de alto nivel. Los autores hallaron varias otras diferencias cuya posible relación con la creatividad de Einstein es más esquiva, entre ellas unas cortezas somatosensoriales y motoras primarias inusualmente grandes en el hemisferio izquierdo. El lóbulo parietal inferior de Einstein

era mayor de lo habitual en el hemisferio izquierdo en comparación con el derecho, y con el lóbulo parietal superior ocurría lo contrario. El tamaño total del cerebro de Einstein no era, según los autores, «nada excepcional»[2].

El cuerpo calloso, que es el grueso haz de materia blanca que conecta los dos hemisferios, era mayor de lo usual en Einstein en comparación con controles más jóvenes y más viejos. Y si eso era cierto de todo el cuerpo calloso, lo era muy especialmente del esplenio, que proporciona la comunicación entre los lóbulos parietales de los dos hemisferios[3]. Otros hallazgos realizados por Marion Diamond y colaboradores, de la Universidad de California en Berkeley, atañen al número relativo de células gliales en el cerebro de Einstein: su ratio respecto a las neuronas era inusualmente elevado en el área parietal derecha[4]. Uno podría arriesgarse a especular sobre el significado de esta observación, pero la proliferación de células gliales en esta parte del cerebro puede ser resultado de que era utilizada intensamente en los procesos de pensamiento de Einstein, los cuales, de acuerdo con su propia introspección, tenían más como vehículo las imágenes visuales y espaciales que el razonamiento verbal o los formalismos matemáticos. Las peculiaridades del cerebro de Einstein podrían reflejar, o quizá ser causa, de su particular forma de creatividad.

El revolucionario

Con independencia de la perspectiva que uno mantenga sobre la historia del siglo pasado, Vladímir Ilich Uliánov fue uno de sus principales actores. Más conocido por su *nom de guerre* Lenin, fue el fundador de la Unión Soviética, y convirtió una fantasía utópica en una realidad política con mucho más alcance internacional del que tenía el debilitado imperio ruso, a cuyo colapso contribuyó. No hacen falta los Test de Torrance de Pensamiento Creativo para dar por sentado que el hombre que hizo realidad una superpotencia mundial erigida sobre un espejismo político debía poseer alguna forma de creatividad. Tras su muerte, Lenin se convirtió en objeto de una veneración cuasirreligiosa mandada por el

Estado y rigurosamente ejecutada, y el Estado soviético le confirió el estatus oficial de «genio».

Genio o no, Vladímir Uliánov fue sin duda un hombre extremadamente inteligente y un estratega político de excepcional habilidad, muy posiblemente el de mayor impacto y relevancia de todo el siglo XX. Nacido en una familia de cierta educación y multiétnica (tenía rusos, suecos y judíos entre sus antepasados), descendía de la baja nobleza. Además de sus actividades políticas, fue un prolífico escritor que mostraba interés y cierto conocimiento de la filosofía, y se consideraba a sí mismo «periodista». En la cima de su poder y prestigio político, Lenin sufrió una serie de debilitantes apoplejías que afectaron sobre todo a su hemisferio izquierdo y que cada vez más interferían en su capacidad para regir el Estado que había hecho nacer. Tras su muerte, a los cincuenta y tres años de edad, el cerebro de Lenin se conservó y fue estudiado con sumo cuidado por todo un equipo de patólogos y neurólogos con el propósito de desvelar los secretos de su supuesto genio. El proyecto «cerebro de Lenin» sentó las bases de todo un Instituto del Cerebro, en Moscú, que a lo largo de los años llegó a poseer la mayor colección de cerebros del mundo. Alberga el cerebro de Iván Pávlov, el fisiólogo galardonado con el premio Nobel; el del director de escena Konstantín Stanislavski, el fundador de la escuela de interpretación que sentó los cimientos del «método» de actuación de Estados Unidos; del director de cine Serguéi Eisenstein, famoso por *El acorazado Potemkin*; el del poeta futurista Vladímir Mayakovski; el del dictador Joseph Stalin; y el de otros verdaderos y falsos lumbreras de la sociedad rusa del siglo XX.

El cerebro de Lenin, sin embargo, sigue siendo la pieza central de la colección. Fue diseccionado por Oskar Vogt, un destacado neuroanatomista de su época, invitado a propósito para esta tarea desde Alemania. Solo se estudió el hemisferio derecho porque el izquierdo estaba demasiado destruido por la enfermedad cerebrovascular. Se prepararon varias secciones de materia blanca. Los hallazgos publicados incluían una excepcional complejidad del paisaje de surcos y circunvoluciones, sobre todo en los lóbulos frontales; una gran

superficie cortical global a causa de una cantidad inusualmente elevada del componente intracisural (la corteza del interior de los surcos); una corteza transicional («limítrofe») muy pronunciada, especialmente en las áreas del lóbulo frontal; unas regiones corticales de asociación heteromodal particularmente extensas, sobre todo en los lóbulos frontales pero también en la corteza parietal y temporal; y un número inusualmente alto de neuronas muy grandes de la capa III de neuronas piramidales, cuya importancia para la cognición compleja ya hemos comentado en el capítulo 4. Los lóbulos frontales de Lenin parecer estar especialmente bien dotados tanto en tamaño como en conectividad, un hallazgo casi esperado en alguien que destacó sobre todo como líder y organizador práctico de excepcional eficacia, por no entrar en sus pretensiones filosóficas. Como en el caso de Albert Einstein, el tamaño general del cerebro de Lenin no era nada fuera de lo común[5].

El impostor

Que el carácter excepcional de un genio creativo no necesariamente aparece reflejado en la neuroanatomía macroscópica de su cerebro quedó aún más manifiesto en el caso de una famosa confusión. Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855) ha sido ensalzado como «príncipe de la matemática» y como «el más grande matemático desde la Antigüedad». Tras su muerte, el Instituto de Ética e Historia de la Medicina del Centro Médico Universitario de Gotinga preservó meticulosamente lo que creyeron que era el cerebro del gran matemático, y lo estudiaron con todo detalle. Así fue hasta que Renate Schweizer, una neurocientífica del Instituto Max Planck, descubrió que en realidad el tan venerado cerebro había pertenecido a un médico de Gotinga, Conrad Heinrich Fuchs. Lo más probable es que los cerebros se intercambiasen inadvertidamente al poco tiempo de la muerte de los dos hombres, que se produjo en 1855. Los dos cerebros tenían tamaño y peso parecidos, pero el de Gauss mostraba algunos cambios propios del envejecimiento que suelen verse en personas de su edad en el momento de la muerte[6].

El hecho de que a los científicos les llevase tanto tiempo descubrir la confusión, y aun por accidente, sugiere que no había nada en la anatomía macroscópica del cerebro que permitiese distinguir a simple vista entre un genio y un hombre corriente. De hecho, ambos cerebros tenían una morfología de lo más corriente, sin nada manifiesto en su estructura general que ayudase a distinguir a una de las mentes matemáticas más excelsas de la historia de una persona coetánea presuntamente inteligente pero no destacable. Irónicamente, la única característica inusual que se halló, una fisura central discontinua («dividida»), una gran cisura o surco que separa los lóbulos parietal y frontal, se había atribuido erróneamente al cerebro de Gauss antes de que se descubriera la confusión, pero en realidad pertenecía a Fuchs. Podemos extraer de todo ello una nota de cautela para todo aquel que pretenda discernir señales biológicas únicas solamente a partir de estudios morfológicos macroscópicos del cerebro de «personas creativas», pues estas podrían revelar el cerebro de la creatividad y el talento… o no. Por desgracia, es más probable encontrar un amplio surtido de hallazgos incidentales (ventrículos ensanchados, aneurismas, adenomas de hipófisis, hemangiomas, quistes calcificados y microangiopatías) que la clave neuroanatómica del genio.

Pero ¿y en el caso de los dos cerebros que pertenecieron a personas indiscutiblemente notables? Albert Einstein (1879-1955) y Vladímir Lenin (1870-1924) fueron productos más o menos de la misma época, aunque uno sobreviviera al otro en una generación. Ambos dejaron una huella indeleble en la historia del siglo XX, aunque de manera muy distinta, y la naturaleza de sus respectivos talentos también fue, como es obvio, muy distinta. En último análisis, cualquier intento por relacionar los rasgos anatómicos peculiares de estos cerebros con sus mentes únicas será un ejercicio de incierto resultado, especulativo en el mejor de los casos, arbitrario en el peor de ellos. No obstante, lo cierto es que los dos cerebros compartían ciertas características: *ambos tenían lóbulos frontales más desarrollados de lo habitual, bien desarrollados paisajes de circunvoluciones corticales y un alto grado de conectividad interregional: interhemisférico (cuerpo calloso) en el cerebro de Einstein e intrahemisférico (capa III de células piramidales) en el de Lenin*. Al final,

sin embargo, ninguno de estos hallazgos nos da la clave de la cualidad extraordinaria de la mente de estas dos personalidades excepcionales. Por lo que sabemos sobre el cerebro, cabría observar los mismos rasgos en muchas personas muy inteligentes pero que no necesariamente han descollado.

LA CONECTIVIDAD DE LA CREATIVIDAD

Los dos cerebros excepcionales que acabamos de describir llaman la atención porque poseen unos lóbulos frontales más desarrollados de lo habitual. También destacan por su mayor grado de conectividad, aunque de distinta manera. En el cerebro de Albert Einstein, el cuerpo calloso era inusualmente grueso, sobre todo el esplenio, que comunica las cortezas de asociación posteriores de los hemisferios derecho e izquierdo. En cambio, el cerebro de Lenin destaca por contener más células piramidales de lo habitual, y estas neuronas, con sus largos axones apicales, comunican los lóbulos frontales con diversas regiones dentro del mismo hemisferio. Estas características individuales de sus cerebros podrían haber sido completamente incidentales respecto a sus respectivos talentos, pero también podrían reflejar el hecho de que Einstein fue un hombre dado a la honda contemplación y al pensamiento abstracto mientras que Lenin fue un hombre de acción que destacó en la toma de decisiones estratégicas. Nunca lo sabremos, pero queda abierta la puerta a las dos preguntas más amplias que planteamos al principio de este libro y que constituyen dos de nuestros temas centrales:

- ¿Qué papel desempeña la corteza prefrontal en la innovación y la creatividad?
- ¿Qué papel desempeña la conectividad cerebral en la innovación y la creatividad?

En cierto modo, las dos preguntas no son del todo independientes, puesto que los lóbulos frontales tienen más conexiones con el resto del cerebro que cualquier otra estructura neuroanatómica diferenciada. De las dos preguntas, la primera tiene un historial de estudio más dilatado,

sobre todo en lo que atañe a la maduración de los lóbulos frontales. ¿Cuál es la edad típica a la que se concibe una idea o realiza un descubrimiento capaz de cambiar un paradigma, y cómo se relaciona con la maduración de los lóbulos frontales y la conectividad del cerebro? Arne Dietrich y Narayaanan Srinivasan estudiaron a los galardonados con los premios Nobel de física, de química y de fisiología y medicina entre 1901 y 2003, y determinaron la edad a la que tuvieron la idea seminal que les habría de valer el codiciado premio. Su conclusión, que divulgaron en un artículo con el ambicioso título de «The Optimal Age to Start a Revolution» [La edad óptima para iniciar una revolución] fue que la edad típica se situaba entre los veinte años y los treinta y pocos[7]. Naturalmente, todas estas estimaciones hay que tomarlas con cautela. El único revolucionario de verdad en este libro, Vladímir Lenin, accedió al poder en 1917, con cuarenta y siete años de edad. Pero ¿qué hay de mágico en las edades comprendidas entre los veinte años y los treinta y pocos? Dietrich y Srinivasan creen que es la maduración de los lóbulos frontales. En efecto, los lóbulos frontales tardan mucho en madurar, y su maduración funcional no acaba de finalizar hasta algún momento de la cuarta década de la vida.

La idea de relacionar un rasgo cognitivo complejo con una única estructura cerebral es inherentemente seductora, pero descaminada, y casi siempre nos lleva a comienzos en falso. Conviene estar alerta a la trampa de la «idolatría frontal», al impulso, muy pronunciado en la literatura neuropsicológica (yo mismo podría haber contribuido a ella), a atribuir todo lo exclusivo de los humanos, todo lo inteligente, todo lo complejo a los lóbulos frontales. Es casi seguro que la corteza prefrontal desempeña un papel crítico en este proceso, pero está muy lejos de ser el único actor. Si creemos que el proceso creativo descansa en la interacción entre muchas estructuras cerebrales y que no es el resultado de un único «centro cerebral de la creatividad», entonces debemos situar en el centro de este proceso la capacidad que poseen múltiples y diversas regiones cerebrales de comunicarse de forma rápida y eficiente, lo que inevitablemente trae de nuevo la conectividad a nuestro relato.

Y esto, a su vez, nos lleva a la siguiente consideración, que puede parecer simplista e ingenua, pero que bien podría captar un aspecto esencial de la «mecánica cerebral» de la creación de la novedad. Si toda idea novedosa surge en buena medida como una combinación *de novo* de elementos del conocimiento y conceptos previamente acumulados pero que con anterioridad no se habían integrado en redes coherentes, entonces un cerebro con un alto grado de interconectividad es un prerrequisito para el éxito creativo. La capacidad de diversas regiones cerebrales de interactuar y cooperar al servicio de un acto creativo podría ser la clave principal de su éxito. Más aún, diferencias individuales sutiles en la arquitectura de la conectividad podrían relacionarse con distintos estilos cognitivos y distintos tipos de creatividad, como el del artista frente al del emprendedor. Al fin y al cabo, es probable que las diferencias en la conectividad frontoposterior frente a la interhemisférica manifiestas en los cerebros de Einstein y Lenin, así como otras variaciones en los patrones de conectividad, se hallen presentes también en muchas personas mucho menos excepcionales, pero razonablemente creativas en un sentido más «corriente» y que contribuyen a la sociedad con innovaciones relevantes en diversos ámbitos. De ahí que nos preguntemos por la relación entre las diferencias individuales en la conectividad cerebral como variable biológica y la capacidad de innovación como rasgo cognitivo. Esta es una pregunta con dos partes: (1) ¿Existen diferencias individuales estables en la conectividad cerebral? y (2) si existen, ¿guardan alguna relación con diferencias individuales en rasgos cognitivos?

Un equipo de neurocientíficos de la Universidad de Yale abordaron ambas preguntas con la ayuda de RMf, y las respuestas que obtuvieron fueron afirmativas en ambos casos. El estudio de los patrones de conectividad funcional en diversos sujetos puso de manifiesto «huellas» individuales de conectividad, cada una de ellas exclusiva de un sujeto determinado, que se mantenían en diversas tareas cognitivas y en reposo. Además, los patrones individuales de conectividad predecían el nivel de rendimiento en tareas de razonamiento con matrices (una colección de puzles que se suele utilizar como medida sucedánea de la «inteligencia

fluida»), así como en tareas de atención sostenida. Las redes de conectividad que implican a las regiones frontal y parietal resultaron ser las más características[8].

Antes de continuar debemos preguntarnos cómo podemos hacer operativa la «conectividad cerebral». Como ya hemos considerado esta cuestión, sigamos con nuestro razonamiento «simplista e ingenuo» y distingamos entre los aspectos temporales y espaciales de la conectividad. Aquí entran en juego las redes de mundo pequeño (que ya presentamos en el capítulo 7) y la mielinización. El aspecto espacial de la conectividad, la medida en que pueden interactuar circuitos cerebrales anatómicamente alejados, se verá afectado por el grado en que el cerebro posea las propiedades de «mundo pequeño», cuyo papel esencial en la creatividad ya comentamos en el capítulo 7. El aspecto temporal de la conectividad, la velocidad con la que pueden comunicarse distintas regiones del cerebro, se verá afectado también por las propiedades de mundo pequeño, pero, además, por el grado de mielinización de las vías neuronales largas. Consideremos por separado estos dos aspectos de la conectividad del cerebro.

LA VIDA EN UN MUNDO PEQUEÑO

Ya hemos comentado (en el capítulo 7) las propiedades de mundo pequeño que garantizan que incluso los elementos más alejados de una red se encuentren conectados mediante un número relativamente pequeño de pasos, y las ventajas que estas propiedades confieren respecto a la capacidad de una red neuronal para enfrentarse a la complejidad cognitiva. Sin embargo, hasta ahora hemos dejado sin respuesta una importante pregunta, la de las diferencias individuales. La capacidad para la innovación y la creatividad son rasgos extremadamente variables. Algunas personas están muy bien dotadas de estas cualidades, otras no. Si es cierto que las propiedades de mundo pequeño de las conexiones neuronales guardan relación con estos rasgos cognitivos, entonces también deberían presentar una elevada variabilidad entre individuos. ¿Hay alguna prueba empírica de que sea así? Sí, la hay. Con la

ayuda de imágenes de tractografía por tensores de difusión, un equipo de neurocientíficos de Pekín examinaron la relación entre el CI y las propiedades de las redes del cerebro, y hallaron una clara relación entre la inteligencia (al menos tal como la mide el CI) y el grado en que se expresan las propiedades de mundo pequeño en cada uno de los cerebros[9].

Otra forma de abordar esta pregunta es intentando averiguar si las propiedades de mundo pequeño de la organización neuronal son heredables, y en qué medida. Eso es precisamente lo que demostró un equipo de neurocientíficos de la Universidad Libre de Ámsterdam que estudió los patrones de conectividad en el EEG (electroencefalograma) en reposo de 573 gemelos y sus hermanos[10]. Examinaron pares de gemelos homocigóticos y heterocigóticos y los compararon con sus hermanos no gemelos. Este tipo de comparaciones es muy interesante porque nos permite distinguir entre los factores ambientales y los genéticos responsables de la variabilidad entre individuos de ciertos caracteres. Lo que hallaron fue que las dos propiedades de mundo pequeño más importantes, el grado de interconectividad local y global dentro del cerebro, eran altamente heredables y estaban sometidas a control genético[*].

Estos hallazgos son notables por varias razones: demuestran un alto grado de variabilidad individual en las propiedades de mundo pequeño, y demuestran que estas propiedades se hallan bajo un fuerte control genético. La naturaleza exacta de la base genética de las propiedades de mundo pequeño sigue sin estar clara, y dilucidarla debería ser objetivo de futuros estudios. El siguiente paso hacia la comprensión de la creatividad y la innovación debería consistir en investigar la relación entre el control genético de esa cualidad de «mundo pequeño» y el de varios rasgos cognitivos. Dado que las propiedades de mundo pequeño se ven afectadas por diversos trastornos, entre ellos el TDAH, descifrar su base genética podría ayudar a dilucidar también los mecanismos de estos trastornos[11].

LAS VENTAJAS DE LLEVAR ENVOLTORIO

La mielina, el tejido graso que envuelve las vías axonales largas, desempeña un papel crítico en la comunicación efectiva entre regiones alejadas del cerebro, y la disrupción de la mielinización se ha implicado en varios trastornos, como la esquizofrenia. De hecho, la maduración funcional de los lóbulos frontales depende en buena medida de la mielinización de las vías largas del cerebro. Dado el papel que desempeña la corteza prefrontal como «director ejecutivo» o «director de la orquesta neural» del cerebro, su contribución a la orquesta neural depende de manera muy particular de su capacidad para comunicarse con regiones alejadas del cerebro y, por consiguiente, de la mielinización de las vías largas.

Toda posible relación entre la mielinización y las capacidades cognitivas reviste un especial interés porque la mielina es una característica ubicua presente en casi todo el cerebro. Esto nos lleva a considerar el «factor G», un constructo especulativo que postula la existencia de un atributo cognitivo único que afecta a toda la cognición del individuo (o, al menos, a su mayor parte) de manera uniforme y que es extremadamente variable entre individuos: la proverbial «inteligencia general». Hace algún tiempo, por razones que ya hemos comentado en el capítulo 9, se dio por buena una suposición todavía más extrema: que este constructo especulativo puede medirse de manera apropiada con una prueba como el Test Wechsler de Inteligencia para Adultos y cuantificarse mediante un único número: el CI-WAIS.

Pero esto nos fuerza a preguntarnos lo siguiente: si la «inteligencia general» existe, ¿cuál es su base biológica? Como ya hemos dicho, para que un atributo cerebral pueda considerarse la base biológica de la «inteligencia general», debe afectar a todo el cerebro del individuo, o por lo menos a las estructuras implicadas de forma directa en la cognición de alto nivel, y más o menos en la misma medida. Además, este atributo debe mantenerse constante durante la vida del individuo, o cambiar con una tasa uniforme entre individuos, y debe presentar una considerable variabilidad entre personas. Sin embargo, aunque el constructo de la «inteligencia general» se pudiera asentar en la realidad, su relación con

esa cifra de dos o tres número que llamamos «CI-WAIS» estaría muy lejos de clarificarse.

Son precisamente las dificultades para identificar en el cerebro esta variable biológica lo que ha llevado a algunos, yo mismo entre ellos, a dudar de la existencia de la «inteligencia general». En cualquier caso, la mielinización del cerebro es lo que más acerca a ser esa variable (salvo porque no es constante a lo largo de la vida, sino que tiende a degradarse a partir de cierta edad). A diferencia de muchos otros factores genéticos o epigenéticos que modelan el cerebro a una escala regional, los factores que afectan a la formación de mielina tienen una mayor probabilidad de producir un impacto sobre el conjunto del cerebro. Si existe un factor G que afecta de forma global la inteligencia de la persona y que varía ampliamente entre individuos, la variación individual en la mielinización del cerebro puede sin duda erigirse como un candidato plausible como causa fundamental de la variabilidad individual en el factor G.

La relación entre inteligencia y mielinización del cerebro fue propuesta por Edward Miller en 1933[12]. La mielinización es con seguridad muy importante en la creación de ideas, contenidos o formas artísticas novedosas. Como ya hemos argumentado en capítulos anteriores, son muy pocas las ideas o los conceptos completamente nuevos. En su mayor parte, el proceso creativo implica la yuxtaposición novedosa de fragmentos diversos de información y conceptos previos que nunca antes se habían conectado y almacenado juntos en redes neuronales bien articuladas. Bajo esta luz, sería sorprendente que la eficiencia de la conectividad entre regiones dispares del cerebro no desempeñase un papel significativo en el proceso creativo. La «divagación dirigida», ese proceso que, como ya comentamos en el capítulo 7, es esencial para la capacidad de generar ideas novedosas y para la propia creatividad, también depende de una fuerte y eficiente conectividad entre estructuras cerebrales. Recordemos también que los cerebros de los dos individuos excepcionales que hemos descrito en este capítulo destacaban por el inusual grosor del cuerpo calloso, que provee un canal de comunicación entre los dos hemisferios, y en particular del esplenio, que conecta los lóbulos parietales de uno y otro hemisferio.

También se caracterizaban por conexiones ipsilaterales largas inusualmente robustas, así como por un elevado contenido de células gliales (la oligodendroglía es importante para la producción de mielina). Además, se ha argumentado que el incremento de materia blanca y de conectividad cortical fue un factor decisivo para la expansión de las capacidades cognitivas durante la evolución[13].

La tasa de mielinización es llamativamente lenta durante el desarrollo, sobre todo en el cerebro humano, en el que este proceso perdura todavía a finales de la segunda década de la vida, bien entrada la tercera y posiblemente aún en la cuarta (un proceso que probablemente se caracterice por profundas diferencias individuales)[14]. En un estudio realizado con suma meticulosidad, Daniel Miller, de la Universidad George Washington, y un equipo internacional de colaboradores, compararon este proceso en el cerebro humano y el del chimpancé, y hallaron diferencias muy reveladoras[15]. En ambas especies, el proceso de mielinización se extiende hasta muy avanzada la ontogenia, pero con tasas muy distintas. La mielinización del bebé de una cría de chimpancé es un 20 % de la observada en el cerebro adulto, y en la adolescencia ya alcanza el 96 %. En cambio, el cerebro de un bebé humano solo está mielinizado en menos de un 2 %, y el de un adolescente en aproximadamente un 60 % en comparación con un cerebro adulto plenamente mielinizado. La mielinización máxima no se alcanza hasta el final de la tercera década de la vida, pasados los veintiocho años. El proceso es especialmente lento en la corteza frontopolar, la cima de jerarquía cognitiva, tanto en humanos como en chimpancés.

Parece, pues, que la edad a la que la mielinización del cerebro humano alcanza su cenit coincide exactamente con la edad óptima para la creatividad descrita por Dietrich y Srinivasan, y la maduración funcional de la corteza prefrontal podría no ser sino una de varias manifestaciones de esta tendencia general. Como la conectividad del hemisferio derecho depende más que la del izquierdo de vías largas mielinizadas, cabe esperar que su maduración funcional también se alcance a esa misma edad. Y como la «divagación dirigida» implica sobre todo la participación

del hemisferio derecho, también se beneficiará de una mielinización eficaz del cerebro.

Sin embargo, vinculando la edad óptima para la creatividad con la maduración de cierto sistema dentro del cerebro solo abordamos una parte del problema. Supongamos que el pleno desarrollo de ese sistema (sea lo que sea: vías mielinizadas, el lóbulo frontal, el hemisferio derecho, todo lo anterior o alguna cosa distinta) señala el inicio de la fase más creativa de la vida. Entonces, ¿qué señala su declive, que según algunos autores acompaña a las últimas décadas de la vida?

Una vez más, la mielinización podría darnos al menos una parte de la clave de este misterio. Tras alcanzar un pico hacia el final de la tercera década de la vida, la mielinización del cerebro comienza a declinar rápidamente, se produce una pérdida de fibras mielinizadas y se compromete la capacidad del cerebro para integrar diversos tipos de información. En un estudio realizado en Dinamarca se comparó la longitud total de las fibras mielinizadas del cerebro en sujetos de varias edades. Entre los veinte y los ochenta años de edad, se observó una pérdida del 45 % de fibras mielinizadas, aproximadamente un 10 % por década. Si consideramos que el pico de la mielinización probablemente se produce pasados los veinte años, la pendiente de desmielinización y pérdida de vías largas mielinizadas con la edad probablemente sea aún más pronunciada[16]. Con la ayuda de una nueva técnica de imagen del contenido de mielina (ICM), Naftali Raz y sus colaboradores de la Universidad Estatal de Wayne descubrieron que, curiosamente, la pérdida de mielina con la edad es especialmente pronunciada en las vías que conectan las regiones corticales de alto nivel, las que presuntamente están más involucradas en la cognición compleja[17]. Y como el hemisferio derecho depende de la conectividad a larga distancia más que el izquierdo, cabe esperar que la pérdida de mielina con la edad lo afecte más, lo que podría contribuir a un encogimiento más rápido con la edad del hemisferio derecho en comparación con el izquierdo[18].

Los estudios con N-acetilaspartato (NAA) abren otra ventana hacia el papel de la mielina en la cognición. El NAA es una de las moléculas más ubicuas del cerebro, y su concentración se suele utilizar como

marcador de la integridad neuronal. Se ha podido mostrar que las concentraciones de NAA están correlacionadas con las capacidades cognitivas en las personas sanas[19], y que en varios trastornos neurológicos la reducción de los niveles de NAA se correlacionan con el declive cognitivo[20]. El NAA presenta una alta concentración en las neuronas, pero aún más alta en la mielina y los oligodendrocitos, un tipo de células gliales esenciales para la formación de la vaina de mielina. Esto sugiere que la relación entre la concentración de NAA y el rendimiento cognitivo refleja en buena medida el papel de la mielina en la cognición[21].

Ya hemos dicho que la capacidad para la innovación y la creatividad se caracteriza por un amplio rango de diferencias individuales. Por consiguiente, cualquier atributo biológico que subyazga a estos rasgos también deberá manifestar un amplio rango de diferencias individuales. ¿Tenemos alguna prueba de que existan esas diferencias en la mielinización de las vías axonales? Esta pregunta puede abordarse mediante técnicas de imagen por tensores de difusión (ITD), una forma de RM que examina la dirección de la difusión de las moléculas de agua y nos permite evaluar la integridad y extensión de la mielinización de vías largas, entre otras variables. Una dirección de difusión menos aleatoria y más restringida implica una mayor integridad de la vía y, por extensión, una transmisión más eficiente de las señales a lo largo de ella, y el grado de restricción de la difusión se expresa mediante un *coeficiente de anisotropía fraccional*[22].

Un grupo de neurocientíficos de la Universidad de Trier, en Alemania, utilizaron ITD para estudiar la conectividad a través del cuerpo calloso, el principal haz de vías que conecta los dos hemisferios. El descubrimiento más sorprendente se produjo cuando examinaron los efectos de la dominancia manual: la difusión a través de las vías callosas era significativamente menor en los zurdos que en los diestros (no queda claro si el hallazgo se limita a los zurdos «practicantes» o se podría replicar también en los «convertidos»)[23]. De forma limitada, este hallazgo converge con nuestra aseveración del capítulo 6 sobre la relación entre la zurdera y la propensión a la búsqueda de la novedad y la

creatividad. En términos más amplios, apunta a la variabilidad en el grado de mielinización de vías largas en la población general.

Una prueba aún más directa de que existe una relación entre las diferencias individuales en la integridad de la materia blanca y las que se observan en el rendimiento en los test de «creatividad» al uso es la presentada por un equipo de neurocientíficos japoneses. De acuerdo con Takeuchi y colaboradores, el rendimiento en un test de pensamiento divergente se correlacionó positivamente en una muestra de jóvenes adultos sanos con la anisotropía fraccional en la materia blanca de los lóbulos frontales, el cuerpo calloso, los ganglios basales, las áreas temporoparietales y el lóbulo parietal inferior derecho[24]. Lo realmente interesante en este caso es que la relación entre la cognición y la integridad de la materia blanca no se limita a una parte determinada del cerebro sino que parece estar relativamente distribuida, facilitando la comunicación entre estructuras cerebrales muy distantes que contienen muy distintos tipos de información.

LAS VENTAJAS DE NO LLEVAR ENVOLTORIO

Por atractiva que sea la idea de la relación entre la creatividad y la conectividad neural, no está universalmente respaldada por la investigación. Dana Moore y colaboradores estudiaron la relación entre el tamaño del cuerpo calloso y el rendimiento en los Test de Torrance de Pensamiento Creativo[25]. Los TTPC están formados por muchos subtest. En el subtest del TTPC utilizado en el estudio, se muestra a los participantes formas o líneas y se les pide que formen con ellas tantos diseños como puedan[26]. Así es como realicé yo mismo una tarea parecida hace algún tiempo (figura 10.1).

De forma quizá inesperada, los autores hallaron una relación negativa entre el tamaño del cuerpo calloso y el rendimiento en el TTPC. La correlación negativa era especialmente manifiesta en el esplenio, la parte del cuerpo calloso que conecta los lóbulos parietales de los dos hemisferios[27]. El significado de estos hallazgos es incierto. Quizá tenga más que ver con las peculiaridades del TTPC que con la propia

creatividad, puesto que la idea de que esta prueba mide la creatividad relevante para la vida real es más que especulativa y ha sido puesta en duda por muchos, yo entre ellos. Como se recordará, el esplenio del cuerpo calloso era inusualmente grande en Albert Einstein, cuya creatividad es sin duda menos discutible que la capacidad del TTPC para medirla. Pero también puede hacernos pensar en que no todos los aspectos de la conectividad del cerebro son igualmente importantes para todos los desafíos cognitivos. Al menos para ciertas tareas, la capacidad de generar contenido novedoso inherente al hemisferio derecho podría beneficiarse de que este se libre del opresivo impacto del hemisferio izquierdo.

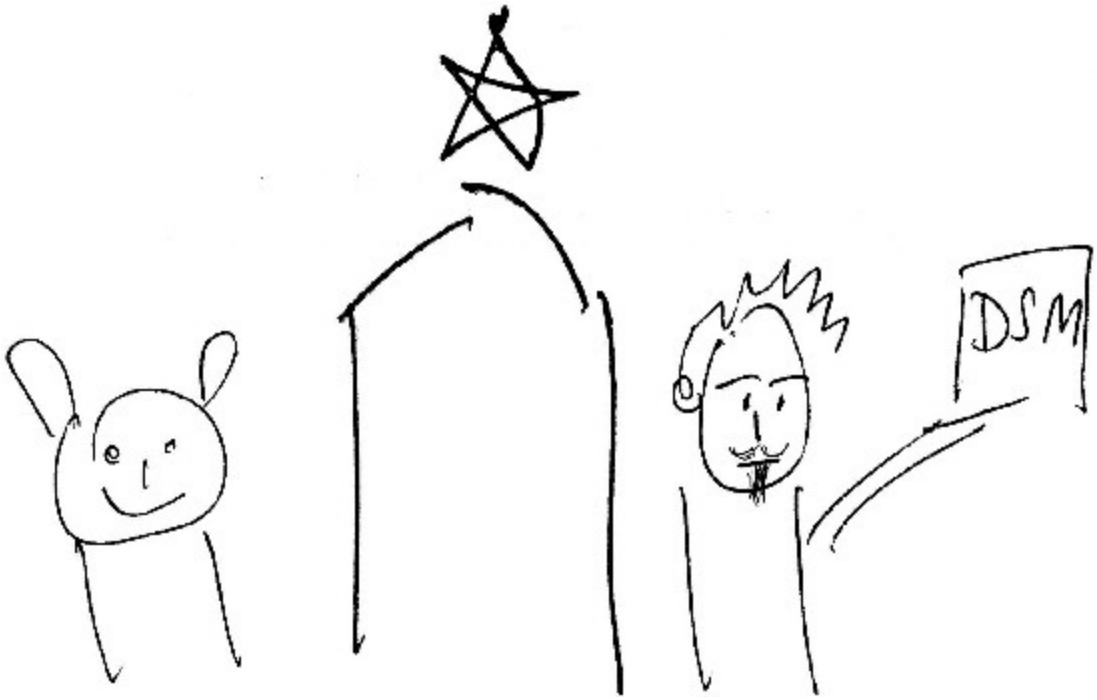


Figura 10.1. Gremlin, Kremlin, Kraepelin. La tarea consiste en hacer un dibujo a partir de dos líneas verticales de tantas maneras como se pueda, pero conectando las imágenes de manera que cuenten una historia. «Gremlin va al Kremlin a que Kraepelin le examine la cabeza». (Emil Kraepelin fue uno de los psiquiatras más importantes del siglo XIX y uno de los fundadores de la psiquiatría moderna)[*].

Esta interpretación concordaría sin duda con los descubrimiento de mi amigo neurocientífico australiano Allan Snyder y sus colaboradores

del Centro sobre la Mente de la Universidad de Sídney, quienes estudiaron el pensamiento original y no convencional, «fuera de la caja» (*out-of-the-box*). Con la ayuda de la estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS) sobre un grupo de sujetos jóvenes y sanos, Allan suprimió el lóbulo temporal izquierdo mediante estimulación catódica y activó el lóbulo temporal derecho mediante estimulación anódica. De este modo, consiguió incrementar enormemente la capacidad de los sujetos para resolver los puzles que suelen utilizarse como medidas de «pensamiento creativo» y que, para la mayoría de la gente, resultan abrumadores (el «problema de los nueve puntos» y la «aritmética con cerillas»)[28].

En el «problema de los nueve puntos», la tarea consiste en conectar los nueve puntos con no más de cuatro líneas. El problema resulta insuperable para la mayoría de la gente porque de manera implícita suponen que las líneas no pueden salir del perímetro del cuadrado que dibujan los puntos, y que un punto solo puede cruzarse una vez. En realidad, en la descripción de la tarea no se estipula ninguna de estas restricciones, y sin ellas la solución es bastante sencilla[29]. En los problemas de «aritmética con cerillas», es necesario romper con un hábito (un marco mental) previamente formado para hallar la solución correcta. A la mayoría de la gente le resulta bastante difícil[30]. Ambos problemas se ilustran en la figura 10.2.

También se ha puesto en duda el papel positivo de la conectividad frontal para el pensamiento creativo. En un estudio mediante ITD, Rex Jung y colaboradores encontraron una relación negativa entre la anisotropía fraccional (AF, una medida de la integridad de la materia blanca) de las regiones frontales inferiores y el rendimiento en pruebas de «pensamiento divergente» y de «apertura a la experiencia»[31]. Una AF menor en estas regiones implica un menor control del lóbulo frontal sobre las estructuras corticales y subcorticales posteriores. En un proceso dominado por una alternancia entre hiper- e hipofrontalidad, esto dificultaría lo primero pero probablemente facilitaría lo segundo. En el estudio se halló una especial afectación del fascículo uncinado, que desde la corteza orbitofrontal se extiende a varias estructuras límbicas,

entre ellas la amígdala y la ínsula. Los daños en esta vía se han observado en varios trastornos psiquiátricos, como la esquizofrenia y los trastornos afectivos[32]. Funcionalmente, esta vía se encuentra estrechamente vinculada con la red neuronal por defecto (RND), que ya describimos en el capítulo 4, y, en concordancia con ello, es más robusta en el hemisferio izquierdo que en el derecho en el cerebro sano, no así en el afectado por esquizofrenia[33]. Podemos especular que la disrupción de la RND podría afectar de manera indirecta a procesos que se desarrollan en otras redes neuronales distribuidas, y tal vez estimular la red ejecutiva central (REC), que sabemos que está «anticorrelacionada» con la RND.

En conjunto, estos hallazgos pueden parecer una maraña de incoherencias. La conectividad frontal es más ventajosa o menos ventajosa. Un cuerpo calloso grande confiere una ventaja o la confiere un cuerpo calloso pequeño. Una corteza cingulada anterior más activa es algo bueno, o es bueno que esté menos activa. ¿Cómo se pone orden en este mar de contradicciones, dejando aparte la cuestión (de implicaciones demasiado desalentadoras como para tratarla aquí) de que muchos de estos hallazgos no se han replicado? En último término, las incoherencias entre estos hallazgos diversos y en apariencia contradictorios podrían no ser incoherencias en absoluto, sino un reflejo de que la afinidad por la novedad y la creatividad puede adoptar muchas formas y depender de múltiples sistemas cerebrales alternativos. Cuanto más se profundiza en la maquinaria cerebral de la innovación y la creatividad, más se ve uno movido a concluir que no se trata de procesos monolíticos. Como ya hemos establecido, las vías que conducen a las soluciones creativas probablemente sean distintas en distintas personas, aunque sus campos de actividad sean parecidos (pensemos en Beethoven y Mozart, o en Gauss y Galois), o en la misma persona cuando se dedica a campos de actividad distintos. Podrían incluso diferir en la misma persona creativa entregada a empeños parecidos en momentos distintos de su vida, o en diferentes fases de resolución de un problema. Y aun dentro de una misma empresa creativa, existirá tensión entre sus distintos componentes: hiperfrontalidad e hipofrontalidad, aceptación o rechazo de la guía de la experiencia, etcétera. Una mente creativa que

intente comprenderse a sí misma quizá busque la coherencia, la elegancia y la parsimonia, pero los procesos neurales que subyacen al objeto de su búsqueda no son ni coherentes ni parsimoniosos, como tampoco lo es la organización global del cerebro. Como todo producto de la evolución, es un revoltijo de adaptaciones y cambios de función superpuestos.

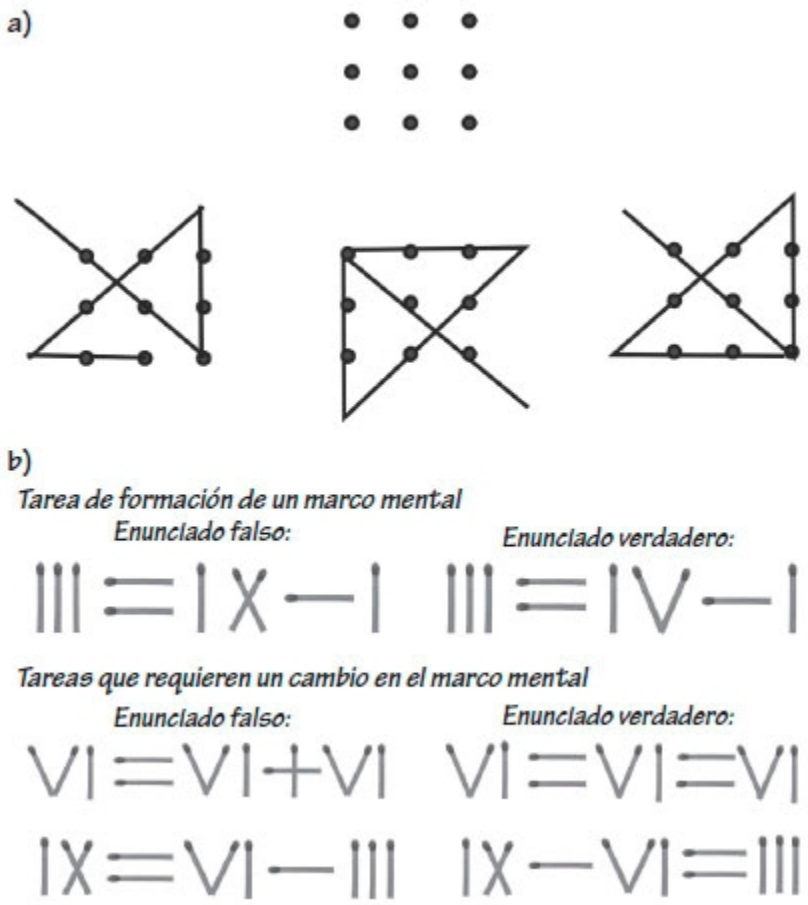


Figura 10.2. Pensar «fuera de la caja». (A) *El problema de los nueve puntos*. La tarea consiste en conectar los nueve puntos con no más de cuatro líneas sin levantar el lápiz de la página. Se muestran algunas soluciones. (B) *Aritmética con cerillas*. La tarea consiste en convertir un enunciado falso en uno verdadero moviendo una sola cerilla.

Adaptado de R. P. Chi y A. W. Snyder, «Facilitate Insight by Non-invasive Brain Stimulation», *PLoS One*, 6 (2011), e16655.

Al final, se mire como se mire, la conectividad importa. La investigación neurocientífica de las últimas décadas nos ha llevado a

comprender que el cerebro es muchísimo más que la suma de sus partes. Buena parte de su potencia de cálculo, quizá la mayor parte, surge de la rica y compleja conectividad entre las regiones del cerebro, que apenas estamos comenzando a valorar. Con el fin de entender el intrincado diagrama de conexiones del cerebro se ha puesto en marcha un intenso programa multinacional, el Proyecto del Conectoma Humano, en el que participan diversas universidades destacadas y que combina diversos métodos: resonancia magnética estructural (RMe), resonancia magnética por difusión (RMd), resonancia magnética funcional en estado de reposo (RMfr) y resonancia magnética funcional de tareas cognitivas (RMft), así como métodos genéticos necesarios para examinar el grado y los mecanismos de la heredabilidad de la conectividad[34]. No cabe duda de que será mucho lo que en poco tiempo aprenderemos sobre el papel de la conectividad en la cognición.

¿DE VERDAD HAY «GENES DE LA CREATIVIDAD»?

¿Están la capacidad de innovación y la creatividad vinculadas a genes concretos? Es mucho lo que hemos aprendido sobre la expresión de numerosos genes en distintas estructuras cerebrales. ¿Puede llevarnos ese conocimiento al descubrimiento de genes ligados a la creatividad? La existencia de continuidades entre los humanos y otras especies en lo que atañe a los mecanismos de la creatividad resulta útil, puesto que a menudo es más fácil estudiar la expresión génica en el cerebro en modelos animales. Pero conviene pisar con tiento. Abundan las salidas en falso en los intentos por hallar relaciones simples entre genes y cognición. La relación entre caracteres cognitivos y genes es compleja, y se resiste a un simple mapeo unívoco. Con la creatividad, la búsqueda se ve dificultada, además, por el hecho de que es el resultado de muchas piezas móviles: biológicas, culturales y sociales.

¿Se hereda el don para la innovación y la creatividad? El primero que se planteó esta pregunta con rigor fue *sir* Francis Galton (1822-1911), un científico de múltiples talentos, primo de Charles Darwin. Galton inventó un método conocido como «historiometría» que utilizó para

analizar la fracción de parientes de personalidades excepcionales que también alcanzaban cierto nivel de prominencia. Su trabajo, que publicó en su obra *Hereditary Genius* [Genio hereditario], lo llevó a concluir que, en efecto, las capacidades excepcionales se heredaban[35].

En la actualidad, la respuesta más probable a esta pregunta es «a veces y en cierta medida». Existen unas pocas familias multigeneracionales con personas creativas de cierta fama, y para todo un abanico de profesiones y ocupaciones. Marie Curie, su marido Pierre Curie y su hija Irène Joliot-Curie fueron físicos galardonados con el premio Nobel. Alexandre Dumas *père* (padre) y Alexandre Dumas *fils* (hijo) fueron novelistas de renombre, al igual que los primos lejanos Lev Tolstói, considerado uno de los mejores escritores de todos los tiempos, y Alexéi Tolstói, un escritor también famoso. Andrey Markov fue un célebre matemático que sentó las bases de toda la disciplina de los procesos probabilísticos «markovianos», y su hijo, Andréi Markov, también es conocido por sus trabajos sobre lógica matemática (fue uno de mis profesores favoritos en la Universidad Estatal de Moscú). La obra de George Boole, en el siglo XIX, sentó los cimientos de la ciencia de la computación del siglo XX, y su tataranieto Geoffrey Hinton se cuenta entre los actuales pioneros de la inteligencia artificial. Entre los numerosos primos de mi llorado amigo, el escritor y neurólogo Oliver Sacks, se encuentran el famoso diplomático y erudito israelí Abba Eban, el matemático, economista y premio Nobel Robert John Aumann, el director de cine y teatro Jonathan Lynn y el humorista gráfico Al Capp, por no mencionar el hecho de que la madre de Oliver fue una de las primeras cirujanas del Reino Unido. El grupo de los Sacks reviste un particular interés porque, a diferencia de la mayoría de las familias talentosas, está formada por personas de talentos muy distintos. Pero la agregación familiar no implica necesariamente heredabilidad, puesto que también intervienen factores ambientales y culturales compartidos, además del papel que pueda jugar cada uno como modelo a seguir. Además, la mayoría de las personas célebres por su creatividad nacieron en familias corrientes, sin nada que remarcar, y su talento creativo fue, por usar la jerga científica, «esporádico».

Hay una indagación más modesta, pero con una historia relativamente larga, que se pregunta por el control genético de eso que se suele tener por precursor de la creatividad, la búsqueda de la novedad. En algunos de los primeros estudios, equipos de científicos israelíes y norteamericanos hallaron en dos muestras independientes de Israel y Estados Unidos una asociación entre el rasgo de la personalidad de la búsqueda de la novedad y dos polimorfismos (variantes) del gen *D4DR*, que controla el receptor D4 de la dopamina[36]. Estos prometedores resultados estimularon una considerable cantidad de investigaciones dirigidas a clarificar esta relación. Sin embargo, cuando varios de estos estudios se sometieron a un metaanálisis, los resultados resultaron ser ambiguos[37].

La creatividad es un constructo más complejo y multidimensional que la búsqueda de la novedad, lo que hace que sea todavía menos probable que esté controlada por un único gen, o siquiera por un pequeño número de ellos. Pese a ello, ha habido varios intentos de identificar la base genética de la creatividad, pero han tenido éxito a medias. Martin Reuter y sus colaboradores de la Universidad Julius Liebig de Alemania examinaron el vínculo entre la creatividad y tres polimorfismos (variantes de genes) que podían afectar a los principales sistemas de neurotransmisores implicados en la cognición compleja: la dopamina (DA), la noradrenalina (NA) y la serotonina (5-HT). El primero de estos genes, *COMT VAL*158*MET*, desempeña un papel en la inactivación de catecolaminas en la hendidura sináptica y, por tanto, afecta tanto a la transmisión dopaminérgica como a la noradrenérgica. Se ha implicado en las funciones cognitivas vinculadas a los lóbulos frontales, tales como la atención y la memoria de trabajo, y ha sido un tema de investigación de moda. El segundo gen, *DRD2*-TAQIA, afecta a los receptores D2 de la dopamina que ya hemos comentado en capítulos anteriores, y que también están asociados con la búsqueda de novedad. El tercer gen, *TPH-A*779*C*, regula la conversión de triptófano en serotonina. Los polimorfismos concretos que se estudiaron eran versiones especialmente eficientes de los tres genes respectivos, y se examinó en 92 sujetos sanos su relación con el rendimiento en los

subtest de «inventiva» del Test de Berlín sobre la Estructura de la Inteligencia. Para los dos últimos genes[*], *DRD2* TaqIA y *TPH* A779C, se halló una asociación con el rendimiento en los subtest de creatividad verbal y figural, respectivamente. En cambio, *COMT* resultó ser una decepción, pues no mostró relación alguna con las medidas de creatividad utilizadas en el estudio. Ninguno de los tres genes mostró asociación alguna con las mediciones de inteligencia usadas en el estudio, y solo se encontró una modesta correlación entre las medidas de creatividad e inteligencia usadas en el estudio, hundiendo aún más en la confusión la relación entre estos dos constructos y el modo en que se hacen operativos en la investigación[38]. Los receptores D2 también se relacionaron con la creatividad, que se midió con varios test de «pensamiento divergente», en un estudio realizado por un equipo del Instituto Karolinska de Estocolmo que halló una relación inversa entre las puntuaciones de «creatividad» y la densidad de receptores D2 en el tálamo, una estructura subcortical constituida por un gran número de núcleos que interactúan estrechamente con la neocorteza[39].

La base genética de la creatividad musical también se abordó en varios estudios. Algunos de estos revelaron vínculos claros entre cromosomas específicos y los prerrequisitos de la creatividad musical, como un tono absoluto («perfecto»). Es interesante que estos vínculos fuesen un tanto diferentes en distintas poblaciones: en los cromosomas[*] 8q24.21, y en menor medida 7q22.3, 8q21.11 y 9p21.3, en los sujetos de ascendencia europea, pero solo en el cromosoma 7q22.3 en los sujetos con ascendencia en Asia oriental[40]. Un equipo de neurocientíficos finlandeses estudió la base genética de la creatividad musical, definida como actividad de composición, arreglos o improvisación referida por los propios sujetos. La capacidad para hacer arreglos se pudo vincular con el cromosoma 16, la composición con el cromosoma 4q22.1[41]. Por último, un equipo de científicos israelíes de la Universidad Hebrea de Jerusalén halló una asociación entre la actuación de danza creativa y los polimorfismos génicos *AVPR1a* y *SLC6A4*[42].

Son muchos más los estudios de este estilo que buscan vincular varias expresiones de la creatividad con genes específicos. Podría aburrir al lector con la lista, pero este capítulo no pretende ser una revisión exhaustiva de ese empeño, de modo que desisto de hacerlo. En su lugar, se me permitirá que ofrezca algunas reflexiones generales inspiradas por esos estudios. En conjunto, el estado de la investigación sobre la base genética de la creatividad me produce a un tiempo excitación y desánimo. Excitación, porque cada uno de los hallazgos es interesante, y dado que se producen en gran volumen, tarde o temprano habrán de culminar en algún progreso conceptual importante. Desánimo, porque hasta el momento ese gran progreso no se ha producido.

Puede haber varias razones para que sea así. Algunas de ellas están relacionadas con la forma en que definimos la creatividad, pues a menudo las medidas adoptadas en distintos estudios son arbitrarias y estrechas, y su relación con la creatividad de la vida real aún está por demostrar y es cuestionable. Tal como sugiere nuestra «deconstrucción» de la creatividad en el capítulo 2, esta no es un atributo cognitivo primario sino derivado, pues depende de varios atributos cognitivos y neurales subyacentes y más fundamentales, así como de sus interacciones. Además, las distintas vías que llevan a la creatividad pueden ser una consecuencia de distintas combinaciones de estos atributos y sus interacciones en distintas proporciones (los lectores que gusten de los oxímoron no tendrán problema con la idea de «creatividad derivada»). Cabe destacar que algunos de los genes que controlan los receptores de dopamina y que se han vinculado con la creatividad también se han vinculado con la búsqueda de novedad (de forma directa o inversa), y el «gen de la danza creativa», *AVPR1*, que hemos comentado unos párrafos más arriba, se ha vinculado con el comportamiento social. Tanto la búsqueda de novedad como el comportamiento prosocial se cuentan entre los requisitos fundamentales de la creatividad enumerados en el capítulo 2. En lugar de una búsqueda frontal de la base genética de la creatividad, probablemente resulte más fructífero buscar la base genética de esos prerrequisitos *cognitivos* más amplios y fundamentales.

Del mismo modo que es probable que la creatividad sea un atributo derivado en un sentido *cognitivo*, también es probable que lo sea en un sentido *neural*. En este mismo capítulo y en otros lugares del libro hemos comentado varios prerrequisitos neurales de la creatividad más amplios y fundamentales, entre ellos un alto grado de mielinización de vías neurales, una elevada expresión de propiedades de mundo pequeño en las redes de conectividad neuronal, un fuerte desarrollo del lóbulo frontal, un fuerte desarrollo del hemisferio derecho, un amplio rango de estados de activación controlados por los núcleos catecolaminérgicos del tronco cerebral (área tegmental ventral y locus cerúleo), y otros. En lugar de una búsqueda frontal de la base genética de la creatividad, probablemente resulte más fructífero buscar la base genética de esos prerrequisitos *neurales* más amplios y fundamentales.

Es mucho lo que hemos descubierto sobre la base genética de esas propiedades más amplias del cerebro. Se han identificado varias proteínas que controlan la mielinización, entre ellas la glicoproteína asociada a la mielina (MAG, por sus siglas en inglés) y la 3”-fosfodiesterasa de nucleótidos cíclicos (CNP)[43]. También se han identificado varios genes que se expresan de forma asimétrica en la corteza cerebral[44]. Ya hemos comentado en este mismo capítulo las diferencias individuales en las propiedades de red de mundo pequeño. Dado que tenemos pruebas empíricas de su heredabilidad, la búsqueda de su base genética es una dirección prometedora para la investigación en el futuro.

Las otras razones tras el fracaso, hasta el momento, del intento por descifrar los misterios de la creatividad están relacionadas con el modo en que enmarcamos nuestras expectativas sobre la base genética de la creatividad. Como ya hemos mencionado, si tomamos en consideración la enorme complejidad del constructo de la creatividad, las muchas vías que conducen hasta ella y la improbabilidad de un único «camino real», sería ingenuo esperar que la creatividad se encuentre vinculada a un único gen o enzima, o siquiera a un pequeño número de ellos. En un paralelismo que resulta instructivo, los estudios sobre un constructo relacionado, la inteligencia, han llevado a la conclusión de que, aunque altamente heredable, la inteligencia no se encuentra vinculada a un solo

gen, ni siquiera a un pequeño número de factores genéticos, sino que hay un elevado número de genes implicados, cada uno de los cuales ejerce un pequeño efecto aditivo que contribuye a determinar la variación individual en la inteligencia. Estos hallazgos fueron el resultado de un ambicioso proyecto entre varios centros de investigación liderados por científicos británicos y noruegos que estudiaron la relación entre el rendimiento en tareas cognitivas y los perfiles genéticos de 3511 sujetos adultos no emparentados y 549 692 SNP (por el inglés de polimorfismos de un solo nucleótido, variaciones moleculares en el código genético), y llegaron a la conclusión de que aproximadamente el 40 % de la variación individual en la inteligencia «cristalizada» (el conocimiento aprendido) y el 51 % de la inteligencia «fluida» (capacidad de resolver problemas nuevos) se podían explicar por medio de la heredabilidad, pero que estas diferencias estaban controladas por los efectos combinados de un número muy elevado de factores genéticos difíciles de identificar. Los cromosomas más largos contribuían más que los cortos a la variabilidad individual, lo que respalda aún más la idea de que el número de nucleótidos implicados era elevado[45]. Estos hallazgos implican que los subconjuntos de SNP candidatos a explicar la «inteligencia», sean los que sean, pueden darse en múltiples combinaciones y moldearla de mil maneras distintas, lo cual daría lugar a múltiples «inteligencias».

Casi con certeza, lo mismo puede presumirse sobre la base genética de la creatividad, y quizá en un grado aún más alto. Esto todavía pone más en duda la idea de la «creatividad» como rasgo monolítico y apoya la idea de «múltiples creatividades». La incierta relación entre los test y cuestionarios de «creatividad» al uso (los de pensamiento divergente y otros) y la creatividad en la vida real hace que sea igualmente incierto el valor heurístico de los estudios que correlacionan el rendimiento en estos test con varios tipos específicos de expresión génica, que por consiguiente pueden aportar más confusión que claridad. En lugar de (o además de) este «ataque frontal» que pretende hallar correlaciones directas entre factores genéticos muy específicos, como los SNP, y el rendimiento en test cognitivos arbitrariamente seleccionados (incluidos

los caballos de batalla de la «investigación sobre la creatividad», los test de «pensamiento divergente»), un enfoque jerárquico, de arriba abajo en varios pasos, podría resultar más productivo, y el primer paso consistiría en buscar el control genético sobre amplios atributos biológicos y cognitivos del tipo de los enumerados más arriba. No es exagerado esperar que se llegue a vincular ciertas propiedades del cerebro que de manera indirecta contribuyen a una o más de las «piezas móviles» que intervienen en la creatividad con conjuntos específicos, identificados o identificables, de proteínas, genes o su expresión, y se podría llegar a plantear preguntas sobre su identidad. En lugar de buscar genes candidatos específicos, tal vez fuera más fructífera la búsqueda por todo el genoma de agregados complejos de genes, y podemos especular que varios de esos agregados de genes podrían estar detrás de propiedades cognitivas similares (recordemos que son muchos los caminos que llevan a la creatividad).

Una vez identificados esos genes candidatos (más probablemente agregados de genes), el segundo paso consistiría en explorar de forma más directa su papel sobre los atributos cognitivos de interés, entre ellos la creatividad, examinando su expresión en individuos caracterizados por distintos tipos y niveles de creatividad. Una ventaja adicional de este enfoque es que disponemos de una gran variedad de especies de mamíferos (y quizá no solo mamíferos) que se podrían usar como modelos para identificar los genes candidatos, pues es probable que tanto los amplios atributos biológicos relevantes como su control genético se encuentren muy conservados entre especies. Una vez identificadas las diferencias individuales en la expresión de esos factores genéticos, se podrían comparar en individuos con diversos grados de creatividad en la vida real, pudiéndose utilizar una amplia batería de test para evaluar la «creatividad» en los humanos, pero probablemente también, una vez modificados para que sean operativos, en otras especies.

A modo de conclusión, consideremos una analogía con la jardinería. Probablemente no sea una buena idea intentar averiguar cómo «cultivar» un caldo de verduras. Una propuesta mucho mejor sería buscar el modo

de mejorar el cultivo de zanahorias, cebollas, patatas o lo que sea. Y quienes se sientan más a gusto con una metáfora más espirituosa acordarán conmigo que para mejorar la receta de un cóctel, primero es preciso identificar sus ingredientes. Del mismo modo, centrarse en el control genético de los ingredientes de la creatividad, que son más fundamentales y están mejor definidos, resultará más productivo que la búsqueda frontal del control genético de la propia creatividad. Por lo menos en el futuro cercano.

Epílogo: ¿Y ahora qué?

UN RESUMEN Y UNA MIRADA HACIA EL FUTURO

¿Cambiará este libro lo que piensa el lector sobre la naturaleza de la creatividad humana, y de ser así, en qué sentido? «Creatividad» es una palabra grave cuyo significado puede parecer engañosamente evidente. Sin embargo, sabemos que, en contra de la intuición y del sentido común, no se corresponde con un único y bien definido fenómeno o atributo. Tal como hemos argumentado en el capítulo anterior, la creatividad es un fenómeno derivado, producto de muchos atributos cognitivos que dependen del trabajo conjunto de diversos sistemas cerebrales. Puede tomar muchas formas, y son muchos los caminos que conducen al resultado de la creatividad. Es producto de complejas interacciones entre la neurobiología y la cultura, y como tal, no se refleja en un vínculo con una sola estructura cerebral o en un control genético simple. Por eso la discusión de los diversos componentes del proceso creativo nos llevaron a visitar buena parte del cerebro humano. Un proceso creativo, por definición, tiene que ver con la novedad, lo que implica la participación de los lóbulos cerebrales y del hemisferio derecho. Se beneficia de una buena comprensión de conocimiento y conceptos previamente acumulados, lo cual depende del hemisferio izquierdo. Tiene que estar guiado por un fino sentido de la importancia y la relevancia, y eso depende de los lóbulos frontales y de la señalización por la dopamina.

Aunque guiado por el sentido de la relevancia, el proceso creativo no debe verse frenado por la conformidad, lo que trae a escena una corteza

cingulada anterior bien afinada. Para colmarse con éxito, el proceso creativo requiere que un esfuerzo sostenido y dirigido a una meta, guiado por la corteza hiperfrontal, se entrelace con una generación de ideas aparentemente sin esfuerzo que requiere una suspensión del control por el lóbulo frontal, un estado de hipofrontalidad. A la compleja danza entre estos dos estados la hemos denominado «divagación dirigida». Esta, a su vez, precisa de un ágil tronco encefálico capaz de proveer un amplio abanico de estados de activación y de cambiar de uno a otro. Además, para poder conectar ideas e informaciones dispares, el cerebro tiene que estar fuertemente interconectado y dotado de propiedades de «mundo pequeño».

En último término, sin embargo, el destino de la innovación se encuentra a merced de la sociedad, formada por la multitud de consumidores no particularmente creativos que pueden acoger la innovación y, con ello, conferirle el reconocimiento de «creativa», o rechazarla e ignorarla y de este modo condenarla al olvido. Esta última y triste posibilidad puede deberse a que la innovación realmente carecía de relevancia, y este es el destino de muchos intentos de innovar. Pero una innovación, o una idea, también pueden ignorarse porque se adelanta tanto al *zeitgeist* predominante de la época que la sociedad es incapaz de reconocer su relevancia o su valor potencial. Esta segunda posibilidad me conmueve de una manera especial, y es por ello que decidí dedicar este libro a las personas creativas anónimas cuyo genio no fue reconocido por sus coetáneos y cuyas aportaciones fueron ignoradas u olvidadas porque se adelantaban a su época. Estoy seguro de que estos espíritus creativos anónimos deben salpicar la historia de la civilización humana, pero nunca sabremos sus nombres, así que dedicarle un libro es lo menos que podemos hacer por ellos.

¿Cuál es el futuro de la innovación y la creatividad? Obviamente, se verá moldeada por los futuros cambios en los propios procesos de innovación y creatividad, y quien se fíe de su imperfecta bola de cristal para predecir el curso y las numerosas formas que adoptarán esos cambios probablemente se llevará a engaño. Se puede, no obstante, hacer algunas predicciones con cautela. Para ello, volveremos adonde

empezamos en las primeras páginas de este libro: a la distinción entre consumir innovación y generarla.

CONSUMIR INNOVACIÓN

«La parte del consumidor»

¿Qué hace en un libro sobre la creatividad una discusión sobre cómo recibe la innovación el consumidor? Recordemos que un proceso creativo se define como una combinación de lo nuevo y lo valioso, y que el veredicto sobre qué es valioso y qué no lo es lo dicta la sociedad, no el individuo creativo. La mayoría de las veces, las indagaciones sobre la naturaleza de la creatividad se centran en cómo se *generan* las nuevas ideas, los nuevos productos o cualquier otra forma de innovación; también ha sido el objeto de este libro. En comparación, no es frecuente que la indagación se centre en cómo la innovación se *consume*. Sin embargo, a menudo olvidamos que la innovación y la creatividad son una obra en dos actos: toda innovación de importancia es producto de la creatividad de alguien (Acto Primero), que luego es «consumido» por la sociedad (Acto Segundo), la cual, a su vez, afecta a las futuras contribuciones creativas, y así continúa el ciclo. Al centrarnos en el primer acto, a menudo ignoramos el segundo y olvidamos que es tan importante como el primero para el progreso de la civilización.

Como ya hemos comentado en este libro, para que la innovación sea reconocida como una contribución verdaderamente creativa y no como un simple e idiosincrásico vuelo de la fantasía, tiene que hallar eco en la sociedad e influir en ella. Si la sociedad no comprende el valor de una innovación, ya sea científica, tecnológica o artística, y no la acoge (no necesariamente de inmediato, pero sí en un tiempo razonable), la innovación quedará olvidada sin llegar a enraizar, sin dejar huella, y no estaríamos hoy hablando de ella. Así pues, desde el principio, el consumidor desempeña un papel tan importante como el creador sobre el destino de una forma artística, idea o producto novedoso.

En su libro *La era del inconsciente*, Eric Kandel examina el concepto de «la parte del espectador» en las artes visuales, la idea de que observar una pintura no es un acto pasivo, sino un proceso de implicación activa caracterizado por las propias demandas cognitivas[1]. En un sentido más amplio, podemos hablar de la «parte del consumidor» en el destino de una innovación o un producto creativo. Sea cual sea el curso que tome el proceso de innovación en el futuro, es probable que los retos cognitivos sobre la «parte del consumidor» se incrementen, y que cambie su demanda sobre los procesos neurales, tanto en volumen como en carácter. La forma en que el «consumidor» responde a la innovación es parte integral del ciclo creativo, y merece un examen detenido.

¿Por qué es interesante explorar la «parte del consumidor»? Porque, mientras que las innovaciones las generan un número relativamente pequeño de individuos o equipos creativos, las consumen miles, millones o incluso cientos de millones de personas. Pensemos si no en internet y los teléfonos inteligentes. Concebidos inicialmente por un puñado de visionarios de unas pocas y minoritarias instituciones académicas y nodos de alta tecnología, han impregnado el mundo entero y de forma directa o indirecta afectan la vida de todos los habitantes del planeta.

¿Por qué hoy más que nunca es interesante la pregunta sobre cómo se consume la innovación? Lo que hace que hoy la «parte del consumidor» resulte tan interesante es la rápida aceleración del ritmo con el que se presentan innovaciones al público, y con el que este tiene que absorberlas. En las sociedades estáticas de nuestro pasado, las innovaciones eran pocas y espaciadas. En consecuencia, los consumidores de estas innovaciones, las proverbiales masas, apenas se veían obligados a actualizar su repertorio de conocimientos, conceptos o habilidades. Una vez adquirido, un repertorio básico podía servir para toda la vida sin demasiadas actualizaciones. Un ser humano y una generación podían pasarse la vida sin consumir apenas innovaciones, si es que consumían alguna. Por consiguiente, la «parte del consumidor» no era un factor significativo en la dinámica social de la creatividad y la innovación.

Sin embargo, en una sociedad como la nuestra, más rápida y que cada vez lo será más, las ingentes masas de consumidores se ven continuamente desafiadas por el imperativo de adquirir nuevas habilidades, de hacer suyos nuevos conceptos, y la velocidad y ámbito de este proceso es probable que cada vez se acelere más, al menos en el futuro cercano. Tras su invención alrededor del quinto milenio a. C., la rueda tardó siglos en ser ampliamente adoptada por las sociedades de la Antigüedad. En cambio, a finales del siglo XX apenas hicieron falta unas pocas décadas para que internet se convirtiera en un medio de comunicación universal.

En una sociedad dinámica, la «parte del consumidor» de innovación y creatividad se convierte en un factor de enorme importancia para la dinámica social, una importancia que todavía no ha sido plenamente reconocida y estudiada. Aunque la forma en que la innovación es recibida por la sociedad no forma parte del discurso tradicional sobre la creatividad, deberá hacerlo en una sociedad informacionalmente dinámica. A menudo se pasa por alto el fenómeno demográficamente masivo de los cambios en el ritmo con el que se introduce y propaga la innovación, pero sus implicaciones para la sociedad son profundas. A medida que se acelere el ritmo con el que las masas de consumidores se vean expuestas a la innovación, cambiarán también las demandas que este proceso impone sobre la cognición de sus consumidores, incluso sobre su cerebro. ¿Cuáles son las consecuencias de estos cambios? Con nuestra nebulosa bola de cristal no podemos siquiera adivinar la amplitud de sus consecuencias. No obstante, examinaremos aquí dos de ellas: cómo puede afectar al envejecimiento del cerebro una mayor exposición a la novedad, y los desafíos sin precedentes que la llegada de la «realidad virtual» plantea al cerebro del consumidor.

El envejecimiento cerebral y el fin del piloto automático

Una enigmática posibilidad es que la constante exposición a la novedad afecte a la propia manera en que el cerebro humano envejece, algo que quizá ya haya comenzado a ocurrir. Y lo afectará para bien. Por

extravagante que suene la idea, podría ayudarnos a explicar algunos de los cambios recientes en la incidencia de la demencia en la sociedad.

Contra el telón de fondo de las pesimistas predicciones de una epidemia de demencia que se expande de manera catastrófica comienza a vislumbrarse un sorprendente rayo de esperanza: la tasa de nuevos casos de demencia (la «incidencia») está disminuyendo. De acuerdo con el Estudio de Framingham sobre el Corazón, esta bajada se ha notado durante las últimas décadas. En comparación con la década que va de finales de los años setenta a principios de los años ochenta, la tasa de nuevos casos de demencia había caído en un 22 % de finales de la década de 1980 a principios de la de 1990, en un 38 % de finales de los noventa a principios de 2000, y en un 44 % de finales de la década de 2000 a principios de la de 2010. Durante este período, la edad promedio a la que se diagnostica la demencia ha aumentado en cinco años, lo que significa que incluso aquellos que finalmente sucumben a ella logran «defender su cognición» durante más tiempo. Curiosamente, la reducción del riesgo de demencia solo se ha observado en personas con educación secundaria o superior. Cuando se tomaron en cuenta los factores de riesgo asociados a enfermedades vasculares, ictus, fibrilación atrial y fallo cardíaco, su reducción con el tiempo no bastó para explicar completamente la caída en la incidencia de la demencia[2].

Los hallazgos eran coherentes con los de unos pocos estudios anteriores que mostraban una reducción tanto de la prevalencia como de la incidencia de la demencia en varias poblaciones. Estos estudios pasaron casi desapercibidos porque iban frontalmente en contra de la suposición más común que postulaba un aumento, no una reducción, de la prevalencia de la demencia a consecuencia de la mayor longevidad y de los cambios demográficos que incrementaban la fracción geriátrica de la población, pero el caso es que estaban ahí. Un equipo de científicos del Centro de Estudios Demográficos de la Universidad Duke halló una caída en la prevalencia de varias discapacidades cognitivas graves en la población de más sesenta y cinco años de edad, del 5,7 % en 1982 al 2,9 % en 1999[3].

En el mismo sentido, de acuerdo con una colaboración entre varios centros a partir del Health and Retirement Study (HRS, estudio sobre jubilación y salud), la prevalencia de discapacidades cognitivas significativas entre los mayores de setenta años cayó del 12,2 % en 1993 al 8,7 % en 2002. Una comparación más reciente del HRS demuestra que la tendencia se mantiene. La prevalencia de la demencia entre la población de sesenta y cinco o más años de edad cayó del 11,6 % en 2000 al 8,8 % en 2012, una reducción muy significativa. Durante el mismo período, la edad promedio de diagnóstico de la demencia subió de 80,7 a 82,4 años, también un cambio significativo[4]. En todos estos estudios, la educación resultó ser un factor protector frente a la demencia.

Los estudios europeos revelaron una tendencia parecida. En Alemania, la incidencia de la demencia cayó significativamente entre 2006-2007 y 2009-2010. Al mismo tiempo, la edad de inicio de la demencia aumentó significativamente, de manera que para las personas de sesenta y cinco años de edad, la vida futura libre de demencia aumentó a un ritmo anual de 1,4 meses en los hombres y 1,1 meses en las mujeres[5]. Tendencias parecidas se observaron en el Reino Unido, los Países Bajos y Suecia[6].

¿Qué hay detrás de estas gratas pero un tanto inesperadas tendencias? Suele mencionarse el aumento de la salud cerebrovascular y cardiovascular, pero según los autores del Estudio de Framingham, estos cambios no llegan a explicar del todo la disminución de la incidencia de la demencia. De hecho, la caída de las tasas de demencia observada en el proyecto HRS se produjo *a pesar* del aumento de la prevalencia de la hipertensión, la diabetes y la obesidad en la población estudiada, lo que solo hacía aún más enigmáticos los resultados. La educación superior suele mencionarse como factor neuroprotector, al igual que la complejidad de las actividades ocupacionales durante la vida adulta, y suele invocarse también el concepto de «reserva cognitiva», el producto de una actividad mental enérgica durante toda la vida[7]. Estos últimos hallazgos son especialmente reveladores porque implican que cómo y cuánto usamos el cerebro afecta la salud cerebral. Se ha sugerido, en

efecto, que las actividades cognitivas enérgicas durante toda la vida no solo fortalecen el cerebro durante el envejecimiento, sino que, hasta cierto punto, tienen un efecto protector frente a la demencia[8].

Lo que pasó desapercibido en la literatura científica, o al menos no se comentó, es que la bajada en la incidencia de la demencia concurra con la llegada de las tecnologías digitales producidas en masa y en continuo cambio: ordenadores personales, teléfonos y otros dispositivos móviles, e internet, que comenzó a saturar las sociedades desarrolladas desde finales de la década de 1980. Cada vez más, el proverbial teleadicto con predisposición natural a la pereza mental y aversión a la alta tecnología se fue acercando al universo digital y se vio impelido por los cambios en la sociedad a acoger y domeñar estas tecnologías en constante evolución. La tendencia no se limita a los jóvenes, pues cada vez es más habitual el uso de estas tecnologías por los mayores. El advenimiento de nuevas tecnologías digitales para las masas se adelantó en una o dos décadas a la caída en la incidencia de las demencias, que es justamente el tipo de relación temporal que uno esperaría para que la relación causal entre ambas sea plausible.

Esto plantea la interesante pregunta de si la llegada cada vez más generalizada de tecnologías digitales de consumo, con su imparable actualización y cambio, que fuerza a sus consumidores a aceptar la novedad a un ritmo sin precedentes en la historia de la humanidad, contribuyó a la caída en la incidencia de las demencias y al retraso en la edad a la que comienzan a manifestarse. Otro de los hallazgos del proyecto HRS, tan contrario a la intuición como «políticamente incorrecto», también podría explicarse con la hipótesis de la tecnología digital: el riesgo de demencia resultó ser menor en las personas con sobrepeso que en las de peso normal. Y al contrario, el riesgo de demencia resultó ser elevado en las personas con un peso por debajo del apropiado. ¿Es posible que exista una relación inversa entre la cantidad de tiempo que dedica la gente a actividades físicas vigorosas para mantener el peso y la cantidad que dedica a las tecnologías digitales y otras actividades que presenten desafíos cognitivos? La relación (presuntamente inversa) entre el uso de tecnologías digitales y el riesgo

de desarrollar demencia en la población en proceso de envejecimiento es una enigmática posibilidad que puede y debe examinarse con más detenimiento mediante una investigación rigurosa.

El adagio de «si no lo usas, lo pierdes» aplicado a la salud del cerebro es tan viejo que a menudo suena a tópico gastado; pero en la edad de la continua novedad adquiere un nuevo sentido. Para ejercer su efecto neuroprotector, las actividades cognitivas deben constituir retos y ser variadas y novedosas. Sin embargo, tal como hemos argumentado al principio de este libro, hasta hace muy poco tiempo era posible vivir una vida feliz y de éxito como profesional respetado sin necesidad de mucho esfuerzo cognitivo. En un entorno informacionalmente estático, hasta un profesional de alto nivel (un físico, un ingeniero o un profesor universitario) podía dedicarse a actividades que a un observador casual podrían deslumbrarlo por abrumadoramente «intelectuales», pero que no lo obligarían a dejar el piloto automático mental. La reconfortante protección del piloto automático mental era irresistiblemente seductora porque era posible usar las mismas técnicas de diagnóstico y prescribir los mismos tratamientos a los pacientes, o usar las mismas ecuaciones para diseñar máquinas, o dar clases durante años con los mismos apuntes.

Y más aún podía decirse de los que se dedicaban a vocaciones menos elevadas. En todo tipo de actividad, la dependencia del piloto automático mental aumentaba con la edad. Aparte de algunas discontinuidades drásticas, como verse inmerso en una cultura totalmente distinta, cambiar radicalmente de profesión, metamorfosearse en delfín o ser transportado a la Luna, con la edad la exposición a la novedad solía reducirse al tiempo que aumentaba la dependencia de un conjunto de patrones. Pero eso significa que, con la edad, la premisa de que «si no lo usas, lo pierdes» se vaciaba y despojaba de su esencia neuroprotectora. No es por accidente que la estructura cortical más crítica para la resolución de problemas complejos, la corteza prefrontal, sea la primera en sucumbir a los efectos de la atrofia relacionada con la edad incluso durante el envejecimiento normal,[8] y que, de acuerdo con ciertos datos,

el hemisferio derecho, hambriento de novedad, sucumbe a estos efectos antes que el izquierdo[9].

En la era de la novedad, sin embargo, la dependencia de los pilotos automáticos mentales será cada vez más insostenible para cualquier miembro de la sociedad, incluso para aquellos que no estén implicados en actividades que tradicionalmente se han percibido como «intelectuales». Cualquier miembro de la sociedad se verá forzado a usar su cerebro, y de una forma cada vez más real, menos superficial.

¿Qué efecto tendrá sobre el cerebro envejecido que se vea expuesto cada vez más y de manera más implacable a la novedad? ¿Modificará el modo en que el envejecimiento afecta al cerebro, de manera que la corteza prefrontal y el hemisferio derecho dejen de ser las dianas más vulnerables al propio envejecimiento? ¿Cambiará los patrones cognitivos y la historia natural de la demencia? ¿Prevendrá y demorará los perjudiciales efectos cognitivos del envejecimiento y llegará incluso a protegernos del inicio de la demencia? ¿Es posible que la menor incidencia de la demencia en las sociedades avanzadas durante las últimas décadas señale el inicio de esta tendencia, dado que estas sociedades, cada vez más sometidas a la novedad, se han visto forzadas a prescindir del piloto automático? Son posibilidades seductoras, pero que necesitamos entender mejor. La relación entre la cultura de la innovación y el envejecimiento del cerebro debería convertirse en tema de investigación en el futuro, con implicaciones sociales potencialmente profundas.

La vida en un multiverso

Decir que la sociedad, guiada a la novedad, será cada vez más tecnológica y que las futuras tecnologías adoptarán formas muy distintas es una perogrullada. Lamentar los males de internet, los medios sociales y los dispositivos digitales está tan en boga como compadecerse de sus efectos alienantes y «entontecedores». Aun cuando fueran válidas, estas preocupaciones son inútiles porque no van a revertir o frenar la llegada de las tecnologías digitales, de modo que ¡hay que vivir con ellas! Pero es que ni siquiera son válidas. Como especie y como civilización, ya hemos

pasado antes por puntos de inflexión parecidos. La aparición del lenguaje escrito hace varios milenios muy posiblemente suscitara en su tiempo recelos parecidos. Leer es una actividad inherentemente más solitaria que formar parte de un grupo entretenido por un sabio alrededor de una hoguera en el espíritu de la tradición de los relatos de transmisión oral. Y en cierto sentido estrecho y trivial, el lenguaje escrito tiene un efecto «entontecedor» porque nos libera de la necesidad de ejercer la memoria para recordar una gran cantidad de información.

¿Qué formas precisas adoptarán las nuevas tecnologías? No lo sabemos. La historia nos enseña que, puestos a adivinar el futuro, ni siquiera las mentes más clarividentes de la ciencia ficción, como Luciano de Samósata, Julio Verne, Herbert George Wells y otros, acertaron en nada. Lo que sí está claro es que, siga la trayectoria que siga, no podrá impedirse. Ni el más conservador y renuente consumidor de este diluvio de innovación podrá eludirlo, y la presión por aprender constantemente cosas nuevas sera implacable y cada vez más rápida. La historia del saber es un campo esotérico que pretende catalogar la totalidad del conocimiento de todas las disciplinas de la actividad humana y el ritmo al que cambia y se expande a través de la historia de la civilización humana. Hay incluso un libro escrito bajo el ambicioso título de *Breve historia del saber* cuyo autor, Charles van Doren, fue, como no podía ser de otro modo, editor de la *Encyclopedia Britannica*[10].

Como disciplina, la historia del saber se ha ocupado tradicionalmente de la tasa de acumulación de conocimiento científico, pero algún día un historiador del saber innovador (el guiño es buscado) podría afrontar el reto de cuantificar la totalidad del conocimiento y habilidades que un ser humano corriente, ni ambicioso ni excepcional, necesitaba para moverse por su entorno de manera competente en cada momento de la historia. También podría intentar calcular el ritmo al que era necesario actualizar o remplazar ese conocimiento en cada momento, y representarlo sobre un gráfico. ¿Se parecería la curva a la que describe la ley de Moore del desarrollo tecnológico o a alguna otra curva exponencial? Cabe pensar que probablemente sí, pues el impacto de la innovación científica y técnica sobre la vida de la gente corriente, tanto si son consumidores

entusiastas como si son renuentes, seguramente es más o menos proporcional al volumen total del conocimiento en la sociedad y a su tasa de acumulación y remplazo.

Entre las muchas maravillas que nos deparará el «valiente nuevo mundo» hay una especialmente profunda que puede influir directamente en el funcionamiento de la mente humana, el cerebro humano. Se trata del advenimiento de la realidad virtual y de la «revolución de la fusión» a la que tarde o temprano dará paso. Por el momento, nuestra experiencia con la realidad virtual es limitada o del todo ausente; se utiliza sobre todo en juegos, educación, formación profesional, rehabilitación física y, de forma muy limitada, en películas. Pero llegará un tiempo, y en un futuro no muy lejano, en que el viaje virtual sustituirá el viaje físico y en el que la información transmitida verbalmente será suplantada por corrientes de imágenes multisensoriales, si no de forma completa, al menos en gran medida. ¿Cómo cambiará eso la cognición y, posiblemente, el propio cerebro? ¿Qué demandas impondrá sobre la «parte del consumidor», sobre la cognición del consumidor? ¿Será el mundo más o menos complejo? ¿Más o menos confuso?

Tal como argumenté en las primeras páginas de este libro, es probable que una persona que viva de aquí a unas pocas generaciones habite un mundo en el que las realidades física y virtual se fusionen de manera casi completa, en el que las leyes de los mundos virtuales se construyan de formas múltiples y tal vez mutuamente contradictorias. La multitud de «universos paralelos», lo que a veces se conoce como «multiverso», que hasta ahora había sido dominio exclusivo de las ramas más esotéricas de la mecánica cuántica y de la ciencia ficción, pasará a formar parte del mundo macroscópico de las vidas corrientes. ¿Cómo se las arreglará un ser humano cualquiera para moverse por ellos y conciliarlos? Antes de poder abordar esta pregunta, el «multiverso» de la realidad virtual y su impacto sobre el cerebro habrán de convertirse en objeto de estudio de la neurociencia.

El lector escéptico haría bien en recordar que la palabra «multiverso» fue acuñada a finales del siglo XIX por el psicólogo William James, quien la utilizó en un contexto cognitivo («multiverso moral»), décadas antes

de que los físicos se la apropiaran para otros significados[11]. Por extraño que parezca, los «universos mentales paralelos» han formado parte de la experiencia humana durante toda la historia de nuestra especie. La capacidad de evocar recuerdos y de convocar imágenes arbitrarias en la mente es la fuente de esos universos paralelos, pero el desarrollo del lenguaje multiplicó enormemente esa habilidad. El lenguaje nos permite construir realidades paralelas que pueden entrar en contradicción con la realidad física o entre ellas mismas. Pese a la posibilidad de conflicto, las realidades paralelas construidas por medio de lenguaje a menudo se funden en la mente con la realidad física, y la información recibida a través de estos dos canales se entreteje y mezcla en nuestro cerebro. En ocasiones esta fusión es total, hasta el punto de que la frontera entre las dos corrientes de información se desdibuja; otras veces provoca una perturbadora disonancia. Pero una persona sana suele ser capaz de distinguir entre la realidad física propiamente dicha y los «universos paralelos» construidos por medio de la imaginación y el lenguaje. Esta capacidad se deteriora en ciertos trastornos psiquiátricos y neurológicos, que conocemos como «psicosis».

Pero nada nos garantiza que el cerebro humano haya de preservar en el futuro la capacidad para manejar esta distinción. En la jerga de la alta tecnología, un entorno en el que se entremezclan la realidad física y la realidad virtual se conoce como «realidad aumentada». ¿No podría ocurrir que, a medida que la realidad virtual y la realidad aumentada vayan impregnando nuestras vidas, nos resulte cada vez más difícil distinguir entre lo físico y lo digital? ¿Y si, en ciertos entornos y para ciertos propósitos, sea mejor para el «espectador» que *no* haga esa distinción? ¿Qué desafíos, nunca antes experimentados por nuestra especie (por ninguna especie) planteará eso a la mente y el cerebro humanos?

Que la experiencia humana se verá profundamente afectada por la realidad virtual es una convicción que comparten las personas mejor cualificadas para hacer predicciones sobre las tecnologías del futuro. Mark Zuckerberg, el fundador de Facebook, cree que las aplicaciones de videojuego que aprovechan la realidad virtual no son más que la punta de

lanza de otras aplicaciones mayores y, esperemos, mejores. Cuando adquirió por dos mil millones de dólares la compañía de desarrollo de realidad virtual Oculus VR, no cabe duda que pasó del dicho al hecho. Esto es lo que escribió Zuckerberg en el comunicado con el que anunciaba la adquisición:

> Imaginemos que disfrutamos de un buen asiento en un partido, estudiamos en una clase con estudiantes y profesores de todo el mundo o hacemos una consulta cara a cara con un médico con solo ponernos unas gafas de realidad virtual en nuestra propia casa. Se trata verdaderamente de una nueva plataforma de comunicación. Al sentirnos realmente presentes, podemos compartir espacios y experiencias sin límites con las gentes de nuestras vidas. Imaginemos que podemos no ya compartir algunos momentos con los amigos en línea, sino experiencias y aventuras enteras [...] Nosotros creemos que algún día este tipo de realidad aumentada inmersiva formará parte de la vida diaria de miles de millones de personas [...][12].

Otros gigantes de la tecnología digital también han entrado en el juego. Microsoft ha lanzado el *Proyecto Camradre* que, promovido por Jaron Lanier, un informático polímata a quien a menudo se atribuye haber acuñado el término «realidad virtual», pretende crear un entorno de realidad virtual aumentada compartido por varios usuarios que interactuarían con los mismos objetos o escenas virtuales[13]. También se han metido en el juego varias compañías emergentes; una de ellas, llamada Magic Leap, ha conseguido más de mil millones de dólares de financiación.

La perspectiva de un «multiverso cognitivo» engendrado por una realidad virtual o aumentada está preñada de hondas implicaciones filosóficas en la frontera entre la epistemología y la ontología, y sobre la definición de la propia realidad. Como ya mencionamos en la

introducción, las preguntas sobre la relación entre lo que es percibido y lo que realmente *es* cautivó a grandes pensadores del pasado como Immanuel Kant o Hermann von Helmholtz, cuya reacción a los valientes nuevos mundos virtuales solo podemos imaginar. Pero es incluso más interesante imaginar cómo funcionarán las mentes (y los cerebros) de los seres humanos corrientes inmersos en esos entornos, y qué cambios promoverán en nuestra constitución mental.

Las tecnologías de realidad virtual de nuestros días todavía son demasiado embrionarias como para comenzar a explorar todas las posibilidades. La investigación actual sobre la interacción entre el cerebro y la realidad virtual gira en torno a sus aplicaciones en la rehabilitación y la educación. Entre los relativamente escasos estudios de naturaleza más fundamental que han examinado los efectos de la realidad virtual sobre el cerebro, el de perfil más elevado en el momento en que escribo esto versa sobre la actividad del hipocampo en las ratas; es probable que la situación cambie en un futuro cercano[14]. La mente y el cerebro de una persona completamente inmersa en un entorno de realidad virtual o aumentada será uno de los temas más intensamente investigados si queremos llegar a entender los desafíos cognitivos a los que en un futuro no muy lejano habrá de enfrentarse el consumidor de la innovación digital, así como el impacto de esta sobre el cerebro del consumidor.

CREAR INNOVACIÓN

Mentes en contexto

La visión romántica de una odisea intelectual solitaria que culmina en una idea rompedora que provoca un cambio de paradigma ya casi se ha desvanecido. Incluso se ha acuñado el término «inteligencia colaborativa» para reflejar esta tendencia que nos lleva de los individuos a los equipos. No es que en el pasado no hubiese colaboración. En un sentido amplio, ni siquiera el individuo solitario era realmente solitario, pues implícitamente tenía como miembros de su equipo a todos los

gigantes del pasado sobre cuyos hombros se alzaba, así como a las almas intelectuales gemelas cuyas ideas apoyaba o los adversarios intelectuales cuyas ideas pretendía demoler. Dado que todo proceso creativo se produce en un contexto cultural, por definición será colaborativo. En sus libros *Group Genius* [Ingenio de grupo] y *Explaining Creativity* [La creatividad, explicada][15], Keith Sawyer da muchos ejemplos de esos esfuerzos colaborativos, tanto verticales (que beben de trabajos anteriores) como horizontales (mediante la interacción con coetáneos) en la ciencia, las artes y los negocios.

Pero en un sentido más directo e inmediato, cada vez más el proceso creativo es impulsado por un grupo y no por un individuo. En la ciencia, los descubrimientos y las innovaciones importantes se deben cada vez más a equipos de distintos tamaños y composiciones. Como cualquier lector de revistas científicas habrá notado, el tamaño medio de la lista de autores de un artículo científico ha ido creciendo de una forma espectacular durante las últimas décadas, al tiempo que la autoría singular se iba haciendo cada vez más infrecuente. Como individuo, a veces lamento el cambio, pues estilísticamente y por temperamente, el empeño intelectual solitario siempre ha sido mi *modus operandi* preferido, y supongo que hay muchos científicos e intelectuales que piensan como yo. Sin embargo, es un lamento inútil: hay que adaptarse.

A medida que las nuevas formas artísticas se entremezclan con la tecnología, es probable que esta tendencia a la colaboración crezca también en las artes. Todo esto implica que el esfuerzo por entender la naturaleza de la innovación y el proceso de creación ya no puede girar de manera exclusiva o siquiera predominante en torno al individuo creativo, sino que cada vez más habrá de hacer hincapié en los estudios de grupos creativos. Entender qué se debe buscar y evitar en la composición de un equipo innovador de éxito es en sí mismo un proceso creativo, y a decir de J. Richard Hackman, quien fuera catedrático de psicología social y organizacional de la Universidad de Harvard, no será un reto sencillo[16].

Los cambios sociales, culturales y demográficos que afectan a los procesos de innovación son amplios. Cada vez se pone más en duda la idea, tan arraigada, de que la capacidad de innovación viene con una

fecha de caducidad que depende de la edad[17]. Ni siquiera en las matemáticas, que durante siglos se ha considerado terreno exclusivo de las mentes jóvenes, se consiguió establecer mediante un análisis meticuloso una relación clara entre la edad del matemático y la calidad y cantidad de su producción[18]. ¿Contradicen estos hallazgos alguna de las consideraciones expresadas anteriormente en este mismo libro? No, en absoluto, pero sí ayudan a establecer el hecho de que los caminos que llevan al producto creativo son muchos, y pueden ser complementarios y depender de distintas experiencias y atributos neurales. También ayudan a establecer como un hecho (y muy importante) que estos caminos pueden ser distintos en distintos momentos y en distintos contextos culturales e informacionales.

¿Cuáles son las implicaciones de estas diferencias para la composición óptima de edades de un equipo creativo en distintos ámbitos de la innovación? Se ha sugerido que un equipo efectivo debería incluir tanto miembros jóvenes, libres de la carga de las preconcepciones anticuadas, como miembros más veteranos, que traen consigo experiencia y conocimiento[19]. Como premisa general tiene sentido, pero es necesario entender cómo se aplica a distintas áreas de actividad creativa. De hecho, averiguarlo es más que un desafío científico: es un imperativo sociodemográfico. A la vista del envejecimiento de las sociedades desarrolladas, estas no pueden permitirse no aprovechar el potencial creativo de los «no tan jóvenes».

Luego está la cuestión del género y la brecha de género. El predominio de hombres en las ciencias y las artes es cada vez más débil, y no cabe duda de que la tendencia a la igualdad de géneros no se frenará. ¿Existen diferencias sistemáticas en las aportaciones de miembros de los dos sexos a un equipo creativo? y, en caso afirmativo, ¿cuáles son y cuál es la mejor manera de combinarlas en sinergias productivas? Esta línea de indagación puede tener hoy un deje de incorrección política, pero solo porque vivimos inmersos en una cultura dominada por la desigualdad de género. Una vez firmemente establecidas la paridad y la igualdad de género, se podrán abordar las preguntas sobre las complementariedades de las contribuciones de cada género a los

proyectos creativos (o de cualquier tipo) de una forma constructiva y racional, sin histeria ni a la defensiva, sin los efectos corrosivos de la «corrección política». En las entrevistas a 91 «personas excepcionales» que Mihaly Csikszentmihalyi realizó entre 1990 y 1995, no logró alcanzar su meta de una división al cincuenta por ciento entre sexos porque las mujeres estaban subrepresentadas en ciertos ámbitos de creación. Hubo de conformarse con setenta a treinta a favor de los hombres. Cabe esperar que en la actualidad ese cociente se acerque mucho más a la paridad[20].

Espíritus creativos en la isla de los dioses y otros lugares

La innovación tecnológica y científica puntera ya no es monopolio casi exclusivo de Europa y América del Norte. En la neurociencia y la neuropsicología, el incremento de las publicaciones de primer nivel de China, Japón, Singapur y otros países no occidentales durante las últimas décadas ha sido poco menos que espectacular, y debo suponer que lo mismo ha ocurrido en otros campos de la actividad creativa. Sin embargo, aunque la ciencia y la tecnología están cada vez más internacionalizados y homogeneizados, siguen existiendo diferencias culturales. Es precisamente la globalización de los proyectos creativos relevantes y la aparición de equipos internacionales lo que hace imperativo que entendamos mejor la influencia del contexto cultural sobre la innovación y el proceso creativo. La neurociencia transcultural es una disciplina relativamente joven que se ocupa de la interacción entre la cultura y la cognición individual e incluso entre la cultura y el cerebro, y su extensión natural en el futuro se encuentra en la neurociencia transcultural de la innovación[21].

Es cierto que la globalización de las industrias del conocimiento y la creciente participación de las sociedades no occidentales, una tendencia que caracterizó el período final del siglo XX, fue en cierto modo un camino de un solo sentido: el resto del mundo iba adoptando los modos occidentales y, en su mayor parte, beneficiándose de ellos. A medida que las sociedades de Asia, que históricamente fueron avanzadas, luego

retrocedieron y de nuevo volvieron a avanzar, recuperen su lugar al frente del escenario mundial y renuncien a la postura de sumisión cultural que han adoptado durante los últimos siglos, sus antiguas tradiciones y rasgos culturales se irán reafirmando. Y a medida que las sociedades de África se unan a la escena global de innovación, también ellas traerán consigo su propio bagaje de rasgos y tradiciones. Sí, el mundo tal vez se esté tornando cada vez más «plano», por tomar prestado el adjetivo del superventas de Thomas Friedman[*], pero la llanura resultante no será una mera extensión de la pradera norteamericana o de la estepa de la Europa oriental, sino una mezcla y amalgama de distintos rasgos culturales y tipos de personalidad, y de remanentes de tradiciones históricas tremendamente distintas.

El moderno proceso de innovación dejará de ser monopolio de Occidente, y, a medida que eso ocurra, la investigación sobre innovación y creatividad deberá asumirlo y despojarse de la suposición tácita de que todo lo que hemos aprendido en América del Norte y Europa acerca de la innovación y los rasgos de la creatividad, y sobre la cognición en general, se pueda aplicar de forma automática al resto del mundo. La ciencia transcultural de la innovación y la creatividad está madurando, o por lo menos debería estarlo. En un mundo globalizado, regiones que en un pasado no muy lejano se podían ignorar por insignificantes en términos de su producción creativa con cierta influencia, se convertirán en actores de primer orden; serán muchos los centros de innovación, y comprender sus similitudes y sus diferencias será esencial para que la interacción sea suave y productiva. La investigación transcultural sobre la creatividad y la innovación será más que un simple proyecto académico. Será una necesidad práctica en una «Tierra plana».

Culturas distintas dan pie a estilos cognitivos distintos, y esas diferencias se ponen de manifiesto tanto en la vida cotidiana como en los proyectos científicos o artísticos. Para alguien cuyos años formativos transcurrieron en Rusia y la mayor parte de su carrera profesional en Estados Unidos, como es mi caso, esta no es una proposición provocadora de cariz académico sino la experiencia de una vida dividida en dos. Un estilo cognitivo diferenciado puede ser un atributo

fundamental de una cultura, aunque a veces esquivo, y a mí me resulta mucho más interesante interactuar con culturas cognitivas diferentes que degustar la cocina étnica o viajar a lugares exóticos. Todos esos estilos cognitivos moldeados por la cultura vienen con complementariedades importantes, aunque a veces sutiles, cuya esencia ni de lejos reflejan los clichés al estilo de los análisis de «puntos fuertes y puntos débiles». Combinadas, esas complementariedades pueden producir sinergias de equipo cuyo potencial creativo colectivo supere en mucho el de los equipos culturalmente homogéneos. Creo firmemente que el flujo hacia universidades norteamericanas de jóvenes científicos chinos, indios, de países postsoviéticos de Europa y Asia y de otros lugares lejanos contribuye a la robustez de la ciencia norteamericana y a su singular potencia. Aunque reciban su educación avanzada en Estados Unidos, esos jóvenes traen consigo estilos y hábitos cognitivos moldeados por el contexto cultural de sus orígenes, y cuando se incorporan a los equipos creativos de este lado del Atlántico y el Pacífico se producen potentes efectos no lineales. La investigación sistemática sobre la naturaleza de tales diferencias y complementariedades culturalmente moldeadas es en sí mismo un reto que vale la pena abordar en la investigación sobre la creatividad, y que además tiene el potencial práctico de diseñar métodos sistemáticos de optimización de la composición de los equipos creativos en distintos campos y con distintos propósitos. Sé que, superficialmente, la idea de combinar estratégicamente personas de distinta extracción cultural en equipos creativos tiene tintes de incorrección política, pero siendo como soy alguien que siempre ha desdeñado la corrección política, incluso durante mis años en la Unión Soviética, el potencial de la idea no me parece que disminuya en lo más mínimo.

La relación entre la neurobiología y la cultura como agentes moldeadores y guías del proceso creativo ha sido uno de los hilos principales de este libro. La importancia suprema de esta relación es indiscutible, pero no cabe duda de que no llegaremos a entender de verdad la naturaleza de esa interacción entre neurobiología y cultura en los procesos creativos mientras la investigación sobre la creatividad se limite a ambientes occidentales culturalmente homogéneos. Para

comprender de verdad su naturaleza, debemos superar el provincianismo cultural (¿o se trata de soberbia cultural?) y realizar investigación comparada sobre la creatividad en contextos culturales diversos. Como todo científico sabe, es necesario manipular una variable para entender su contribución al proceso en cuestión, algo que por el momento estamos muy lejos de conseguir en nuestro esfuerzo por entender el papel que desempeña la cultura anfitriona en la creatividad individual.

En contraste con la creatividad tecnológica, la creatividad artística nunca se ha acercado a ser un monopolio de Occidente, sino que siempre ha florecido en rincones dispares del mundo. Escribo partes de este capítulo en Bali, donde he pasado mis vacaciones en un buen número de ocasiones durante los últimos treinta años. Conocida como la «isla de los dioses», este enclave hindú en medio de Indonesia, que es mayoritariamente musulmana, es bien conocido por su inagotable creatividad artística: pintura, tallado de madera, escultura, telas y metal, por no hablar de la danza y la música. La antigua ciudad real de Yogyakarta, en la cercana isla de Java, es otro centro de creatividad artística con múltiples y muy refinadas formas de expresión cultural indígena que florecen en insólita concentración.

Estos aspectos únicos de Bali y Yogyakarta no han escapado a la atención de emprendedores de todo tipo, y en la isla de Bali han aparecido numerosos talleres, clases y centros de «creatividad» comerciales que atraen a los occidentales en busca de nuevas experiencias. Sin embargo, cuando en Google y PubMed hago una búsqueda cruzada de «creatividad» con «Bali», «Yogyakarta» o «Java», no encuentro más que una sola publicación en inglés en una revista científica con revisión por pares[22]. A lo que parece, absortos en un marco mental centrado en Occidente, los investigadores de la creatividad todavía no han sabido aprovechar las oportunidades que ofrece este laboratorio natural de la creatividad. Es una lástima, porque muchos de los paradigmas que se suelen utilizar para estudiar la creatividad en Occidente también se podrían implementar en entornos culturalmente diferentes como los de Bali y Yogyakarta. Una indagación de este tipo ayudaría a dilucidar, entre otras preguntas, la naturaleza de la relación

entre neurobiología y cultura en el proceso creativo, y eso ayudaría a progresar en el ámbito más amplio de la «neurociencia cognitiva transcultural».

El advenimiento de la «neurociencia transcultural» ayudaría a esclarecer todo un abanico de preguntas relacionadas con la creatividad. Investigamos sobre la relación entre el cerebro y la mente en un contexto occidental, y luego, en un acto de fe, suponemos que nuestros hallazgos son universales. Pero ¿realmente lo son? ¿Es el control genético sobre formas concretas de creatividad artística, del tipo del que comentamos en el capítulo 10, igual o distintos en distintas poblaciones? ¿Es la edad óptima para los logros creativos igual o distinta en distintas culturas, por ejemplo en los artistas occidentales en comparación con los balineses o los javaneses? ¿Es la tasa de mielinización del cerebro, cuya relación con la creatividad discutimos en el capítulo 10, igual o distinta en distintas culturas?

En mi libro anterior, *The New Executive Brain*, discutí brevemente un enigma histórico. Si suponemos que la edad universal de mielinización completa del cerebro se produce entre muy al final de la segunda década de vida y mediados de la tercera, entonces debemos suponer también que algunos de los acontecimientos históricos más importantes fueron el producto de cerebros inmaduros, puesto que algunas de las personalidades más influyente del pasado se embarcaron en proyectos que cambiaron el mundo al final de la adolescencia y hasta los veinte y pocos años de edad. En la lista encontramos el faraón Ramsés II de Egipto, el rey David de los hebreos, Alejando Magno de Macedonia, Luis XIV de Francia y Pedro el Grande de Rusia; Isabel I de Inglaterra no era mucho mayor, pues accedió al trono e inició uno de los más largos e importantes reinados de la historia de Inglaterra a los veinticinco años de edad, mientras que Napoleón Bonaparte obtuvo su primera gran victoria militar a los veintiséis años de edad. ¿O acaso ocurre que las tasas de mielinización de las vías neurales, y quizá otras variables del desarrollo neural, se encuentran hasta cierto punto sometidas a control cultural? La «neurociencia transcultural» nos permitirá abordar estas y muchas otras interesantes preguntas

relacionadas con la creatividad y la innovación, además de muchas otras cuestiones que plantea el imperativo de entender la naturaleza de la humanidad.

Potencia cerebral distribuida

Como objeto de estudio de las ciencias sociales, de la psicología social y de la organización, hace ya algún tiempo que se investiga sobre equipos e innovación, y se han publicado varios libros excelentes que, a partir de casos, examinan de qué el proceso creativo se beneficia de estar distribuido entre individuos, tanto en las artes como en el emprendimiento en la alta tecnología o en la ciencia[23]. La neurociencia se ha quedado atrás. ¿Cómo pasamos de los estudios relativos a la composición óptima de equipos a los estudios sobre el montaje óptimo de cerebros individuales, sobre la *potencia cerebral distribuida*? La neurociencia ya ha acumulado conocimiento suficiente para abordar esta cuestión.

De hecho, la pregunta sobre la constelación óptima de caracteres cerebrales individuales no debería resultar especialmente extravagante, y hay varias razones para plantearla en términos muy amplios y fundamentales a un nivel evolutivo poblacional. En mis anteriores libros, *El cerebro ejecutivo* y *The New Executive Brain* [El nuevo cerebro ejecutivo[24]], comenté las diferencias entre sexos en la arquitectura de la conectividad cortical. En comparación con los hombres, en las mujeres hay una mayor conectividad interhemisférica, pues tienen un cuerpo calloso más grueso. En las mujeres la arquitectura de las vías neurales promueve la comunicación entre los dos hemisferios. En cambio, en comparación con las mujeres, en los hombres está más desarrollada la conectividad intrahemisférica entre las regiones anterior y posterior, pues algunos de los fascículos longitudinales son más gruesos en los hombres. Así pues, en los hombres la arquitectura de las vías neurales promueve la comunicación entre los lóbulos frontales y la corteza posterior, en particular la corteza de asociación parietotemporal.

Alcancé estas conclusiones después de combinar los resultados de varios estudios dispares de neuroimagen que examinaban la conectividad interhemisférica e intrahemisférica en muestras separadas, y tomando también en consideración los efectos de las lesiones lateralizadas en hombres y mujeres. Un estudio reciente realizado en la Universidad de Pensilvania confirma y amplía estos hallazgos sobre el énfasis diferencial en la conectividad interhemisférica en las mujeres frente a la conectividad intrahemisférica en los hombres. Este estudio es especialmente convincente porque examina una muestra grande de sujetos jóvenes (428 hombres y 521 mujeres con edades comprendidas entre ocho y veintidós años) por medio de la sofisticada tecnología de imagen por tensores de difusión[25].

¿Cuál fue la ventaja evolutiva, si es que la hubo, para que las dos mitades de la especie tuvieran una arquitectura cortical distinta y complementaria? Se puede especular, y suele hacerse, que estas dos arquitecturas distintas se ajustaban bien a los papeles complementarios que desempeñaban los machos y las hembras cromañón en sus actividades de caza y recolección, pero en último análisis no deja de ser una especulación poco rigurosa. La pregunta realmente interesante, y que puede responderse con rigor y sin demasiada especulación, es si las diferencias sexuales en la conectividad cortical son exclusivas de los humanos o si, por el contrario, se encuentran también en otros primates, o incluso en otras especies de mamíferos no primates. Averiguar en qué grado son universales estas diferencias sexuales en la conectividad cortical, y no exclusivas de los humanos, puede arrojar luz sobre el ámbito y naturaleza de su valor adaptativo. Por otro lado, si estas diferencias resultasen ser exclusivas de los humanos, se plantearía la siguiente pregunta interesante: ¿son las diferencias sexuales en los circuitos neurales del cerebro universales y homogéneas entre culturas, o presentan diferencias culturales? Una vez más, «neurociencia transcultural». En último término, sin embargo, tal como defiendo en *The New Executive Brain*, probablemente sea necesario recurrir a modelos computacionales y simulaciones numéricas para averiguar si la mezcla en la población de distintas arquitecturas de conectividad en

determinadas proporciones confiere alguna ventaja funcional al grupo en su conjunto, y para caracterizar esa ventaja.

La zurdera podría ser otro ejemplo pertinente. Si finalmente se demuestra que el estilo cognitivo de los zurdos es distinto del de los diestros, ¿qué ventaja evolutiva supone para la especie disponer de este estilo cognitivo minoritario que pone el énfasis en la búsqueda de la novedad y que representa aproximadamente el 10 % de la población (aunque se ha observado una notable variación entre culturas)? Esta y otras preguntas parecidas se vienen debatiendo desde hace algún tiempo[26].

La respuesta, o al menos una respuesta parcial, podría hallarse en las peculiaridades del cerebro zurdo. En este, la conectividad es notable por la presencia de un cuerpo calloso mayor que en el cerebro diestro, así como una menor difusión de las vías callosas, y podría haber otras peculiaridades que un estudio ambicioso, al estilo del realizado por el equipo de la Universidad de Pensilvania, podrían revelar[27]. ¿Qué ventajas cognitivas tiene para la población, si es que las tiene, dotar aproximadamente al 10 % de los cerebros individuales de estas características arquitecturales?

Luego están las diferencias hemisféricas. Como ya hemos argumentado, las propiedades de mundo pequeño se expresan más en el hemisferio derecho que en el izquierdo. La investigación de neuroimagen morfométrica también ha demostrado que la asignación de espacio cortical es distinta en los dos hemisferios: los territorios de la corteza prefrontal lateral y la corteza de asociación heteromodal inferoparietal son mayores en el hemisferio derecho que en el izquierdo, mientras que los territorios de algunas de las cortezas de asociación unimodales son mayores en el hemisferio izquierdo que en el derecho[28]. ¿Cuáles son las ventajas cognitivas relativas de estas dos asignaciones de espacio cortical? ¿Existen diferencias individuales en el grado en que se manifiestan estas diferencias hemisféricas (casi con seguridad sí las hay), y cuáles son sus consecuencias funcionales? ¿Están relacionadas estas diferencias en la organización hemisférica cortical con las diferencias cognitivas entre zurdos y diestros, y de ser así, de qué modo? ¿Cuáles

son las implicaciones, si las hay, de estas diferencias de cara a la composición óptima de equipos?

El modo en que hemos formulado estas preguntas en lo que atañe tanto a las diferencias entre sexos como a las diferencias en la dominancia manual entraña un enfoque que no es habitual en la neurociencia, pues implica que la cognición se concibe como un fenómeno de grupo distribuido entre un conjunto de cerebros individuales que interactúan (inevitablemente nos viene a la mente la analogía con una colonia de insectos, pero la discusión de sus múltiples limitaciones, así como el posible valor heurístico de la analogía, queda fuera del alcance de este libro). En lugar de indagar en las consecuencias funcionales de ciertas características de los cerebros individuales, o además de ello, es hora de comenzar a indagar en las propiedades funcionales emergentes que surgen en un grupo a consecuencia de la combinación de cerebros individuales con propiedades diferentes en distintos sentidos.

La idea de una neurociencia de «grupo» o de «población» puede sonar extravagante a los oídos de un neurocientífico actual, mientras que lo más probable es que provoque bostezos en un sociólogo, politólogo, historiador o psicólogo organizacional porque así es como siempre han desarrollado sus teorías y realizado sus investigaciones. Y aunque habrá que desarrollar una metodología experimental para la «neurociencia cognitiva de grupo», la neurociencia computacional podría estar ya relativamente preparada para comenzar esa andadura, pues la metodología de redes neuronales como herramienta para entender los cerebros individuales se podría remodelar para examinar interacciones de grupo entre varios cerebros. La investigación sobre el comportamiento de unidades computacionales interactivas que desempeñan conjuntamente una tarea distribuida entre ellas lleva décadas en marcha, y los llamados sistemas multiagente se han utilizado ya en un amplio abanico de aplicaciones de inteligencia artificial[29]. De hecho, mi propio y humilde proyecto independiente de investigación en la Universidad de Moscú, a la tierna edad de diecinueve años, pretendía examinar cómo un conjunto de dispositivos simples individualmente muy mediocres,

«autómatas de von Neumann de baja fiabilidad», podía ponerse a la altura de un trabajo decente cuando se hacía trabajar juntos a varios de ellos, todo ello realizado estrictamente con lápiz y papel hace más de cincuenta años, en una época anterior (al menos en la Unión Soviética) a las computadoras.

He defendido en este libro que el proceso creativo que produce innovación de alguna importancia requiere de la interacción entre estados hiperfrontales e hipofrontales. ¿Qué ocurriría si en un equipo algunos de los cerebros individuales presentasen hiperfrontalidad o hipofrontalidad en distintos grados y en diferentes proporciones? ¿O si el énfasis en la conectividad interhemisférica frente a la intrahemisférica estuviese representado en distintas proporciones? ¿O si las propiedades de mundo pequeño de los circuitos neuronales y las asignaciones de espacio cortical estuviesen representadas por distintas proporciones? ¿Cómo afectarían estas y otras diferencias en la composición de un grupo a su capacidad para resolver colectivamente una tarea cognitiva distribuida?

Supongamos que identificamos unos equipos creativos reales y realizamos estudios cognitivos y de neuroimagen sobre cada uno de sus miembros. ¿Qué nos diría eso sobre el grado óptimo de complementariedad entre varios cerebros individuales, con un total mayor que la suma de sus partes? Supongamos además que registramos en tiempo real la actividad cerebral de distintos miembros de los equipos durante una sesión de lluvia de ideas, algo que ya es posible mediante dispositivos portátiles de electrofisiología (EEG), espectroscopia funcional del infrarrojo cercano (fNIRS, por sus siglas en inglés), y quizá otras herramientas, sin contar con que sin lugar a dudas en el futuro se desarrollarán otras tecnologías de este tipo. ¿Qué ideas útiles sobre la naturaleza de los procesos creativos de grupo podríamos concebir a partir de este tipo de estudios?

¿Cómo se relacionan las capacidades para la resolución de problemas de los miembros individuales con la producción creativa del equipo? ¿No sería posible que con ciertas composiciones de equipo se pudieran obtener productos excepcionalmente innovadores aunque los miembros

del equipo, aunque brillantes y competentes, no sean de ningún modo excepcionales, en un proceso parecido al de la agregación de los autómatas de von Neumann en el proyecto de mi juventud? De estudios de este tipo podrían surgir algunas interesantes propiedades no lineales, al estilo de «el todo es mayor que la suma de las partes», guiadas por el concepto de la cognición de grupo distribuida entre varios cerebros individuales. Las ramificaciones sociales de tales descubrimientos pueden ser extraordinarias, puesto que una sociedad ya no dependería de la Madre Naturaleza para que la ayudase dando a luz genios (todavía no sabemos cómo producirlos o educarlos a voluntad, y probablemente no lo sepamos nunca). En su lugar, se conformarán «equipos geniales» a partir de personas relativamente corrientes, de las que siempre habrá en la sociedad. ¿Cómo se aplican estas consideraciones sobre la potencia cerebral distribuida a distintos tipos de innovación y a diferentes contextos culturales?

Estas y muchísimas otras preguntas esperan a ser abordadas con toda la fuerza de la neurociencia de última hornada. Para seguir siendo relevante ante las cambiantes realidades de los procesos de innovación en la sociedad, la «neurociencia de la creatividad» habrá de ir más allá de los estudios sobre individuos para adentrarse en el nuevo territorio de la creatividad de grupo y la cognición distribuida. Para afrontar este reto, lejos de ser un obstáculo infranqueable, el proceso de forjar paradigmas y metodologías innovadores, tanto experimentales como computacionales, estará preñado de emocionantes oportunidades para la nueva generación de neurocientíficos cognitivos, un ejercicio sin precedentes en la creatividad científica, y sin duda de gran audacia.

El cerebro digital

Si la inteligencia artificial (IA) es posible, ¿por qué no la creatividad artificial? La idea de que las máquinas puedan ser creativas se contempla desde hace tiempo, en buena parte gracias a las investigaciones de Allen Newell y Herbert Simon[30]. Por ofensiva que pueda resultar la proposición para un defensor de la exclusividad humana, hay que ser

coherente. Si el criterio para calificar un producto de creativo es una conjunción de dos atributos, (1) novedad sustancial, y (2) utilidad significativa, entonces los orígenes del producto no deberían importar. Ya se han obtenido productos generados por ordenador que expertos humanos han calificado de «creativos» en la música, las artes visuales y otros campos de creación tradicionalmente humanos. Uno de los argumentos que aducen, para rechazarlos, quienes dudan de la inteligencia artificial es que los dispositivos de IA no pueden ir más allá de los límites que definen sus diseñadores humanos. Por consiguiente, prosigue la argumentación, sus productos son, por definición, derivados y no pueden ser calificados de creativos. Pero se trata de un argumento engañoso, porque podría aplicarse de igual modo a la creatividad humana. Dado que hasta el más heterodoxo de los individuos creativos es un producto de su tiempo y beneficiario de conocimiento, ideas y tradiciones previamente acumulados, todo producto creativo generado por ese individuo, por brillante que sea, es también, en un sentido amplio, un producto derivado. Aunque la mayor parte de lo que es derivado no se considera creativo, todo lo que es creativo es derivado, y eso desinfla el razonamiento.

Derivado o no, lo cierto es que los dispositivos de IA pueden generar productos que los humanos juzgan diferentes y valiosos. Harold Cohen, un artista, ingeniero y pionero del arte generado por ordenador, solía referirse a AARON, el programa de pintura que diseñó, como su «compañero». Según el hijo del artista, Paul, Cohen veía en AARON un colaborador. A veces, durante las décadas que duró su relación, AARON era bastante autónomo, responsable de la composición, el colorido y otros aspectos de la obra[31]. De modo parecido, EMI (acrónimo inglés de Experimentos de Música Artificial) y Emily Howell, programas de generación de música diseñados por el profesor de la Universidad de California en Santa Cruz David Cope, compusieron piezas en los estilos de Beethoven, Vivaldi y Bach, además de otras composiciones que los humanos que las escucharon calificaron de bellas. Yo mismo, mientras escribo este capítulo, disfruto de una colección de Emily Howell titulada *From Darkness Light*[32]. En tiempos más recientes destacan varios

proyectos musicales de IA con títulos evocadores como Jukedeck o Flow Machines.

¿Podrá el futuro diseño de sistemas creativos de IA aprovecharse de la investigación neurocientífica sobre la creatividad humana? ¿Hemos alcanzado ya el punto de inflexión en el que la promesa de esa interacción interdisciplinaria pueda resultar prometedora? La respuesta es «quizá», lo que significa que por lo menos merece la pena estimular esa interacción.

No es que la interacción entre la IA y la neurociencia no haya existido nunca, sino que ha crecido y decrecido a lo largo de las últimas décadas. Desde un principio, empezando por los trabajos clásicos de Warren McCulloch y Walter Pitts[33], la sola idea de la IA recibió su inspiración de las analogías con el cerebro humano. Esta analogía se encuentra en el centro de las redes neuronales formales, que son agregaciones, al estilo de las que se encuentran en el cerebro, de nodos básicos («neuronas») interconectados de múltiples y complejas maneras. Como en el cerebro biológico, en una red neuronal pueden *emerger* propiedades funcionales complejas gracias a un aprendizaje y sin que se hayan incorporado de manera explícita en su diseño. Pero en una fase posterior, las redes neuronales formales se dejaron a un lado como herramienta de la IA a favor de unidades «simbólicas» de nivel superior que pretenden representar constructos cognitivos más complejos, en lugar de examinar las propiedades emergentes de agregaciones muy grandes de unidades pequeñas («neuronas») interconectadas de forma masiva[34]. Un resurgimiento más reciente de las redes neuronales como herramienta de modelado del cerebro a menudo busca capturar las interacciones entre unidades grandes, cada una de las cuales podemos comparar mejor con una estructura neuronal más que con una neurona individual. Algunos de estos modelos están inspirados por la neuroanatomía funcional e intentan reflejar la relación real entre estructuras neuronales específicas[35]. Otro enfoque busca un híbrido cognitivo-neural, a menudo conocido bajo la denominación de «red neuronal semántica»[36]. En este caso, los nodos representan conceptos, no neuronas. Las redes neuronales de varias capas, en particular, que son

capaces de «aprendizaje profundo», han experimentado un vigoroso renacimiento.

En principio, las redes neuronales pueden construirse con nodos de distinta modalidad, desde simples «neuronas» a «conceptos», «ideas» o «acciones» complejos. En estos últimos casos, un nodo es en sí mismo la abreviación de una red formada por nodos de menor modalidad, dando lugar de este modo a jerarquías recurrentes de redes. Esto es afín a lo que Joaquín Fuster propone en su libro *Cerebro y libertad*, en el que se refiere a estas representaciones de orden superior como «cognitos»[37]. A consecuencia del paso de la neurona al cognito como unidad básica del modelo, las arquitecturas más recientes de IA se han inspirado más en la ciencia de la cognición, mientras que las aportaciones de la ciencia del cerebro han sido más bien escasas. Sin embargo, buena parte de las investigaciones fundacionales de la IA se desarrollaron antes de que se llevasen a cabo los estudios neuroquímicos y de neuroimagen del cerebro creativo, o por lo menos cabe pensar que buena parte de los diseños de IA no han buscado inspiración en esos estudios.

Entre tanto, es mucho lo que ha ocurrido en el campo de la investigación sobre la innovación y la creatividad a medida que abrazaba la neurociencia y empleaba las herramientas de neuroimagen estructural y funcional. Gracias a ello, la investigación sobre la creatividad se ha hecho relevante para la IA de un modo muy distinto a como lo había sido en el pasado. Prácticamente todos los hallazgos o ideas relacionados con la neurobiología de la creatividad humana que hemos revisado en este libro, además de muchas otras ideas que no han encontrado lugar aquí, pueden, en principio, traducirse en características de futuras arquitecturas de IA, al menos de las arquitecturas basadas en redes neuronales. Se incluyen aquí algunas de las ideas que hemos comentado en capítulos anteriores, entre ellas las diferencias estructurales entre los dos hemisferios, los tamaños relativos de distintas regiones de los dos hemisferios, la mayor conectividad intrahemisférica frente a la interhemisférica, o superficial frente a profunda, la hiperfrontalidad y la hipofrontalidad, la modulación de neurotransmisores, los «fantasmas frontales», los mundos pequeños, la mielinización, la interacción entre la

red ejecutiva central y la red neuronal por defecto, y tantas otras que no hemos comentado en este libro. Así pues, la neurociencia de la innovación y la creatividad está preparada para integrarse en la IA del mismo modo que desde hace décadas lo hace la ciencia de la cognición. Que eso ocurra queda en manos de la próxima generación de neurocientíficos e ingenieros de IA.

Con esta nota positiva, el libro quedaba casi terminado, y estaba a punto de hacer las maletas para irme de vacaciones a Indonesia cuando me enteré de que en la ciudad se iba a celebrar un congreso, la Conferencia Internacional Anual sobre Arquitecturas Cognitivas Inspiradas en la Biología de 2016, o BICA 2016. Esa era precisamente la clase de convergencia entre la neurociencia cognitiva y la IA sobre la que acababa de escribir, ¡y todavía me quedaban unos pocos días antes de mi esperado viaje! En el último momento, me registré y asistí al congreso.

El BICA atrajo a miembros de varias tribus muy distintas de la mía: científicos computacionales, matemáticos, arquitectos de inteligencia artificial, expertos en aprendizaje automático e informática, ingenieros eléctricos, muchos de ellos de menos de cuarenta años de edad. Llegaron al congreso desde más de una docena de países de todos los continentes, y todos, en mayor o menor medida, estaban interesados en el cerebro y la cognición.

Me sentí a un tiempo encantado y animado por la convergencia entre los intereses de muchos de los participantes y los míos propios: encantado porque la convergencia resultó ser verdaderamente notable, y animado por descubrir que algunas de mis ideas más excéntricas eran compartidas, al menos en un sentido amplio, por personas que habían llegado a ellas desde una formación y unas perspectivas muy distintas de las mías. La generación de novedad y la creatividad artificial en modelos afines a las redes neuronales ocupó un lugar central en las conferencias de Lee Scheffler y Stephen Thaler, el autor de *Creativity Machine*®[38]. La creatividad artística artificial estuvo bien representada por dos artículos sobre robots bailarines de un equipo de científicos italianos[39]. Y, empujando los límites de la realidad virtual, Eugene Borovikov y colaboradores compartieron su visión de una interacción bidireccional

entre realidades físicas y virtuales, anunciando una fusión de ambas sin precedentes. Borovikov y su equipo están desarrollando personajes virtuales que pueden cruzar la frontera de su mundo virtual para entrar en el físico e interactuar con humanos reales, de carne y hueso. Dotados de sensores visuales, estos personajes virtuales reconocen a los humanos y se comunican con ellos, «lo que les permite aprender de seres inteligentes y tal vez razonar como ellos»[40]. Incluso, para mi sorpresa y satisfacción, estuvo representada en el congreso mi teoría de la novedad-rutinización de la especialización hemisférica (que describo en este mismo libro), de la mano de modelos presentados por Olga Chernavskaya y colaboradores[41]. Si se me permite citar la frase memorable de Ray Kurzweil, «la singularidad está cerca», y el camino que lleva hasta ella estará preñado de ideas creativas y rompedoras.

¿Qué multitud de formas y direcciones tomará la creatividad en el futuro? ¿Qué extraordinarios prodigios de creatividad e innovación asombrarán a las generaciones por venir? En este último capítulo he intentado vislumbrar algo en la bola de cristal, pero la he encontrado brumosa. En último término, las respuestas a estas preguntas nos son desconocidas y, en buena medida, imposibles de conocer, pues la creatividad es, por su propia naturaleza, el juego de lo inesperado. Pero esperar lo inesperado, la bruma misma de la bola de cristal, es uno de los gozos de la vida. Es lo que la hace emocionante.

ELKHONON GOLDBERG, Nació en Riga, Letonia en 1946. PhD, es un neurocientífico y doctor reconocido internacionalmente por su trabajo clínico y de investigación y divulgación sobre neurociencia cognitiva y neuropsicología. Profesor Clínico del Departamento de Neurología en la Escuela de Medicina de la Universidad de Nueva York, el Dr. Goldberg ha escrito libros reconocidos a nivel mundial como «El cerebro ejecutivo: Lóbulos frontales y mente civilizada» y «La paradoja de la sabiduría: Cómo la mente puede mejorar con la edad».

Notas

[1] Kurzweil, R., *The Singularity Is Near: When Humans Transcend Biology*, Penguin Books, Nueva York, 2006 (hay trad. cast.: *La singularidad está cerca. Cuando los humanos transcendamos la biología*, Lola Books, Berlín, 2012). <<

[2] Moore, G. E., «Cramming More Components onto Integrated Circuits», *Proceedings of the IEEE*, 86 (1998), págs. 82-84. **<<**

[3] Gould, S. J. y N. Eldredge, «Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered», *Paleobiology*, 3 (1977), págs. 115-151. <<

[4] Jenkins, P., *The Great and Holy War: How World War I Became a Religious Crusade*, reimpresión, Harper One, San Francisco, CA, 2015. <<

[5] Harari, Y. N., *Sapiens: A Brief History of Humankind*, Harper Collins, Nueva York, 2015 (hay trad. cast.: *Sapiens: de animales a dioses: una breve historia de la humanidad*, Debate, Barcelona, 2015). <<

[6] Cole, M., K. Levitin y A. R. Luria, *Autobiography of Alexander Luria: A Dialogue with the Making of Mind*, Psychology Press, Mahwah, NJ, 2005; Yanitsky, A., R. Van Der Veer y M. Ferrari, *The Cambridge Handbook of Cultural-Historical Psychology*, Cambridge University Press, Cambridge, 2014. <<

[7] Spencer, J., «A Band of Tweeters», *New York Times* (6 de noviembre de 2015), pág. A27. <<

[8] Shane, S., «Online Embrace from ISIS, a Few Clicks Away», *New York Times* (9 de diciembre de 2015), págs. A1 y A16. <<

[9] Kant, I., *Critique of Pure Reason*, ed. revisada, Penguin Classics, Nueva York, 2008 (hay trad. cast.: *Crítica de la razón pura*, Alfaguara, Barcelona, 2003). <<

[10] Greenfield, S., 2121, *Head of Zeus*, Londres, 2013. <<

[11] Devinsky, J. y S. Schachter, «Norman Geschwind's Contribution to the Understanding of Behavioral Changes in Temporal Lobe Epilepsy: The February 1974 Lecture», *Epilepsy and Behavior*, 15 (2009), págs. 417-424; Sirven, J. I., J. F. Drazkowski y K. H. Noe, «Seizures Among Public Figures: Lessons Learned From the Epilepsy of Pope Pius IX», *Mayo Clinic Proceedings*, 82 (2007), págs. 1535-1540. <<

[1] A. Dietrich y R. Kanso, «A Review of EEG, ERP, and Neuroimaging Studies of Creativity and Insight», *Psychological Bulletin*, 136 (2010), págs. 822-848. <<

[2] Valenstein, E. S., *Great and Desperate Cures: The Rise and Decline of Psychosurgery and Other Radical Treatments for Mental Illness*, Basic Books, Nueva York, 1986. <<

[3] E. Goldberg y L. Costa, «Hemisphere Differences in the Acquisition and Use of Descriptive Systems», *Brain and Language*, 14 (1981), págs. 144-173. <<

[4] Goldberg, E., *The New Executive Brain*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[5] Rigatelli, L. T., *Evariste Galois 1811-1832 Vita Mathematica*, Birkhäuser, Basel, Suiza, 1996. <<

[6] Hall, T., *Carl Friedrich Gauss*, The MIT Press, Cambridge, MA, 1970.
<<

[7] Melogran, P., *Wolfgang Amadeus Mozart: A Biography*, University of Chicago Press, Chicago, 2008. <<

[8] Swafford, J., *Beethoven: Anguish and Triumph*, Houghton Mifflin Harcourt, Nueva York, 2014. <<

[9] Torrance, E. P., «Growing Up Creatively Gifted: The 22-Year Longitudinal Study», *The Creative Child and Adult Quarterly*, 3 (1980), págs. 148-158; Kaufman, J. C. y R. J. Sternberg, *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge University Press, Cambridge, 2010. <<

[1] Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006); Goldberg, E., *The New Executive Brain*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[2] Goldberg, E., «The Gradiental Approach to Neocortical Functional Organization», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11 (1989), págs. 489-517; Goldberg, E., «Associative Agnosias and the Functions of the Left Hemisphere», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12 (1990), págs. 467-484; Goldberg, E. y W. Barr, «Three Possible Mechanisms of Unawareness of Deficit», en *Awareness of Deficit: Theoretical and Clinical Issues*, G. Prigatano y D. Schacter, eds., Oxford University Press, Nueva York, 1991, págs. 152-175. <<

[3] Hecaen H. y M. L. Albert, *Human Neuropsychology*, John Wiley & Sons Inc., Nueva York, 1978; Luria, A., *Higher Cortical Functions in Man*, Basic Books, Nueva York, 1980; Goldberg, E. «Associative Agnosias and the Functions of the Left Hemisphere», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12 (1990), págs. 467-484. <<

[4] Luria, A., *Higher Cortical Functions in Man*, Basic Books, Nueva York, 1980; Goldberg E. y W. Barr, «Three Possible Mechanisms of Unawareness of Deficit», en *Awareness of Deficit: Theoretical and Clinical Issues*, G. Prigatano y D. Schacter, eds., Oxford University Press, Nueva York, 1991, págs. 152-175; Leiguarda, R. C. y C. D. Marsden, «Limb Apraxias: Higher-Order Disorders of Sensorimotor Integration», *Brain*, 123 (2000), págs. 860-879. <<

[5] Sacks, O., *The Man Who Mistook His Wife for a Hat: And Other Clinical Tales*, Touchstone, Nueva York, 1998 (hay trad. cast.: *El hombre que confundió a su mujer con un sombrero*, El Aleph, Barcelona, 2000). <<

[6] Capgras, J. y J. Reboul-Lachaux, «Illusion des “sosies” dans un délire systématisé chronique», *Bulletin de la Société Clinique de Médicine Mentale*, 2 (1923), págs. 6-16. **<<**

[7] Chomsky, N., *Language and Mind*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006[3]); Chomsky, N., *Syntactic Structures*, Martino Fine Books, Eastford, NJ, 2015. <<

[8] Byrne, R. W., «Human Cognitive Evolution», en *The Descent of Man: Psychological Perspectives of Hominid Evolution*, Corbalis, M. C. y S. E. G. Lea, eds., Oxford University Press, Nueva York, 1999, págs. 71-87. <<

[9] Geschwind N. y W. Levitsky, «Human Brain: Left-Right Asymmetries in Temporal Speech Region», *Science*, 161 (1968), págs. 186-187; Foundas, A. L., A. Weisberg, C. A. Browning y D. R. Weinberger, «Morphology of the Frontal Operculum: A Volumetric Magnetic Resonance Imaging Study of the Pars Triangularis», *Journal of Neuroimaging*, 2001, págs. 153-159. <<

[10] Luria, A., *Higher Cortical Functions in Man*, Basic Books, Nueva York, 1980[2]; Goldberg, E., «The Gradiental Approach to Neocortical Functional Organization», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11 (1989), págs. 489-517. <<

[11] Martin, A., C. L. Wiggs, L. G. Ungerleider y J. V. Haxby, «Neural Correlates of Category-Specific Knowledge», *Nature*, 379 (1996), págs. 649-652; Martin, A., J. V. Haxby, F. M. Lalonde, C. L. Wiggs y L. G. Ungerleider, «Discrete Cortical Regions Associated with Knowledge of Color and Knowledge of Action», *Science*, 270 (1995), págs. 102-105. <<

[12] Cappelletti, M., F. Fregni, K. Shapiro, A. Pascual-Leone y A. Caramazza, «Processing Nouns and Verbs in the Left Frontal Cortex: A Transcranial Magnetic Stimulation Study», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20 (2008), págs. 707-720. <<

[13] Kosslyn, S. M., «Seeing and Imagining in the Cerebral Hemispheres: A Computational Approach», *Psychological Review*, 94 (1987), págs. 148-175. <<

[14] Para una revisión a fondo del tema, véase: L. S. Rogers, G. Vallortigara y R. J. Andrew, *Divided Brains: The Biology and Behaviour of Brain Asymmetries*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013. <<

[15] Yamazakia, Y., U. Austb, L. Huberb, M. Hausmanna y O. Güntürkün, «Lateralized Cognition: Asymmetrical and Complementary Strategies of Pigeons During Discrimination of the Human Concept», *Cognition*, 104 (2007), págs. 315-344. <<

[16] Folta, K., B. Diekamp y O. Güntürkün, «Asymmetrical Modes of Visual Bottom-Up and Top-Down Integration in the Thalamic Nucleus Rotundus of Pigeons», *Journal of Neuroscience*, 27 (2004), págs. 9475-9485. <<

[17] Peirce, J. W., y K. M. Kendrick, «Functional Asymmetry in Sheep Temporal Cortex», *Neuroreport*, 13 (2002), págs. 2395-2399; Peirce J. W., A. E. Leigh, A. P. DaCosta y K. M. Kendrick, «Human Face Recognition in Sheep: Lack of Configurational Coding and Right Hemisphere Advantage», *Behavioural Processes*, 55 (2001), págs. 13-26; Peirce, J. W., A. E. Leigh y K. M. Kendrick, «Configurational Coding, Familiarity and the Right Hemisphere Advantage for Face Recognition in Sheep», *Neuropsychologia*, 38 (2000), págs. 475-483. <<

[18] Guo, K., K. Meints, C. Hall, S. Hall y D. Mills, «Left Gaze Bias in Humans, Rhesus Monkeys and Domestic Dogs», *Animal Cognition*, 12 (2009), págs. 409-418. <<

[19] Ghazanfar, A., D. Smith-Rhorberg y M. D. Hauser, «Role of Temporal Cues in Rhesus Monkey Vocal Recognition: Orienting Asymmetries to Reversed Calls», *Brain Behavior and Evolution*, 58 (2001), págs. 163-172; Beecher, M. D., M. R. Petersen, S. R. Zoloth, D. B. Moody y W. C. Stebbins, «Perception of Conspecific Vocalizations by Japanese Macaques. Evidence for Selective Attention and Neural Lateralization», *Brain Behavior and Evolution*, 16 (1979), págs. 443-460; Heffner, H. E. y R. S. Heffner, «Temporal Lobe Lesions and Perception of Species Specific Vocalizations by Macaques», *Science*, 226 (1984), págs. 75-76. <<

[20] Hamilton, R., y B. A. Vermeire, «Complementary Hemispheric Specialization in Monkeys», *Science*, 242 (1988), págs. 1691-1694. <<

[21] Kriegeskorte, N., M. Mur, D. A. Ruff, R. Kiani, J. Bodurka, H. Esteky, K. Tanaka y P. A. Bandettini, «Matching Categorical Object Representations in Inferior Temporal Cortex of Man and Monkey», *Neuron*, 60 (2008), págs. 1126-1141. <<

[22] Goldberg, E., «The Gradiental Approach to Neocortical Functional Organization», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11 (1989), págs. 489-517; Goldberg, E., «Higher Cortical Functions in Humans: The Gradiental Approach», en *Contemporary Neuropsychology and the Legacy of Luria*, E. Goldberg, ed., Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ, 1990, págs. 229-276. <<

[23] Huth, G., S. Nishimoto, A. T. Vu y J. L. Gallant, «A Continuous Semantic Space Describes the Representation of Thousands of Object and Action Categories Across the Human Brain», *Neuron*, 76 (2012), págs. 1210-1224. <<

[24] Miller, G. A., «WordNet: A Lexical Database for English», *Communications of the ACM*, 38 (1995), págs. 39-41. Tengo una deuda de gratitud personal hacia el malogrado Dr. Miller, quien me brindó su amistad a mediados de la década de 1970, cuando yo era científico invitado en la Universidad de Rockefeller, en Nueva York, donde Miller tenía entonces su laboratorio. <<

[25] Huth, G., W. A. De Heer, T. L. Griffiths, F. E. Theunissen y J. L. Gallant, «Natural Speech Reveals the Semantic Maps That Tile Human Cerebral Cortex», *Nature*, 532 (2016), págs. 453-458. <<

[26] Miller, L., J. Cummings, F. Mishkin, K. Boone, F. Prince, M. Ponton y C. Cotman, «Emergence of Artistic Talent in Frontotemporal Dementia», *Neurology*, 51 (1998), págs. 978-982. <<

[27] Snyder, W., E. Mulcahy, J. L. Taylor, D. J. Mitchell, P. Sachdev y S. C. Gandevia, «Savant-like Skills Exposed in Normal People by Suppressing the Left Fronto-temporal Lobe», *Journal of Integrative Neuroscience*, 2 (2003), págs. 149-158; Snyder, A., «Explaining and Inducing Savant Skills: Privileged Access to Lower Level, Less-processed Information», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 364 (2009), págs. 1399-1405. <<

[28] Goldberg, E., D. Roediger, N. E. Kucukboyaci, C. Carlson, O. Devinsky, R. Kuzniecky, E. Halgren y T. Thesen, «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210; Harciarek, M., D. Malaspina, T. Sun y E. Goldberg, «Schizophrenia and Frontotemporal Dementia: Shared Causation?». *International Review of Psychiatry*, 25 (2013), págs. 168-177. <<

[29] Wu, T. Q., Z. A. Miller, B. Adhimoolam, D. D. Zackey, B. K. Khan, R. Ketelle, K. P. Ranki y B. L. Miller, «Verbal Creativity in Semantic Variant Primary Progressive Aphasia», *Neurocase*, 21 (2015), págs. 73-78. <<

[1] Hayes, J. R., «Cognitive Processes in Creativity», en *Handbook of Creativity*, J. A. Glover, R. R. Ronning y C. R. Reynolds, eds., Plenum Press, Nueva York, 1989, págs. 135-145; Simonton, D. K., «Creative Development as Acquired Expertise: Theoretical Issues and Empirical Tests», *Developmental Review*, 20 (2000), págs. 283-318. <<

[2] Csikszentmihalyi, M., *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*, Harper Collins, Nueva York, 1996. <<

[3] Para una revisión más a fondo, véase: Goldberg, E., *The Executive Brain: Frontal Lobes and the Civilized Mind*, Oxford University Press, Nueva York, 2009 (hay trad. cast.: *El cerebro ejecutivo: lóbulos frontales y mente civilizada*, Crítica, Barcelona, 2004), y Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[4] Fuster, J. M., *The Neuroscience of Freedom and Creativity: Our Predictive Brain*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013. <<

[5] Ingvar, D. H., «Memory of the Future: An Essay on the Temporal Organization of Conscious Awareness», *Human Neurobiology*, 4 (1985), págs. 127-136. <<

[6] Chomsky, N., *Language and Mind*, Cambridge University Press, Cambridge, 2006[3]); Chomsky, N., *Syntactic Structures*, De Gruyter Mouton, Berlín, 1957; Chomsky, N., *Aspects of the Theory of Syntax*, MIT Press, Cambridge, MA, 1965 (hay trad. cast.: *Aspectos de la teoría de la sintaxis*, Gedisa, Barcelona, 1999). <<

[7] Goldberg, E. y R. Bilder, «Frontal Lobes and Hierarchic Organization of Neurocognitive Control», en *Frontal Lobes Revisited*, E. Perecman, ed., IRBN, Nueva York, 1987, págs. 159-187. <<

[8] Everett, D., «Cultural Constraints on Grammar and Cognition in Pirahã», *Current Anthropology*, 46 (2005), págs. 621-646; Nevins, A., D. Pesetsky y C. Rodrigues, «Evidence and Argumentation: A Reply to Everett», *Language*, 85 (2009), págs. 671-681. <<

[9] Harari, Y. N., *Sapiens: A Brief History of Humankind*, Harper Collins, Nueva York, 2015 (hay trad. cast.: *Sapiens: de animales a dioses: una breve historia de la humanidad*, Debate, Barcelona, 2015). <<

[10] Shipman, P., *The Invaders: How Humans and Their Dogs Drove Neanderthals to Extinction*, Belknap Press, Cambridge, MA, 2015[3]. <<

[11] Bressler, S. L. y V. Menon, «Large-Scale Brain Networks in Cognition: Emerging Methods and Principles», *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (2010), págs. 277-290; Fox, M. D., A. Z. Snyder, J. L. Vincent, M. Corbetta, D. C. Van Essen y M. E. Raichle, «The Human Brain Is Intrinsically Organized Into Dynamic, Anticorrelated Functional Networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (2005), págs. 9673-9678. <<

[12] Mantini, D., M. Corbetta, G. L. Romani, G. A. Orban y W. Vanduffel, «Evolutionarily Novel Functional Networks in the Human Brain?», *The Journal of Neuroscience*, 33 (2013), págs. 3259-3275; Spreng, R. N., W. D. Stevens, J. P. Chamberlain, A. W. Gilmore y D. L. Schacter, «Default Network Activity, Coupled with the Frontoparietal Control Network, Supports Goal-Directed Cognition», *Neuroimage*, 53 (2010), págs. 303-317. <<

[13] Para un descripción detallada del concepto de «sistema funcional», véase: A. R. Luria, *Higher Cortical Functions in Man*, Basic Books, Nueva York, 1980. <<

[14] Para una discusión a fondo de los días dorados de la «modularidad» cognitiva, véase: Goldberg, E., «The Rise and Fall of Modular Orthodoxy», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17 (1995), págs. 193-208. <<

[15] Wang, D., R. L. Buckner y X. H. Liu, «Functional Specialization in the Human Brain Estimated by Intrinsic Hemispheric Interaction», *The Journal of Neuroscience*, 34 (2014), págs. 12 341-12 352. <<

[16] Ardestani, A., W. Shen, F. Darvas, A. W. Toga y J. M. Fuster, «Modulation of Frontoparietal Neurovascular Dynamics in Working Memory», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28 (2016), págs. 379-401. <<

[17] Buckner, R. L., J. R. Andrews-Hanna y D. L. Schacter, «The Brain's Default Network Anatomy, Function, and Relevance to Disease», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124 (2008), págs. 1-38. <<

[18] Luria, A. R., *Higher Cortical Functions in Man*, Basic Books, Nueva York, 1980; Goldberg, E., «The Gradiental Approach to Neocortical Functional Organization», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 11 (1989), págs. 489-517. <<

[19] Goldberg, E., D. Roediger, N. E. Kucukboyaci, C. Carlson, O. Devinsky, R. Kuzniecky, E. Halgren y T. Thesen, «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210. <<

[20] Sridharan, D., D. J. Levitin y V. Menon, «A Critical Role for the Right Fronto-insular Cortex in Switching Between Central-Executive and Default-Mode Networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), págs. 12 569-12 574; Sridharan, D., D. J. Levitin, C. H. Chafe, J. Berger y V. Menon, «Neural Dynamics of Event Segmentation in Music: Converging Evidence for Dissociable Ventral and Dorsal Networks», *Neuron*, 55 (2007), págs. 521-532; Bressler, S. L. y V. Menon, «Large-scale Brain Networks in Cognition: Emerging Methods and Principles», *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (2010), págs. 277-290. <<

[21] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009; Koenigs, M. y J. Grafman, «The Functional Neuroanatomy of Depression: Distinct Roles for Ventromedial and Dorsolateral Prefrontal Cortex», *Behavioural Brain Research*, 201 (2009), págs. 239-243. <<

[22] Chai, X. J., S. Whitfield-Gabrieli, A. K. Shinn, J. D. E. Gabrieli, A. N. Castañón, J. M. McCarthy, B. M. Cohen y D. Öngür, «Abnormal Medial Prefrontal Cortex Resting-State Connectivity in Bipolar Disorder and Schizophrenia», *Neuropsychopharmacology*, 36 (2011), págs. 2009-2017; Hellyer, P. J., M. Shanahan, G. Scott, R. J. Wise, D. J. Sharp y R. Leech, «The Control of Global Brain Dynamics: Opposing Actions of Frontoparietal Control and Default Mode Networks on Attention», *Journal of Neuroscience*, 34 (2014), págs. 451-461. <<

[23] Jacobsen, C. F., «An Experimental Analysis of the Frontal Association Areas in Primates», *Journal of Nervous and Mental Disease*, 82 (1935), págs. 1-14; Jacobsen, C. F., «Studies of Cerebral Function in Primates. I. The Functions of the Frontal Association Areas in Monkeys», *Comparative Psychology Monographs*, 13 (1936), págs. 1-60. <<

[24] Fuster, J. M. y G. E. Alexander, «Delayed Response Deficit by Cryogenic Depression of Frontal Cortex», *Brain Research*, 20 (1970), págs. 85-90; Fuster, J. M., «Unit Activity in Prefrontal Cortex During Delayed-Response Performance: Neuronal Correlates of Transient Memory», *Journal of Neurophysiology*, 36 (1973), págs. 61-78; Fuster, J. M. y G. E. Alexander, «Neuron Activity Related to Short-term Memory», *Science*, 173 (1971), págs. 652-654. <<

[25] Baddeley, A., «Working Memory: Looking Back and Looking Forward», *Nature Reviews Neuroscience*, 4 (2003), págs. 829-839. <<

[26] Selemon, L. D. y P. S. Goldman-Rakic, «Common Cortical and Subcortical Targets of the Dorsolateral Prefrontal and Posterior Parietal Cortices in the Rhesus Monkey: Evidence for a Distributed Neural Network Subserving Spatially Guided Behavior», *Journal of Neuroscience*, 8 (1988), págs. 4049-4068; Goldman-Rakic, P. S., «Circuitry of the Primate Prefrontal Cortex and the Regulation of Behavior by Representational Memoir», en *Handbook of Physiology, The Nervous System, Higher Functions of the Brain*, F. Plum, ed., American Physiological Society, Bethesda, MD, 1987, págs. 373-417; Schwartz, M. L. y P. S. Goldman-Rakic, «Prenatal Specification of Callosal Connections in Rhesus Monkey», *Journal of Comparative Neurology*, 307 (1991), págs. 144-162. <<

[27] Fuster, J. M., *The Prefrontal Cortex*, Academic Press, Londres, 2015[5].
<<

[28] Kirchner, W. K., «Age Differences in Short-term Retention of Rapidly Changing Information», *Journal of Experimental Psychology*, 55 (1958), págs. 352-358; Jaeggi, S. M., M. Buschkuehl, W. J. Perrig y B. Meier, «The Concurrent Validity of the N-back Task as a Working Memory Measure», *Memory*, 18 (2010), págs. 394-412; Jaeggi, S. M., M. Buschkuehl, J. Jonides y W. J. Perrig, «Improving Fluid Intelligence with Training on Working Memory», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), págs. 6829-6833. <<

[29] Fuster, J. M., *The Neuroscience of Freedom and Creativity: Our Predictive Brain*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013. <<

[30] Smullyan, R., *Gödel's Incompleteness Theorems*, Oxford University Press, Oxford, 1991. <<

[31] Fuster, J. M., *The Prefrontal Cortex*, Academic Press, Londres, 2015[5].
<<

[32] Arnsten, A. F. T., C. D. Paspalas, N. J. Gamo, Y. Yang y M. Wang, «Dynamic Network Connectivity: A New Form of Neuroplasticity», *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (2010), págs. 365-375; Arnsten, A. F. T., M. J. Wang y C. D. Paspalas, «Neuromodulation of Thought: Flexibilities and Vulnerabilities in Prefrontal Cortical Network Synapses», *Neuron*, 76 (2012), págs. 223-239. <<

[33] Elston, G. N., «Cortex, Cognition and the Cell: New Insights into the Pyramidal Neuron and Prefrontal Function», *Cerebral Cortex*, 13 (2003), págs. 1124-1138. <<

[34] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[35] Churchland, P., «Self-Representation in Nervous Systems», *Science*, 296 (2002), págs. 308-310. <<

[36] Koch, C., *The Quest for Consciousness: A Neurobiological Approach*, W. H. Freeman, 2004; Fuster, J. M., *The Prefrontal Cortex*, Academic Press, Londres, 2015; Goldberg, E., *The New Executive Brain*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[37] Baars, B. J., *A Cognitive Theory of Consciousness*, Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1988; Baars, B. J., *In the Theater of Consciousness*, Oxford University Press, Nueva York, 1997; Baars, B. J., «The Conscious Access Hypothesis: Origins and Recent Evidence», *Trends in Cognitive Sciences*, 6:1 (2002), págs. 47-52. <<

[38] El lector de este capítulo más conocedor de la neurociencia puede haber notado que la relación entre la corteza de asociación parietotemporal y la corteza prefrontal que comentamos aquí se parece notablemente a la relación comúnmente aceptada entre el hipocampo y la neocorteza. La semejanza no es casual. Como ya propuse en mi anterior libro, *The New Executive Brain* (Oxford University Press, Nueva York, 2009), el papel del hipocampo como facilitador de la representacción de la información verídica, que representa una entrada desde el mundo exterior, es similar al papel de la corteza prefrontal como facilitadora de las representaciones a largo plazo de cosntructos generados internamente y centrados en agentes. <<

[1] Véanse las definicions de *salience* (relevancia) en: **http://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/salience; http://www.oxforddictionaries.com/us/definition/american_english/salient <<**

[2] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in A Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[3] Koenigs, M., L. Young, R. Adolphs, D. Tranel, F. Cushman, M. Hauser y A. Damasio, «Damage to the Prefrontal Cortex Increases Utilitarian Moral Judgements», *Nature*, 446 (2007), págs. 908-911. <<

[4] Harciarek, M., T. Sun, D. Malaspina y E. Goldberg, «Schizophrenia and Frontotemporal Dementia: Shared Causation?», *International Review of Psychiatry*, 25 (2013), págs. 168-177. <<

[5] Goldberg, E., D. Roediger, N. E. Kucukboyaci, C. Carlson, O. Devinsky, R. Kuzniecky, E. Halgren y T. Thesen, «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210. <<

[6] Fox, M. D., A. Z. Snyder, J. L. Vincent, M. Corbetta, D. C. Van Essen y E. M. Raichle, «The Human Brain Is Intrinsically Organized into Dynamic, Anticorrelated Functional Networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102 (2005), págs. 9673-9678. <<

[7] Buckner, R. L., J. R. Andrews-Hanna y D. L. Schacter, «The Brain's Default Network Anatomy, Function, and Relevance to Disease», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1124 (2008), págs. 1-38. <<

[8] Smallwood, J., E. M. Beech, J. W. Schooler y T. C. Handy, «Going AWOL in the Brain-Mind Wandering Reduces Cortical Analysis of the Task Environment», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20 (2008), págs. 458-469. <<

[9] Bressler, S. L. y V. Menon, «Large-Scale Brain Networks in Cognition: Emerging Methods and Principles», *Trends in Cognitive Sciences*, 14 (2010), págs. 277-290; Sridharan, D., D. J. Levitin, C. H. Chafe, J. Berger y V. Menon, «Neural Dynamics of Event Segmentation in Music: Converging Evidence for Dissociable Ventral and Dorsal Networks», *Neuron*, 55 (2007), págs. 521-532. <<

[10] Swanson, N., T. Eichele, G. Pearlson, K. Kiehl, Q. Yu y V. D. Calhoun, «Lateral Differences in the Default Mode Network in Healthy Controls and Schizophrenic Patients», *Human Brain Mapping*, 32 (2011), págs. 654-664; Wang, D., R. L. Buckner y X. H. Liu, «Functional Specialization in the Human Brain Estimated by Intrinsic Hemispheric Interaction», *The Journal of Neuroscience*, 34 (2014), págs. 12 341-12 352. <<

[11] Tian, L., J. Wang, C. Yan y Y. He, «Hemisphere-and Gender-related Differences in Small-World Brain Networks: A Resting-State Functional MRI Study», *NeuroImage*, 54 (2011), págs. 191-202. <<

[12] Medaglia, J. D., T. D. Satterthwaite, T. M. Moore, K. Ruparel, R. C. Gur, R. E. Gur y D. S. Bassett, «Flexible Traversal Through Diverse Brain States Underlies Executive Function in Normative Neurodevelopment», *Quantitative Biology*, 2015, págs. 1-14. <<

[13] Goldberg, E., S. P. Antin, R. M. Bilder, L. J. Gerstman, J. E. Hughes y S. Mattis, «Retrograde Amnesia: Possible Role of Mesencephalic Reticular Activation in Long-Term Memory», *Science* (1981), págs. 1392-1394; Goldberg, E., R. M. Bilder y J. E. O. Hughes, «Reticulo-frontal Disconnection Syndrome», *Cortex*, 25 (1989), págs. 687-695. <<

[14] Goldberg, E., R. Bilder, S. Mattis, S. Antin y J. Hughes, «Reticulofrontal Disconnection Syndrome», *Cortex*, 25 (1989), págs. 687-695. <<

[15] Brozoski, T., R. M. Brown, H. E. Rosvold y P. S. Goldman, «Cognitive Deficit Caused by Regional Depletion of Dopamine in Prefrontal Cortex of Rhesus Monkey», *Science*, 205 (1979), págs. 929-931. <<

[16] Cox, S. M., M. J. Frank, K. Larcher, L. K. Fellows, C. A. Clark, M. Leyton y A. Dagher, «Striatal D1 and D2 Signaling Differentially Predict Learning from Positive and Negative Outcomes», *Neuroimage*, 109 (2015), págs. 95-101. <<

[17] Zalocusky, K. A., C. Ramakrishnan, T. N. Lerner, T. J. Davidson, B. Knutson y K. Deisseroth, «Nucleus Accumbens D2R Cells Signal Prior Outcomes and Control Risky Decision-Making», *Nature*, 531 (2016), págs. 642-646. <<

[18] Robbins, T. W. y A. F. T. Arnsten, «The Neuropsychopharmacology of Fronto-Executive Function: Monoaminergic Modulation», *Annual Review of Neuroscience*, 32 (2009), págs. 267-287. <<

[19] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[20] Campbell, H. L., M. E. Tivarus, A. Hillier y D. Q. Beversdorf, «Increased Task Difficulty Results in Greater Impact of Noradrenergic Modulation of Cognitive Flexibility», *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 88 (2008), págs. 222-229; Smyth, S. F. y D. Q. Beversdorf, «Lack of Dopaminergic Modulation of Cognitive Flexibility», *Cognitive and Behavioral Neurology*, 20 (2007), págs. 225-229; Beversdorf, D. Q., J. D. Hughes, B. A. Lewis y K. M. Heilman, «Noradrenergic Modulation of Cognitive Flexibility in Problem Solving», *Neuroreport*, 10 (1999), págs. 2763-2767. <<

[21] Kischka, U., T. Kammer, S. Maier, M. Weisbrod, M. Thimm y M. Spitzer, «Dopaminergic Modulation of Semantic Network Activation», *Neuropsychologia*, 34 (1996), págs. 1107-1113; Cios, J. S., R. F. Miller, A. Hiller, M. E. Tivarus y D. Q. Beversdorf, «Lack of Noradrenergic Modulation of Indirect Semantic Priming», *Behavioral Neurology*, 21 (2009), págs. 137-143. <<

[22] Robbins, T. W., «Shifting and Stopping: Fronto-striatal Substrates, Neurochemical Modulation and Clinical Implications», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 362 (2007), págs. 917-932; Beversdorf, D. Q., «Pharmacological Effects on Creativity», en *Neuroscience of Creativity*, O. Vartanian, A. S. Bristol y J. C. Kaufman, eds., MIT Press, Cambridge, MA, 2013, págs. 151-173. <<

[23] Takeuchi, H., Y. Taki, Y. Sassa, H. Hashizume, A. Sekiguchi, A. Fukushima y R. Kawashima, «Regional Gray Matter Volume of Dopaminergic System Associate with Creativity: Evidence from Voxel-based Morphometry», *Neuroimage*, 51 (2010), págs. 578-585. <<

[24] Cloninger, C. R., D. M. Svrakic y T. R. Przybeck, «A Psychobiological Model of Temperament and Character», *Archives of General Psychiatry*, 50 (1993), págs. 975-990. <<

[25] Greese, I. y S. D. Iversen, «The Role of Forebrain Dopamine Systems in Amphetamine Induced Stereotyped Behavior in the Rat», *Psychopharmacologia*, 39 (1974), págs. 345-357; Canales, J. J. y A. M. Graybiel, «A Measure of Striatal Function Predicts Motor Stereotypy», *Nature Neuroscience*, 3 (2000), págs. 377-383; Saka, E., C. Goodrich, P. Harlan, B. K. Madras y A. M. Graybiel, «Repetitive Behaviors in Monkeys Are Linked to Specific Striatal Activation Patterns», *Journal of Neuroscience*, 24 (2004), págs. 7557-7565; De Manzano, O., S. Cervenka, A. Karabanov, L. Farde y F. Ullén, «Thinking Outside a Less Intact Box: Thalamic Dopamine D2 Receptor Densities Are Negatively Related to Psychometric Creativity in Healthy Individuals», *PLoS One*, 17 (2010): E10670. <<

[26] Zalocusky, K. A., C. Ramakrishnan, T. N. Lerner, T. J. Davidson, B. Knutson y K. Deisseroth, «Nucleus Accumbens D2R Cells Signal Prior Outcomes and Control Risky Decision-Making», *Nature*, 531 (2016), págs. 642-646. <<

[27] Costa, V. D., V. L. Tran, J. Turchi y B. B. Averbeck, «Dopamine Modulates Novelty Seeking Behavior During Decision Making», *Behavioral Neuroscience*, 128 (2014), págs. 556-566. <<

[28] Bilder, R. M., J. Volavka, H. M. Lachman y A. A. Grace, «The Catechol-O-Methyltransferase Polymorphism: Relations to the Tonic-Phasic Dopamine Hypothesis and Neuropsychiatric Phenotypes», *Neuropsychopharmacology*, 29 (2004), págs. 1943-1961. <<

[29] Glick, S. D., D. A. Ross y L. B. Hough, «Lateral Asymmetry of Neurotransmitters in Human Brain», *Brain Research*, 234 (1982), págs. 53-63; Carter, R., *Mapping the Mind*, Phoenix Publishing, Londres, 2004; Glick, S. D., *Cerebral Lateralization in Non-Human Species*, Academic Press, Cambridge, MA, 1985; Glick, S. D., R. C. Meibach, R. D. Cox y S. Maayani, «Multiple and Interrelated Functional Asymmetries in Rat Brain», *Life Sciences*, 25 (1979), págs. 395-400; Andersen, S. L. y M. H. Teicher, «Sex Differences in Dopamine Receptors and Their Relevance to ADHD», *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 24 (2000), págs. 137-141. <<

[30] James, W., *Principles of Psychology*, Henry Holt and Company, Nueva York, 1890. <<

[31] Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[32] Kandel, E. R., *In Search of Memory: The Emergence of a New Science of Mind*, W. W. Norton & Company, Nueva York, 2007 (hay trad. cast.: *En busca de la memoria: una nueva ciencia de la mente*, Katz editores, Madrid, 2007). <<

[33] Barr, W., E. Goldberg, J. Wasserstein y P. Novelly, «Patterns of Retrograde Amnesia in Unilateral Temporal Lobectomies», *Neuropsychologia*, 28 (1990), págs. 243-255. <<

[34] Luria, A. R., *The Mind of a Mnemonist: A Little Book About a Vast Memory*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987 (hay trad. cast.: *Pequeño libro de una gran memoria: la mente de un mnemonista*, KRK, Oviedo, 2009). <<

[35] McGaugh, J. L., «Making Lasting Memories: Remembering the Significant», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110 (2013), págs. 10 402-10 407. <<

[36] Hubbard, E. M. y V. S. Ramachandran, «Neurocognitive Mechanisms of Synesthesia», *Neuron*, 48 (2005), págs. 509-520. <<

[37] Vick, K., «Opiates of the Iranian People», *Washington Post Foreign Service* (23 de septiembre de 2005). <<

[38] Martino, D., A. J. Espay, A. Fasano y F. Morgante, *Disorders of Movement: A Guide to Diagnosis and Treatment*, Springer, Nueva York, 2016[1]. <<

[39] Varanese, S., B. Perfetti, S. Mason, A. Di Rocco y E. Goldberg, «Lateralized Profiles of Frontal Lobe Dysfunction in Parkinson's Disease», presentado en el Seventh International Congress on Mental Dysfunctions and Other Non-motor Features in Parkinson's Disease and Related Disorders (Barcelona, España, 2010). <<

[40] Jaffe, M., «Finding Equilibrium in Seesawing Libidos», *New York Times* (8 de marzo de 2015): A6. <<

[41] Giovannoni, G., J. D. O'Sullivan, K. Turner, A. J. Manson y A. J. L. Lees, «Hedonistic Homeostatic Dysregulation in Patients with Parkinson's Disease on Dopamine Replacement Therapies», *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 68 (2000), págs. 423-428. <<

[42] Giovannoni, G., J. D. O'Sullivan, K. Turner, A. J. Manson y A. J. L. Lees, «Hedonistic Homeostatic Dysregulation in Patients with Parkinson's Disease on Dopamine Replacement Therapies», *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 68 (2000), págs. 423-428. <<

[43] Rylander, G., «Psychoses and the Punding and Choreiform Syndromes in Addiction to Central Stimulant Drugs», *Psychiatria, Neurologia, Neurochirurgia*, 75 (1972), págs. 203-212; Schiorring, E., «Psychopathology Induced by "Speed Drugs"», *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 14 (1981), págs. 109-122; Graham, N. A., C. J. Hammond y M. S. Gold, «Drug-Induced Compulsive Behaviors: Exceptions to the Rule», *Mayo Clinic Proceedings*, 84 (2009), págs. 846-847. <<

[44] Seeman, P., «Parkinson's Disease Treatment May Cause Impulse-Control Disorder via Dopamine D3 Receptors», *Synapse*, 69 (2015), págs. 183-189; Moore, T. J., J. Glenmullen y D. R. Mattison, «Reports of Pathological Gambling, Hypersexuality, and Compulsive Shopping Associated with Dopamine Receptor Agonist Drugs», *Journal of the American Medical Association: Internal Medicine*, 174 (2014), págs. 1930-1933. <<

[45] Levant, B., «The D 3 Dopamine Receptor: Neurobiology and Potential Clinical Relevance», *Pharmacological Reviews*, 49 (1997), págs. 231-252. <<

[46] Olds, J. y P. Milner, «Positive Reinforcement Produced by Electrical Stimulation of Septal Area and Other Regions of Rat Brain», *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 47 (1954), págs. 419-427; Nakahara, D., N. Ozaki, Y. Miura, H. Miura y T. Nagatsu, «Increased Dopamine and Serotonin Metabolism in Rat Nucleus Accumbens Produced by Intracranial Self-Stimulation of Medial Forebrain Bundle as Measured by in Vivo Microdialysis», *Brain Research*, 495 (1989), págs. 178-181. <<

[47] Menon, V. y D. J. Levitin, «The Rewards of Music Listening: Response and Physiological Connectivity of the Mesolimbic System», *NeuroImage*, 28 (2005), págs. 175-184; Aharon, L., N. Etcoff, D. Ariely, C. F. Chabris, E. O'Connor y C. Breiter, «Beautiful Faces Have Variable Reward Value: FMRI and Behavioral Evidence», *Neuron*, 32 (2001), págs. 357-551; Ferris, C. F., P. Kulkarni, J. M. Sullivan, J. A. Harder, T. L. Messenger y M. Febo, «Pup Suckling Is More Rewarding Than Cocaine: Evidence from Functional Magnetic Resonance Imaging and Three-Dimensional Computational Analysis», *Journal of Neuroscience*, 25 (2005), págs. 149-156; Numan, M., «Motivational Systems and the Neural Circuitry of Maternal Behavior in the Rat», *Developmental Psychobiology*, 49 (2007), págs. 12-21. <<

[48] Robison, A. J. y E. J. Nestler, «Transcriptional and Epigenetic Mechanisms of Addiction», *Nature Reviews Neuroscience*, 12 (2011), págs. 623-637; Nestler, E. J., «Cellular Basis of Memory for Addiction», *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 15 (2013), págs. 431-443. <<

[49] Voon, V., P. O. Fernagut, J. Wickens, C. Baunez, M. Rodriguez, N. Pavon, J. L. Juncos, J. A. Obeso y E. Bezard, «Chronic Dopaminergic Stimulation in Parkinson's Disease: From Dyskinesias to Impulse Control Disorders», *Lancet Neurology*, 8 (2009), págs. 1140-1149. <<

[50] Verdejo-García, A., R. Vilar-López, M. Pérez-García y E. Goldberg, «Altered Adaptive but Not Veridical Decision-Making in Substance Dependent Individuals», *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12 (2006), págs. 90-99; Evans, A. H., R. Katzenschlager, D. Paviour, J. D. O'Sullivan, S. Appel, A. D. Lawrence y A. J. Lees, «Punding in Parkinson's Disease: Its Relation to the Dopamine Dysregulation Syndrome», *Movement Disorders*, 19 (2004), págs. 397-405; O'Sullivan, S. S., A. H. Evans y A. J. Lees, «Punding in Parkinson's Disease», *Practical Neurology*, 2007, n.º 7 (2007), págs. 397-399. <<

[51] Goldberg, E., K. Podell, R. Harner, M. Lovell y S. Riggio, «Cognitive Bias, Functional Cortical Geometry, and the Frontal Lobes: Laterality, Sex, and Handedness», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6 (1994), págs. 274-294. <<

[52] Varanese, S., B. Perfetti, S. Mason, A. Di Rocco y E. Goldberg, «Lateralized Profiles of Frontal Lobe Dysfunction in Parkinson's Disease», presentado en el Seventh International Congress on Mental Dysfunctions and Other Non-motor Features in Parkinson's Disease and Related Disorders (Barcelona, España, 2010). <<

[53] Goldstein, R. A., N. D. Volkow, «Drug Addiction and Its Underlying Neurobiological Basis: Neuroimaging Evidence for the Involvement of the Frontal Cortex», *American Journal of Psychiatry*, 159 (2002), págs. 1642-1652; Verdejo-García, A., R. Vilar-López, M. Pérez-García y E. Goldberg, «Altered Adaptive but Not Veridical Decision-Making in Substance Dependent Individuals», *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12 (2006), págs. 90-99. <<

[54] Verdejo-García, A., L. Clark, J. Verdejo-Roma, N. Albein-Urios, J. M. Martínez-González, B. Gutiérrez y C. Soriano-Mas, «Neural Substrates of Cognitive Flexibility in Cocaine and Gambling Addictions», *The British Journal of Psychiatry*, 207 (2015) págs. 158-164; Contreras-Rodríguez, O., N. Albein-Urios, J. C. Perales, J. M. Martínez-González, R. Vilar-López, M. J. Fernández-Serrano, O. Lozano-Rojas y A. Verdejo-García, «Cocaine-Specific Neuroplasticity in the Ventral Striatum Network Is Linked to Delay Discounting and Drug Relapse», *Addiction*, 10 (2015), págs. 1953-1962. <<

[1] Para una revisión más detallada de las diferencias biológicas entre los dos hemisferios entre especies, véase: Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009, y Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[2] Goldberg, E. y L. Costa, «Hemisphere Differences in the Acquisition and Use of Descriptive Systems», *Brain and Language*, 14 (1981), págs. 144-173. <<

[3] Bever, T. G. y R. J. Chiarello, «Cerebral Dominance in Musicians and Non-musicians», *Science*, 185 (1974), págs. 537-539. <<

[4] Marci, C. A. y G. Berlucchi, «Right Visual Field Superiority for Accuracy of Recognition of Famous Faces in Normals», *Neuropsychologia*, 15 (1977), págs. 751-756. <<

[5] Martin, A., «Automatic Activation of the Medial Temporal Lobe During Encoding: Lateralized Influences of Meaning and Novelty», *Hippocampus*, 9 (1999), págs. 62-70. <<

[6] Lezak, M., D. B. Howieson, E. D. Bigler y D. Tranel, *Neuropsychological Assessment*, Oxford University Press, Nueva York, 2012[5]. <<

[7] Corbetta, M. y G. L. Shulman, «Control of Goal-Directed and Stimulus-Driven Attention in the Brain», *Nature Reviews Neuroscience*, 3 (2002), págs. 201-215; Corbetta, M., G. Patel y G. L. Shulman, «The Reorienting System of the Human Brain: From Environment to Theory of Mind», *Neuron*, 58 (2008), págs. 306-324; Levy, B. J. y A. D. Wagner, «Cognitive Control and Right Ventrolateral Prefrontal Cortex: Reflexive Reorienting, Motor Inhibition, and Action Updating», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1224 (2011), págs. 40-62; Badre, D. y A. D. Wagner, «Left Ventrolateral Prefrontal Cortex and the Cognitive Control of Memory», *Neuropsychologia*, 45 (2007), págs. 2883-2901. <<

[8] Wang, D., R. L. Buckner y X. H. Liu, «Functional Specialization in the Human Brain Estimated by Intrinsic Hemispheric Interaction», *The Journal of Neuroscience*, 34 (2014), págs. 12 341-12 352. <<

[9] Sridharan, D., D. J. Levitin y V. Menon, «A Critical Role for the Right Fronto-insular Cortex in Switching Between Central-Executive and Default-Mode Networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), págs. 12 569-12 574; Sridharan, D., D. J. Levitin, C. H. Chafe, J. Berger y V. Menon, «Neural Dynamics of Event Segmentation in Music: Converging Evidence for Dissociable Ventral and Dorsal Networks», *Neuron*, 55 (2007), págs. 521-532. <<

[10] Chong, T. T., R. Cunnington, M. A. Williams y J. B. Mattingley, «The Role of Selective Attention in Matching Observed and Executed Actions», *Neuropsychologia*, 47 (2009), págs. 786-795; Chong, T. T., R. Cunnington, M. A. Williams, N. Kanwisher y J. B. Mattingley, «fMRI Adaptation Reveals Mirror Neurons in Human Inferior Parietal Cortex», *Current Biology*, 18 (2008), págs. 1576-1580. <<

[11] Op de Beeck, H. P., C. I. Baker, J. J. DiCarlo y N. G. Kanwisher, «Discrimination Training Alters Object Representations in Human Extrastriate Cortex», *The Journal of Neuroscience*, 26 (2006), págs. 13 025-13 036. <<

[12] Delazer, M., F. Domahs, L. Bartha, C. Brenneis, A. Lochy, T. Trieb y T. Benke, «Learning Complex Arithmetic. An fMRI Study», *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 18 (2003), págs. 76-88. <<

[13] Sridharan, D., D. J. Levitin y V. Menon, «A Critical Role for the Right Fronto-insular Cortex in Switching Between Central-Executive and Default-Mode Networks», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105 (2008), págs. 12 569-12 574. <<

[14] Sara, S. J., C. Dyon-Laurent y A. Hervé, «Novelty Seeking Behavior in the Rat Is Dependent upon the Integrity of the Noradrenergic System», *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 2 (1995), págs. 181-187. <<

[15] Lee, C., J. W. Yang, S. H. Lee, S. H. Kim, S. H. Joe, I. K. Jung, I. G. Choi y B. J. Ham, «An Interaction Between the Norepinephrine Transporter and Monoamine Oxidase A Polymorphisms, and Novelty-seeking Personality Traits in Korean Females», *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, 32 (2008), págs. 238-242.
<<

[16] Kruglikov, R. R. I., N. V. Orlova y V. M. Getsova, «Content of Norepinephrine and Serotonin in Symmetrical Divisions of the Brain of Rats in the Norm During Learning and with the Administration of Peptides», *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 22 (1992), págs. 128-131; Glick, S. D., D. A. Ross y L. B. Hough, «Lateral Asymmetry of Neurotransmitters in Human Brain», *Brain Research*, 234 (1982), págs. 53-63; Carter, R., *Mapping the Mind*, Phoenix Publishing, Londres, 2004; Glick, S. D., *Cerebral Lateralization in Non-Human Species*, Academic Press, Cambridge, MA, 1985; Glick, S. D., R. C. Meibach, R. D. Cox y S. Maayani, «Multiple and Interrelated Functional Asymmetries in Rat Brain», *Life Sciences*, 25 (1979), págs. 395-400. <<

[17] Grossberg, S., *Neural Networks and Natural Intelligence*, MIT Press, Cambridge, MA, 1988; O'Reilly, R. C. y Y. Munakata, *Computational Explorations in Cognitive Neuroscience*, MIT Press, Cambridge, MA, 2000. <<

[18] Hakeem, Y., C. C. Sherwood, C. J. Bonar, C. Butti, P. R. Hof y J. M. Allman, «Von Economo Neurons in the Elephant Brain», *The Anatomical Record*, 292 (2009), págs. 242-248. <<

[19] Allman, J. M., N. A. Tetreault, A. Y. Hakeem, K. F. Manaye, K. Semendeferi, J. M. Erwin, S. Park, V. Goubert y P. R. Hof, «The Von Economo Neurons in the Frontoinsular and Anterior Cingulate Cortex», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1225 (2011), págs. 59-71. <<

[20] Rourke, P., *Nonverbal Learning Disabilities: The Syndrome and the Model*, The Guilford Press, Nueva York, 1989[1]. <<

[21] Kluger A. y E. Goldberg, «Comparison of VIQ/PIQ Ratios in Patients with Affective Disorders, Diffuse and Right Hemisphere Brain Disease», *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 12 (1990), págs. 182-194. <<

[22] Chiron, C., I. Jambaque, R. Nabbout, R. Lounes, A. Syrota y O. Dulac, «The Right Brain Hemisphere Is Dominant in Human Infants», *Brain*, 120 (1997), págs. 1057-1065. <<

[23] Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[24] Llaurens, V., M. Raymond y C. Faurie, «Why Are Some People Left-handed? An Evolutionary Perspective», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 364 (2009), págs. 881-894. <<

[25] Kushner, H. I., «Why Are There (Almost) No Left-handers in China?», *Endeavour*, 37 (2013), págs. 71-81. <<

[26] Wang, S. y S. Aamodt, «A Vast Left-handed Conspiracy», The Washington Post (6 de julio de 2008): **http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2008/07/03/AR2008070303202.html <<**

[27] Goodman, J., «The Wages of Sinistrality: Handedness, Brain Structure, and Human Capital Accumulation», *Journal of Economic Perspectives*, 28 (2014), págs. 193-212; Ruebeck, C. S., J. E. Harrington, Jr. y R. Moffitt, «Handedness and Earnings», *Laterality: Asymmetries of Brain Body and Cognition*, 12 (2007), págs. 101-120. <<

[28] Goldberg, E., K. Podell, R. Harner, M. Lovell y S. Riggio, «Cognitive Bias, Functional Cortical Geometry, and the Frontal Lobes: Laterality, Sex, and Handedness», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6 (1994), págs. 274-294. <<

[29] Kumar, R. y A. E. Lang, «Coexistence of Tics and Parkinsonism: Evidence for Non-dopaminergic Mechanisms in Tic Pathogenesis», *Neurology*, 49 (1997), págs. 1699-1701. <<

[30] Goldberg, E., K. Podell, R. Harner, M. Lovell y S. Riggio, «Cognitive Bias, Functional Cortical Geometry, and the Frontal Lobes: Laterality, Sex, and Handedness», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6 (1994), págs. 274-294; Podell, K., «When East Meets West: Systematizing Luria's Approach to Executive Control Assessment», en *Luria's Legacy in the 21st Century*, A. L. Christensen, E. Goldberg y D. Bougakov, eds., Oxford University Press, Nueva York, 2009, págs. 122-145. <<

[31] Varanese, S., B. Perfetti, S. Mason, A. Di Rocco y E. Goldberg, «Lateralized Profiles of Frontal Lobe Dysfunction in Parkinson's Disease», presentado en el Seventh International Congress on Mental Dysfunctions and Other Non-motor Features in Parkinson's Disease and Related Disorders (Barcelona, España, 2010). <<

[32] Sheppard, D. M., J. L. Bradshaw, R. Purcell y C. Pantelis, «Tourette's and Comorbid Syndromes: Obsessive Compulsive and Attention Deficit Hyperactivity Disorder. A Common Etiology?», *Clinical Psychology Review*, 19 (1999), págs. 531-552; Rizzom, R., M. Gulisano, P. V. Cali y P. Curatolo, «Tourette Syndrome and Comorbid ADHD: Current Pharmacological Treatment Options», *European Journal of Paediatric Neurology*, 17 (2013), págs. 421-428; Bloch, M., M. State y C. Pittenger, «Recent Advances in Tourette Syndrome», *Current Opinion in Neurology*, 24 (2011), págs. 119-125; Bitsko, R. H., J. R. Holbrook, S. N. Visser, J. W. Mink, S. H. Zinner, R. M. Ghandour y S. J. Blumberg, «A National Profile of Tourette Syndrome, 2011-2012», *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 35 (2014), págs. 317-322; «Tourette Syndrome: Data and Statistics», Centers for Disease Control (2016): **http://www.cdc.gov/ncbddd/tourette/data.html**. **<<**

[33] Sacks, O. W., «Tourette's Syndrome and Creativity», *British Medical Journal*, 305 (1992), págs. 1515-1516. <<

[34] Goldberg, E., «ADHD, Tourette's and the Fallacy of Fads», conferencia inaugural de International Conference on Neuroethics (ICONE) (Lisboa, Portugal, 9-10 de abril de 2015). <<

[35] Lhermitte, F., B. Pillon y M. Serdaru, «Human Autonomy and the Frontal Lobes. Part I: Imitation and Utilization Behavior: A Neuropsychological Study of 75 Patients», *Annals of Neurology*, 19 (1986), págs. 326-334; Goldberg, E. y L. Costa, «Qualitative Indices in Neuropsychological Assessment: Extension of Luria's Approach. Executive Deficit Following Prefrontal Lesions», en *Neuropsychological Assessment in Neuropsychiatric Disorders*, K. Adams y I. Grant, eds., Oxford University Press, Nueva York, 2009, págs. 48-64; Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[36] Esta laguna está siendo llenada por mis antiguos estudiantes y colegas Andy Lopez-Williams y Kjell Tore Hovik, quienes han diseñado la escala de conducta exploratoria, que actualmente están perfeccionando. <<

[37] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[38] Hovik, K. T., M. Øie y E. Goldberg, «Inside the Triple-Decker: Tourette's Syndrome and Cerebral Hemispheres», *Executive Functions in Health and Disease*, E. Goldberg, ed., Academic Press, Cambridge, MA, 2017. <<

[39] Bitsko, R. H., J. R. Holbrook, S. N. Visser, J. W. Mink, S. H. Zinner, R. M. Ghandour y S. J. Blumberg, «A National Profile of Tourette Syndrome, 2011-2012», *Journal of Developmental & Behavioral Pediatrics*, 35 (2014), págs. 317-322. <<

[40] Goldberg, E., K. Podell, R. Harner, M. Lovell y S. Riggio, «Cognitive Bias, Functional Cortical Geometry, and the Frontal Lobes: Laterality, Sex, and Handedness», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6 (1994), págs. 274-294. <<

[41] Cohen, S. C., J. M. Mulqueen, E. Ferracioli-Oda, Z. D. Stuckelman, C. G. Coughlin, J. F. Leckman y M. H. Bloch, «Meta-Analysis: Risk of Tics Associated with Psychostimulant Use in Randomized, Placebo-Controlled Trials», *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 54 (2015), págs. 728-736. <<

[1] Ghiselin, B., *The Creative Process: Reflections on the Invention in the Arts and Sciences*, University of California Press, Oakland, CA, 1985[1]. <<

[2] Campbell, D. T., «Blind Variation and Selective Retentions in Creative Thought as in Other Knowledge Processes», *Psychological Review*, 67 (1960), págs. 380-400; Jung, R. E., B. S. Mead, J. Carrasco y R. A. Flores, «The Structure of Creative Cognition in the Human Brain», *Frontiers in Human Neuroscience*, 7 (2013), pág. 330. <<

[3] Simon, H. A., *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996[3], pág. 194. <<

[4] Dietrich, A., «Transient Hypofrontality as a Mechanism for the Psychological Effects of Exercise», *Psychiatry Research*, 145 (2006), págs. 79-83. <<

[5] Hay un vídeo de la danza Shanghyang Jaran grabado por el hijo de unos amigos balineses, Ida Bagus Yogi Iswara Bawa, a quien pedí que me acompañara: **https://youtu.be/g_nAGNrLjiM**. Para una discusión más técnica de la hipofrontalidad transitoria en estados alterados de la consciencia, véase: Dietrich, A., «Functional Neuroanatomy of Altered States of Consciousness: The Transient Hypofrontality Hypothesis», *Consciousness and Cognition*, 12 (2003), págs. 231-256. **<<**

[6] Grillon, M. L., C. Oppenheim, G. Varoquaux, F. Charbonneau, A. D. Devauchelle, M. O. Krebs, F. Baylé, B. Thirion y C. Huron, «Hyperfrontality and Hypoconnectivity During Refreshing in Schizophrenia», *Psychiatry Research*, 211 (2013), págs. 226-233. <<

[7] Hampshire, A., A. Macdonald y A. M. Owen, «Hypoconnectivity and Hyperfrontality in Retired American Football Players», *Scientific Reports*, 3 (2013), pág. 2972. <<

[8] Vollenweider, F. X., K. L. Leenders, C. Scharfetter, P. Maguire, O. Stadelmann y J. Angst, «Positron Emission Tomography and Fluorodeoxyglucose Studies of Metabolic Hyperfrontality and Psychopathology in the Psilocybin Model of Psychosis», *Neuropsychopharmacology*, 16 (1997), págs. 357-372; Dackis, C. y C. O'Brien, «Neurobiology of Addiction: Treatment and Public Policy Ramifications», *Nature Neuroscience*, 8 (2005), págs. 1431-1436. <<

[9] Weinberger, D. R. y K. F. Berman, «Speculation on the Meaning of Cerebral Metabolic Hypofrontality in Schizophrenia», *Schizophrenia Bulletin*, 14 (1988), págs. 157-168; Renes, R. A., M. Vink, A. Van Der Weiden, M. Prikken, M. G. Koevoets, R. S. Kahn, H. Aarts y N. E. Van Haren, «Impaired Frontal Processing During Agency Inferences in Schizophrenia», *Psychiatry Research*, 248 (2016), págs. 134-141; Senkowski, D. y J. Gallinat, «Dysfunctional Prefrontal Gamma-band Oscillations Reflect Working Memory and Other Cognitive Deficits in Schizophrenia», *Biological Psychiatry*, 77 (2015), págs. 1010-1019; Tomioka, H., B. Yamagata, S. Kawasaki, S. Pu, A. Iwanami, J. Hirano, K. Nakagome y M. Mimura, «A Longitudinal Functional Neuroimaging Study in Medication-naïve Depression After Antidepressant Treatment», *PLoS One*, 10 (2015), E0120828; Li, C. T., T. P. Su, S. J. Wang, P. C. Tu y J. C. Hsieh, «Prefrontal Glucose Metabolism in Medication-Resistant Major Depression», *British Journal of Psychiatry*, 206 (2015), págs. 316-323; Vélez-Hernández, M. E., E. Padilla, F. Gonzalez-Lima y C. A. Jiménez-Rivera, «Cocaine Reduces Cytochrome Oxidase Activity in the Prefrontal Cortex and Modifies Its Functional Connectivity with Brainstem Nuclei», *Brain Research*, 1542 (2014), págs. 56-69. <<

[10] Dietrich, A., «Functional Neuroanatomy of Altered States of Consciousness: The Transient Hypofrontality Hypothesis», *Consciousness and Cognition*, 12 (2003), págs. 231-256; Dietrich, A., «The Cognitive Neuroscience of Creativity», *Psychonomic Bulletin & Review*, 11 (2004), págs. 1011-1026. <<

[11] Heilman, K. M., S. E. Nadeau y D. O. Beversdorf, «Creative Innovation: Possible Brain Mechanisms», *Neurocase*, 9 (2003), págs. 369-379; Heilman, K. M., «Possible Brain Mechanisms of Creativity», *Archives of Clinical Neuropsychology*, 31 (2016), págs. 285-296. <<

[12] Kaufman, A., *et al*., «The Neurobiological Foundation of Creative Cognition», en *The Cambridge Handbook of Creativity*, J. C. Kaufman y R. J. Sternberg, eds., Cambridge University Press, Cambridge, 2010, págs. 216-232. <<

[13] Chand, G. B. y M. Dhamala, «Interactions Among the Brain Default-Mode, Salience, and Central-Executive Networks During Perceptual Decision-Making of Moving Dots», *Brain Connectivity*, 6 (2016), págs. 249-254. <<

[14] Goldberg E. y L. Costa, «Qualitative Indices in Neuropsychological Assessment: Extension of Luria's Approach. Executive Deficit Following Prefrontal Lesions», en *Neuropsychological Assessment in Neuropsychiatric Disorder*, K. Adams y I. Grant, eds., Oxford University Press, Nueva York, 1986, págs. 48-64. <<

[15] Goldberg, E., K. Podell, R. Harner, M. Lovell y S. Riggio, «Cognitive Bias, Functional Cortical Geometry, and the Frontal Lobes: Laterality, Sex, and Handedness», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 6 (1994), págs. 274-294; Goldberg, E. y K. Podell, «Reciprocal Lateralization of Frontal Lobe Functions», *Archives of General Psychiatry*, 52 (1995), págs. 159-160; Goldberg, E. y K. Podell, «Lateralization in the Frontal Lobes: Searching the Right (and Left) Way», *Biological Psychiatry*, 38 (1995), págs. 569-571; Podell, K., M. Lovell, M. Zimmerman y E. Goldberg, «The Cognitive Bias Task and Lateralized Frontal Lobe Functions in Males», *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 7 (1995), págs. 491-501. <<

[16] Varanese, S., B. Perfetti, S. Mason, A. Di Rocco y E. Goldberg, «Lateralized Profiles of Frontal Lobe Dysfunction in Parkinson's Disease», presentado en el Seventh International Congress on Mental Dysfunctions and Other Non-motor Features in Parkinson's Disease and Related Disorders (Barcelona, España, 2010); Hovik, K. T., M. Øie y E. Goldberg, «Inside the Triple-Decker: Tourette's Syndrome and Cerebral Hemispheres», *Executive Functions in Health and Disease*, E. Goldberg, ed., Academic Press, Cambridge, MA, 2017. <<

[17] Watts, J. D. y S. H. Strogatz, «Collective Dynamics of "Small-World" Networks», *Nature*, 393 (1998), págs. 440-442. <<

[18] Sporns, O. y G. Tononi, «Classes of Network Connectivity and Dynamics», *Complexity*, 7 (2002), págs. 28-38. <<

[19] Sporns, O., G. Tononi y G. M. Edelman, «Theoretical Neuroanatomy: Relating Anatomical and Functional Connectivity in Graphs and Cortical Connection Matrices», *Cerebral Cortex*, 10 (2000), págs. 127-141. <<

[20] Tian, L., J. Wang, C. Yan y Y. He, «Hemisphere and Gender Related Differences in Small-World Brain Networks: A Resting-State Functional MRI Study», *NeuroImage*, 54 (2011), págs. 191-202; Iturria-Medina, Y., A. Pérez Fernández, D. M. Morris, E. J. Canales-Rodríguez, H. A. Haroon, L. García Penton, M. Augath, L. Galan García, N. Logothetis, G. J. Parker y L. Melie-García, «Brain Hemispheric Structural Efficiency and Interconnectivity Rightward Asymmetry in Human and Nonhuman Primates», *Cerebral Cortex*, 21 (2011), págs. 56-67; Semmes, J., «Hemispheric Specialization: A Possible Clue to Mechanism», *Neuropsychologia*, 6 (1968), págs. 11-26; Daianu, M., N. Jahanshad, E. L. Dennis, A. W. Toga, K. L. McMahon, G. I. De Zubicaray, N. G. Martin, M. J Wright, I. B. Hickie y P. M. Thompson, «Left Versus Right Hemisphere Differences in Brain Connectivity: 4-Tesla HARDI Tractography in 569 Twins», *Proceedings of the IEEE International Symposium on Biomedical Imaging*, 9 (2012), págs. 526-529. <<

[21] Good, C. D., I. S. Johnsrude, J. Ashburner, R. N. Henson, K. J. Friston y R. S. Frackowiak, «A Voxel-based Morphometric Study of Ageing in 465 Normal Adult Human Brains», *Neuroimage*, 14 (2001), págs. 21-36; Pujol, J., A. López-Sala, J. Deus, N. Cardoner, N. Sebastian-Galles, G. Conesa y A. Capdevila, «The Lateral Asymmetry of the Human Brain Studied by Volumetric Magnetic Resonance Imaging», *Neuroimage*, 17 (2002), págs. 670-679; Gur, R. C., I. K. Packer, J. P. Hungerbuhler, M. Reivich, W. D. Obrist, W. S. Amarnek y H. A. Sackeim, «Differences in the Distribution of Gray and White Matter in Human Cerebral Hemispheres», *Science*, 207 (1980), págs. 1226-1228. <<

[22] Poincaré, H., «The Mathematical Creation», en *The Creative Process: Reflections on Inventions in the Arts and Sciences*, B. Chiselin, ed., Transformational Book Circle, Oxnard, CA, 1986. <<

[23] Ghiselin, B., *The Creative Process: Reflections on the Invention in the Arts and Sciences*, University of California Press, Oakland, CA, 1985[1].
<<

[24] Marupaka, N. y A. A. Minai, «Connectivity and Creativity in Semantic Neural Networks», *Neural Networks (IJCNN)* (International Joint Conference on Neural Networks, 31 de julio–5 de agosto de 2011). <<

[25] Hadamard, J., *The Mathematician's Mind: The Psychology of Invention in the Mathematical Field*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1945, págs. 142-143. <<

[26] Ghiselin, B., *The Creative Process: Reflections on the Invention in the Arts and Sciences*, Oakland, CA, University of California Press, 1985[1], pág. 60. <<

[27] Luria, A., *Higher Cortical Functions in Man*, Springer, Nueva York, 1980[2] (hay trad cast.: *Las funciones corticales superiores del hombre*, Fontamara, Ciudad de México, 2013); Luria, A., *The Working Brain: An Introduction to Neuropsychology*, Basic Books, Nueva York, 1976 (hay trad. cast.: *El cerebro en acción*, Martínez Roca, Madrid, 1984); Fuster, J. M., *The Neuroscience of Freedom and Creativity: Our Predictive Brain*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013, pág. 176. <<

[1] De Waal, F., *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?*, W. W. Norton & Company, Nueva York, 2016[1]. <<

[2] Grainger, J., S. Dufau, M. Montant, J. C. Ziegler y J. Fagot, «Orthographic Processing in Baboons (Papio Papio)», *Science*, 336 (2012), págs. 245-248. <<

[3] Fagot, J. y J. Vauclair, «Video-Task Assessment of Stimulus Novelty Effects on Hemispheric Lateralization in Baboons (*Papio papio*)», *Journal of Comparative Psychology*, 108 (1994), págs. 156-163; Grainger, J., S. Dufau, M. Montant, J. C. Ziegler y J. Fagot, «Orthographic Processing in Baboons (*Papio papio*)», *Science*, 336 (2012), págs. 245-248. <<

[4] MacNeilage, P. F., L. J. Rogers y G. Vallortigara, «Origins of the Left and Right Brain», *Scientific American*, 301 (2009), págs. 60-67. <<

[5] Klur, S., C. Muller, A. Pereira de Vasconcelos, T. Ballard, J. López, R. Galani, U. Certa y J. C. Cassel, «Hippocampal-dependent Spatial Memory Functions Might Be Lateralized in Rats: An Approach Combining Gene Expression Profiling and Reversible Inactivation», *Hippocampus*, 19 (2009), págs. 800-816. <<

[6] Pryor, K. W., R. Haag y J. O'Reilly, «The Creative Porpoise: Training for Novel Behavior», *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12 (1969), págs. 653-661. <<

[7] Pryor, K. W., R. Haag y J. O'Reilly, «The Creative Porpoise: Training for Novel Behavior», *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12 (1969), pág. 661. <<

[8] Kilian, A., L. Von Fersen y O. Güntürkün, «Left Hemispheric Advantage for Numerical Abilities in the Bottlenose Dolphin», *Behavioral Processes*, 68 (2005), págs. 179-184. <<

[9] Sakai, M., T. Hishii, S. Takeda y S. Koshima, «Laterality of Flipper Rubbing Behaviour in Wild Bottlenose Dolphins (*Tursiops aduncus*): Caused by Asymmetry of Eye Use?». *Behavioural Brain Research*, 170 (2006), págs. 204-210. <<

[10] Blois-Heulin, C., M. Crével, M. Böye y A. Lemasson, «Visual Laterality in Dolphins: Importance of the Familiarity of Stimuli», *BMC Neuroscience*, 13 (2012), pág. 9; Siniscalchi, M., S. Dimatteo, A. M. Pepe, R. Sasso y A. Quaranta, «Visual Lateralization in Wild Striped Dolphins (*Stenella coeruleoalba*) in Response to Stimuli with Different Degrees of Familiarity», *PLoS One*, 7 (2012): E30001. <<

[11] Ackerman, J., *The Genius of Birds*, Penguin Press, Nueva York, 2016 (hay trad. cast.: *El ingenio de los pájaros*, Ariel, Barcelona, 2017). <<

[12] O'Hara, M., A. M. Auersperg, T. Bugnyar y L. Huber, «Inference by Exclusion in Goffin Cockatoos (*Cacatua goffini*)», *PLoS One*, 10 (2015): E0134894; Auersperg, A. M., N. Oswald, M. Domanegg, G. K. Gajdon y T. Bugnyar, «Unrewarded Object Combinations in Captive Parrots», *Animal Behavior and Cognition*, 1 (2014), págs. 470-488; Auersperg, A. M., A. Kacelnik y A. M. Von Bayern, «Explorative Learning and Functional Inferences on a Five-step Means-Means-End Problem in Goffin's Cockatoos (*Cacatua goffini*)», *PLoS One*, 8 (2013): E68979. <<

[13] Jarvis, E. D., O. Güntürkün, L. Bruce, A. Csillag, H. Karten, W. Kuenzel, L. Medina, G. Paxinos, D. J. Perkel, T. Shimizu, G. Striedter, J. M. Wild, G. F. Ball, J. Dugas-Ford, S. E. Durand, G. E. Hough, S. Husband, L. Kubikova, D. W. Lee, C. V. Mello, A. Powers, C. Siang, T. V. Smulders, K. Wada, S. A. White, K. Yamamoto, J. Yu, A. Reiner, A. B. Butler y The Avian Brain Nomenclature Consortium, «Avian Brains and a New Understanding of Vertebrate Brain Evolution», *Nature Reviews Neuroscience*, 6 (2005), págs. 151-159. <<

[14] Magat, M. y C. Brown, «Laterality Enhances Cognition in Australian Parrots», *Proceedings in Biological Sciences*, 276 (2009), págs. 4155-4162; Daisley, J. N., G. Vallortigara y L. Regolin, «Logic in an Asymmetrical (Social) Brain: Transitive Inference in the Young Domestic Chick», *Society of Neuroscience*, 5 (2010), págs. 309-319. <<

[15] Verhaal, J., J. A. Kirsch, I. Vlachos, M. Manns y O. Güntürkün, «Lateralized Reward-Related Visual Discrimination in the Avian Entopallium», *European Journal of Neuroscience*, 35 (2012), págs. 1337-1343. <<

[16] Bell, B. A., M. L. Phan y D. S. Vicario, «Neural Responses in Songbird Forebrain Reflect Learning Rates, Acquired Salience and Stimulus Novelty After Auditory Discrimination Training», *Journal of Neurophysiology*, 113 (2015), págs. 1480-1492. <<

[17] Templeton, J. J., D. J. Mountjoy, S. R. Pryke y S. C. Griffith, «In the Eye of the Beholder: Visual Mate Choice Lateralization in a Polymorphic Songbird», *Biology Letters*, 8 (2012), págs. 924-927; Templeton, J. J., B. G. McCracken, M. Sher y D. J. Mountjoy, «An Eye for Beauty: Lateralized Visual Stimulation of Courtship Behavior and Mate Preferences in Male Zebra Finches, *Taeniopygia guttata*», *Behavioral Processes*, 102 (2014), págs. 33-39. <<

[18] Moorman, S., S. M. Gobes, M. Kuijpers, A. Kerkhofs, M. A. Zandbergen y J. J. Bolhuis, «Human-like Brain Hemispheric Dominance in Birdsong Learning», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), págs. 12 782-12 787. <<

[19] Tsoi, S. C., U. V. Aiya, K. D. Wasner, M. L. Phan, C. L. Pytte y D. S. Vicario, «Hemispheric Asymmetry in New Neurons in Adulthood Is Associated with Vocal Learning and Auditory Memory», *PLoS One*, 9 (2014): E108929. <<

[20] Rogers, L. J. y G. Vallortigara, «From Antenna to Antenna: Lateral Shift of Olfactory Memory in Honeybees», *PLoS One*, 3 (2008): E2340; Frasnelli, E., «Brain and Behavioral Lateralization in Invertebrates», *Frontiers in Psychology*, 4 (2013), pág. 939. <<

[21] Frasnelli, E., «Brain and Behavioral Lateralization in Invertebrates», *Frontiers in Psychology*, 4 (2013), pág. 939. <<

[22] Vygotsky, L. S., *The Psychology of Art*, MIT Press, Cambridge, MA, 1974 (hay trad. cast.: *Psicología del arte*, Paidós, Barcelona, 2013). <<

[23] Vygotsky, L. S., *Thought and Language*, edición revisada y ampliada, MIT Press, Cambridge, MA, 2012 (hay trad. cast.: *Pensamiento y lenguaje*, Paidós, Barcelona, 2013); Vygotsky, L. S., *Mind in Society: The Development of Higher Cognitive Processes*, ed. revisada, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978; Wertsch, J. V., *Vygotsky and the Social Formation of Mind*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1985 (hay trad. cast. *Vygotsky y la formación social de la mente*, Paidós, Barcelona, 2006). <<

[24] Patterson, F. G., «The Gestures of a Gorilla: Language Acquisition in Another Pongid», *Brain and Language*, 5 (1978), págs. 72-97; Haviland, V. A., H. E. L. Prins, B. McBride y D. Walrath, C*ultural Anthropology: The Human Challenge*, Wadsworth Publishing, 2016[15]. <<

[25] Savage-Rumbaugh, S. y R. Lewin, *Kanzi: The Ape at the Brink of the Human Mind*, Wiley, Hoboken, NJ, 1994; Fields, W. M., P. Segerdahl y S. Savage-Rumbaugh, «The Material Practices of Ape Language Research», en *The Cambridge Handbook of Sociocultural Psychology*, J. Valsinar y A. Rosa, eds., Cambridge University Press, Cambridge, 2007, págs. 164-186. <<

[26] Warneken, F. y A. G. Rosati, «Cognitive Capacities for Cooking in Chimpanzees», *Proceedings of the Royal Society B*, 282 (2015), pág. 20150229. <<

[27] Pepperberg, I. M., «In Search of King Solomon's Ring: Cognitive and Communicative Studies of Grey Parrots (*Psittacus erithacus*)», *Brain, Behavior and Evolution*, 59 (2002), págs. 54-67; Pepperberg, I. M. y S. Carey, «Grey Parrot Number Acquisition: The Inference of Cardinal Value from Ordinal Position on the Numeral List», *Cognition*, 125 (2012), págs. 219-232. <<

[28] Laland, K. N. y B. G. Galef, eds., *The Question of Animal Culture*, Harvard University Press, CAmbridge, MA, 2009. <<

[29] Whiten, A., J. Goodall, W. C. McGrew, T. Nishida, V. Reynolds, Y. Sugiyama, C. E. G. Tutin, R. W. Wrangham y C. Boesch, «Cultures in Chimpanzees», *Nature*, 399 (1999), págs. 682-685. <<

[30] Terkel, J., «Cultural Transmission of Feeding Behavior in the Black Rat (*Rattus rattus*)», en *Social Learning in Animals: The Roots of Culture*, C. M. Heyes y B. G. Galef, eds., Academic Press, San Diego, CA, 1996, págs. 17-48. <<

[31] Toft, C. A. y T. F. Wright, *Parrots of the Wild: A Natural History of the World's Most Captivating Birds*, University of California Press, Berkeley, CA, 2015. <<

[32] Johnson, C. M., «Distributed Primate Cognition: A Review», *Animal Cognition*, 4 (2001), págs. 167-183; Fields, W. M., P. Segerdahl y S. Savage-Rumbaugh, «The Material Practices of Ape Language Research», en *The Cambridge Handbook of Sociocultural Psychology*, J. Valsinar y A. Rosa, eds., Cambridge University Press, Cambridge, 2007, págs. 164-186. <<

[33] Pennisi, E., «The Power of Personality», *Science*, 352 (2016), págs. 644-647. <<

[34] Haviland, V. A., H. E. L. Prins, B. McBride y D. Walrath, *Cultural Anthropology: The Human Challenge*, Wadsworth Publishing, Belmont, CA, 2016[15]. <<

[1] Arrian, *The Campaigns of Alexander*, Penguin Group, Nueva York, 1971, pág. 105 (hay trad. cast.: Arriano, F., *Anábasis de Alejandro Magno*, Gredos, Madrid, 2002); Plutarch, *Life of Alexander*, The Modern Library, 2004, pág. 19 (hay trad. cast.: Plutarco, *Vidas paralelas VI*, Gredos, Madrid, 2007). <<

[2] Hayes, B., «Gauss's Day of Reckoning», *American Scientist*, 94 (2006), pág. 200. <<

[3] Hermann, P., M. Smith y K. L. Alexander, «Horrified Passengers Witnessed Brutal July 4 Slaying Aboard Metro Car», *The Washington Post* (7 de julio de 2015): **https://www.washingtonpost.com/local/crime/victim-in-metro-slaying-stabbed-repeatedly-during-robbery-on-train/2015/07/07/8dd09132-249b-11e5-b72c-2b7d516e1e0e_story.html. <<**

[4] Asch, S. E., «Studies of Independence and Conformity: I. A Minority of One Against a Unanimous Majority», *Psychological Monographs: General and Applied*, 70 (1956), págs. 1-70. <<

[5] Gächter, S. y J. Schultz, «Intrinsic Honesty and the Prevalence of Rule Violations Across Societies», *Nature*, 531 (2016), págs. 496-499. <<

[6] Strandburg-Peshkin, A., D. R. Farine, I. D. Couzin y M. C. Crofoot, «Shared Decision-making Drives Collective Movement in Wild Baboons», *Science*, 348 (2015), págs. 1358-1361. <<

[7] Carter, C. S., T. S. Braver, D. M. Barch, M. M. Botvinick, D. Noll y J. D. Cohen, «Anterior Cingulate Cortex, Error Detection, and the Online Monitoring of Performance», *Science*, 280 (1998), págs. 747-749. <<

[8] Slotnick, B., «Disturbances of Maternal Behavior in the Rat Following Lesions of the Cingulate Cortex», *Behaviour*, 29 (1967), págs. 204-235. <<

[9] Hadland, K. A., M. F. S. Rushworth, D. Gaffan y R. E. Passingham, «The Effect of Cingulate Lesions on Social Behaviour and Emotion», *Neuropsychologia*, 41 (2003), págs. 919-931. <<

[10] Zink, C. F. y A. Meyer-Lindenberg, «Human Neuroimaging of Oxytocin and Vasopressin in Social Cognition», *Hormones and Behavior*, 61 (2012), págs. 400-409; Zink, C. F., J. L. Stein, L. Kempf, S. Hakimi y A. Meyer-Lindenberg, «Vasopressin Modulates Medial Prefrontal Cortex-Amygdala Circuitry During Emotion Processing in Humans», *Journal of Neuroscience*, 30 (2010), págs. 7017-7022. <<

[11] Klucharev, V., K. Hytönen, M. Rijpkema, A. Smidts y G. Fernández, «Reinforcement Learning Signal Predicts Social Conformity», *Neuron*, 61 (2009), págs. 140-151. <<

[12] Klucharev, V., M. A. M. Moniek, A. Smidts y G. Fernández, «Downregulation of the Posterior Medial Frontal Cortex Prevents Social Conformity», *Journal of Neuroscience*, 31 (2011), págs. 11 934-11 940. <<

[13] Goldberg, E., D. Roediger, N. E. Kucukboyaci, C. Carlson, O. Devinsky, R. Kuzniecky, E. Halgren y T. Thesen, «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210. <<

[14] Fajardo, C., M. I. Escobar, E. Buriticá, G. Arteaga, J. Umbarila, M. F. Casanova y H. Pimienta, «Von Economo Neurons Are Present in the Dorsolateral (Dysgranular) Prefrontal Cortex of Humans», *Neuroscience Letters*, 435 (2008), págs. 215-218. <<

[15] Allman, J. M., N. A. Tetreault, A. Y. Hakeem, K. F. Manaye, K. Semendeferi, J. M. Erwin, S. Park, V. Goubert y P. R. Hof, «The Von Economo Neurons in the Frontoinsular and Anterior Cingulate Cortex», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1225 (2011), págs. 59-71. <<

[16] Santillo, A. F., C. Nilsson y E. Englund, «Von Economo Neurones Are Selectively Targeted in Frontotemporal Dementia», *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 39 (2013), págs. 572-579. <<

[17] Boole, G., *An Investigation of the Laws of Thought*, Prometheus Books, Amherst, MA, 2003 (hay trad. cast.: *Investigación sobre las leyes del pensamiento*, Paraninfo, Madrid, 1982). <<

[18] Osborne, J. M. y A. Rubinstein, *A Course in Game Theory*, MIT Press, Cambridge, MA, 1994. En el momento de escribir esto, el sitio web del juego de los 2/3 del promedio era: **http://twothirdsofaverage.creativitygames.net/ <<**

[19] Guilford, J. P., *The Nature of Human Intelligence*, McGraw-Hill, 1967 (hay trad. cast.: *La naturaleza de la inteligencia humana*, Paidós, Barcelona, 1986); Jauk, E., M. Benedek, B. Dunst y A. C. Neubauer, «The Relationship Between Intelligence and Creativity: New Support for the Threshold Hypothesis by Means of Empirical Breakpoint Detection», *Intelligence*, 41 (2013), págs. 212-221. <<

[20] Kaufman, J. C., *Creativity 101*, Springer Publishing Company, Nueva York, 2009. <<

[21] Carroll, J. B., *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor Analytic Studies*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993. <<

[22] Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[23] Kaufman, A. S., *IQ Testing 101*, Springer Publishing, 2009; véase también:
https://www.pearsonassessments.com/store/usassessments/en/Store/Professional-Assessments/Cognition-%26-Neuro/Wechsler-Adult-Intelligence-Scale-%7C-Fourth-Edition/p/100000392.html, consultado el 24 de abril de 2017. **<<**

[24] Sawyer, R. K., *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation*, Oxford University Press, Nueva York, 2012; Csikszentmihalyi, M., *Creativity: Flow and the Psychology of Discovery and Invention*, Harper Collins, Nueva York, 1996. <<

[25] Hey, T., *Einstein's Mirror*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997, pág. 1. <<

[26] Landau-Drobantseva, K., *Academician Landau: How We Lived. A Memoir*, en ruso, Zakharov Press, Moscú, 1999. <<

[27] Sawyer, R. K., *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation*, Oxford University Press, Nueva York, 2012[2]; Kim, K. H., «Meta-analyses of the Relationship of Creative Achievement to Both IQ and Divergent Thinking Tests Scores», *Journal of Creative Behavior*, 42 (2008), págs. 106-130. <<

[28] Torrance, E. P., *Torrance Tests of Creative Thinking*, Scholastic Testing Service, Bensenville, IL, 1966. <<

[29] Gansler, D. A., D. W. Moore, T. M. Susmaras, M. W. Jerram, J. Sousa y K. M. Heilman, «Cortical Morphology of Visual Creativity», *Neuropsychologia*, 49 (2011), págs. 2527-2532. <<

[30] Jung, R. E., J. M. Segall, J. H. Bockholt, R. A. Flores, S. W. Smith, R. S. Chávez y R. J. Haier, «Neuroanatomy of Creativity», *Human Brain Mapping*, 31 (2010), págs. 398-409. <<

[31] Takeuchi, H., Y. Taki, Y. Sassa, H. Hashizume, A. Sekiguchi, A. Fukushima y R. Kawshima, «Regional Gray Matter Volume of Dopaminergic System Associated with Creativity: Evidence from Voxel-based Morphometry», *Neuroimage*, 51 (2010), págs. 578-585; Takeuchi, H., Y. Taki, Y. Sassa, H. Hashizume, A. Sekiguchi, A. Fukushima y R. Kawishima, «White Matter Structures Associated with Creativity: Evidence from Diffusion Tensor Imaging», *Neuroimage*, 51 (2010), págs. 11-18. <<

[32] Sandkühler, S. y J. Bhattacharya, «Deconstructing Insight: EEG Correlates of Insightful Problem Solving», *PLoS One*, 3 (2008): E1459. <<

[33] Fink, A., R. H. Grabner, M. Benedek, G. Reishofer, V. Hauswirth, M. Fally, C. Neuper, F. Ebner y A. C. Neubauer, «The Creative Brain: Investigation of Brain Activity During Creative Problem Solving by Means of EEG and FMRI», *Human Brain Mapping*, 30 (2009), págs. 734-748. <<

[34] Carlsson, I., P. E. Wendt y J. Risberg, «On the Neurobiology of Creativity: Differences in Frontal Activity Between High and Low Creative Subjects», *Neuropsychologia*, 38 (2000), págs. 873-875. <<

[35] Fink, A. y M. Benedek, «EEG Alpha Power and Creative Ideation», *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44 (2014), págs. 111-123. <<

[36] Lustenberger, C., M. R. Boyle, A. A. Foulser, J. M. Mellin y F. Fröhlich, «Functional Role of Frontal Alpha Oscillations in Creativity», *Cortex*, 67 (2015), págs. 74-82. <<

[37] Green, A. E., K. A. Spiegel, E. J. Giangrande, A. B. Weinberger, N. M. Gallagher y P. E. Turkeltaub, «Thinking Cap Plus Thinking Zap: TDCS of Frontopolar Cortex Improves Creative Analogical Reasoning and Facilitates Conscious Augmentation of State Creativity in Verb Generation», *Cerebral Cortex* (2016): Bhw080. <<

[38] Lombroso, C., *The Man of Genius*, reimpresión de la edición traducida del original de 1889, CreateSpace Independent Publishing Platform, North Charleston, SC, 2015. <<

[39] Carson, S. H., «Creativity and Psychopathology: A Shared Vulnerability Model», *Canadian Journal of Psychiatry*, 56 (2011) págs. 144-153; Fink, A., M. Benedek, H. F. Unterrainer, I. Papousek y E. M. Weiss, «Creativity and Psychopathology: Are There Similar Mental Processes Involved in Creativity and in Psychosis-proneness?», *Frontiers in Psychology*, 5 (2014). <<

[40] Para una revisión más detallada, véase mi anterior libro: Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[41] Carson, S. H., J. B. Peterson y D. M. Higgins, «Reliability, Validity, and Factor Structure of the Creative Achievement Questionnaire», *Creative Research Journal*, 17 (2005), págs. 37-50; Gough, H. G., «A Creative Personality Scale for the Adjective Check List», *Journal of Personality and Social Psychology*, 37 (1979), págs. 1398-1405. <<

[42] Andreasen, N., «Creativity and Mental Illness: Prevalence Rates in Writers and Their First-degree Relatives», *American Journal of Psychiatry*, 144 (1987), págs. 1288-1292. <<

[43] Kyaga, S., P. Lichtenstein, M. Boman, C. Hultman, N. Långström y M. Landén, «Creativity and Mental Disorder: Family Study of 300,000 People with Severe Mental Disorder», *British Journal of Psychiatry*, 199 (2011), págs. 373-379; Jamison, K. R., «Mood Disorders and Patterns of Creativity in British Writers and Artists», *Psychiatry*, 52 (1989), págs. 125-134. <<

[44] Golimbet, V. E., M. G. Aksenova, V. V. Nosikov, V. A. Orlova y V. G. Kaleda, «Analysis of the Linkage of the Taq1A and Taq1B Loci of the Dopamine D2 Receptor Gene with Schizophrenia in Patients and Their Siblings», *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 33 (2003), págs. 223-225. <<

[45] Keri, S., «Genes for Psychosis and Creativity. A Promoter Polymorphism of the Neuregulin 1 Gene Is Related to Creativity in People with High Intellectual Achievement», *Psychological Science*, 20 (2009), págs. 1070-1073; Hall, J., H. C. Whalley, D. E. Job, B. J. Baig, A. M. McIntosh, K. L. Evans, P. A. Thomson, D. J. Porteous, D. G. Cunningham-Owens, E. C. Johnstone y S. M. Lawrie, «A Neuregulin 1 Variant Associated with Abnormal Cortical Function and Psychotic Symptoms», *Nature Neuroscience*, 9 (2006), págs. 1477-1478; McIntosh, A. M., T. W. Moorhead, D. Job, G. K. Lymer, S. Muñoz Maniega, J. McKirdy, J. E. Sussmann, B. J. Baig, M. E. Bastin, D. Porteous, K. L. Evans, E. C. Johnstone, S. M. Lawrie y J. Hall, «The Effects of a Neuregulin 1 Variant on White Matter Density and Integrity», *Molecular Psychiatry*, 13 (2008), págs. 1054-1059; Barbot, B., M. Tan y E. L. Grigorenko, «The Genetics of Creativity: The Generative and Receptive Sides of the Creativity Equation», en *Neuroscience of Creativity*, O. Vartanian, A. S. Ristol y J. C. Kaufman, eds., MIT Press, Cambridge, MA, 2013, págs. 72-93. <<

[46] Pratt, J. A., C. Winchester, A. Egerton, S. M. Cochran y B. J. Morris, «Modelling Prefrontal Cortex Deficits in Schizophrenia: Implications for Treatment», *British Journal of Pharmacology*, 153 (2008), págs. 465-470; Bearden, C. E., K. M. Hoffman y T. D. Cannon, «The Neuropsychology and Neuroanatomy of Bipolar Affective Disorder: A Critical Review», *Bipolar Disorders*, 3 (2001), págs. 106-150; Anticevic, A., M. S. Brumbaugh, A. M. Winkler, L. E. Lombardo, J. Barrett, P. R. Corlett, H. Kober, J. Gruber, G. Repovs, M. W. Cole, J. H. Krystal, G. D. Pearlson y D. C. Glahn, «Global Prefrontal and Fronto-Amygdala Dysconnectivity in Bipolar I Disorder with Psychosis History», *Biological Psychiatry*, 73 (2013), págs. 565-573; Sheline, Y. I., J. L. Price, Z. Yan y M. A. Mintun, «Resting-State Functional MRI in Depression Unmasks Increased Connectivity Between Networks Via the Dorsal Nexus», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (2010), págs. 11 020-11 025. <<

[47] Xiao, Q., Y. Zhong, D. Lu, W. Gao, Q. Jiao, G. Lu y L. Su, «Altered Regional Homogeneity in Pediatric Bipolar Disorder During Manic State: A Resting-State FMRI Study», *PLoS ONE*, 8 (2013): E57978. <<

[48] Carson, S., «Creativity and Psychopathology», en *Neuroscience of Creativity*, O. Vartanian, A. S. Bristol y J. C. Kaufman, eds., MIT Press, Cambridge, MA, 2013. <<

[49] Whitfield-Gabrieli, S., H. W. Thermenos, S. Milanovic, M. T. Tsuang, S. V. Faraone, R. W. McCarley, M. E. Shenton, A. I. Green, A. Nieto-Castanon, P. la Violette, J. Wojcik, J. D. E. Gabrieli y L. J. Seidman, «Hyperactivity and Hyperconnectivity of the Default Network in Schizophrenia and in First-degree Relatives of Persons with Schizophrenia», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106 (2009), págs. 1279-1284. <<

[50] Véase el enlace a la conferencia TED sobre los efectos de la escuela sobre la creatividad en: **https://www.ted.com/talks/sir_ken_robinson_do_schools_kill_creativity. <<**

[51] Para una amplia revisión de estos programas, véase: DeHaan, R. L., «Teaching Creativity and Inventive Problem Solving in Science», *NCBE Life Sciences Education*, 8 (2009), págs. 172-181. <<

[52] Para una descripción detallada del programa, véase: Bodrova, E. y D. J. Leong, *Tools of the Mind: The Vygotskian Approach to Early Childhood Education*, Pearson, Nueva York, 2006[2]; ver también: http://toolsofthemind.org. <<

[53] Van der Veer, R. y J. Valsiner, eds., *The Vygotsky Reader*, Wiley-Blackwell, Hoboken, NJ, 1994[1]; más sobre el extraño sino de este artículo en: Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006); y en: Goldberg, E., «Thank You for Sharing This Fascinating Material – Very Interesting», *Dubna Psychological Journal*, 5 (2012), págs. 118-120. <<

[54] Diamond, A., W. S. Barnett, J. Thomas y S. Munro, «Preschool Program Improves Cognitive Control», *Science*, 318 (2007), págs. 1387-1388; Diamond, A. y K. Lee, «Interventions Shown to Aid Executive Function Development in Children 4-12 Years Old», *Science*, 333 (2011), págs. 959-964; Blair, C. y C. C. Raver, «Closing the Achievement Gap Through Modification of Neurocognitive and Neuroendocrine Function: Results from a Cluster Randomized Controlled Trial of an Innovative Approach to the Education of Children in Kindergarten», *PLoS One*, 9 (2014): E112393. <<

[55] Más sobre Minerva Schools en: **www.minerva.kgi.edu**; **www.youtube.com/watch?v=5-NRAg0_y1I**. **<<**

[1] Witelson, S. F., D. L. Kigar y T. Harvey, «The Exceptional Brain of Albert Einstein», *The Lancet*, 353 (1999), págs. 2149-2153. <<

[2] Falk, D., F. E. Lepore y A. Noe, «DOI the Cerebral Cortex of Albert Einstein: A Description and Preliminary Analysis of Unpublished Photographs», *Brain* (2012), págs. 1304-1327. <<

[3] Men, W., D. Falk, T. Sun, W. Chen, J. Li, D. Yin, L. Zang y M. Fan, «The Corpus Callosum of Albert Einstein's Brain: Another Clue to His High Intelligence?». *Brain*, 137 (2013), págs. 1-8. <<

[4] Diamond, M. C., A. B. Scheibe, G. M. Murphy y T. Harvey, «On the Brain of A Scientist: Albert Einstein», *Experimental Neurology*, 88 (1985), págs. 198-204. <<

[5] Adrianov, O. S., I. N. Bogolepova, S. M. Blinkov y L. A. Kukuev, «The Study of V. I. Lenin's Brain», [artículo en ruso] *Uspekhi Fiziologicheskikh Nauk*, 24 (1993), págs. 40-52. <<

[6] Más sobre el cerebro de Gauss en: https:/ w ww.mpg.de/7589532/ Carl_ Friedrich_ Gauss_ brain; Schweizer, R., A. Wittmann, J. Frahm, «A Rare Anatomical Variation Newly Identifies the Brains of C. F. Gauss and C. H. Fuchs in a Collection at the University of Gottingen», *Brain*, 137 (2013), págs. 1-2. <<

[7] Dietrich, A. y N. Srinivasan, «The Optimal Age to Start a Revolution», *The Journal of Creative Behavior*, 41 (2007), págs. 54-74. <<

[8] Finn, E. S., X. Shen, D. Scheinost, M. D. Rosenberg, J. Huang, M. M. Chun, X. Papademetris y R. T. Constable, «Functional Connectome Fingerprinting: Identifying Individuals Using Patterns of Brain Connectivity», *Nature Neuroscience*, 18 (2015), págs. 1664-1671; Rosenberg, M. D., E. S. Finn, D. Scheinost, X. Papademetris, X. Shen, R. T. Constable y M. M. Chun, «A Neuromarker of Sustained Attention from Whole-Brain Functional Connectivity», *Nature Neuroscience*, 19 (2016), págs. 165-171. <<

[9] Li, Y., Y. Liu, J. Li, W. Qin, K. Li, C. Yu y T. Jiang, «Brain Anatomical Network and Intelligence», *PLoS Computational Biology*, 5 (2009): E1000395. <<

[10] Smit, D. J., C. J. Stam, D. Posthuma, D. I. Boomsma y E. J. De Geus, «Heritability of "Small-World" Networks in the Brain: A Graph Theoretical Analysis of Resting-State EEG Functional Connectivity», *Human Brain Mapping*, 29 (2008), págs. 1368-1378. <<

[11] Wang, L., C. Zhu, Y. He, Y. Zang, Q. J. Cao, H. Zhang, Q. Zhong y Y. Wang, «Altered Small-World Brain Functional Networks in Children with Attention-DeficitHyperactivity Disorder», *Human Brain Mapping*, 30 (2009), págs. 638-649. <<

[12] Miller, E. M., «Intelligence and Brain Myelination: A Hypothesis», *Personality and Individual Differences*, 17 (1994), págs. 803-832. <<

[13] Fuster, J. M., *The Neuroscience of Freedom and Creativity: Our Predictive Brain*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013, pág. 176. <<

[14] Sowell, E. R., B. S. Peterson, P. M. Thompson, S. E. Welcome, A. L. Henkenius y A. W. Toga, «Mapping Cortical Change Across the Human Life Span», *Nature Neuroscience*, 6 (2003), págs. 309-315; Craik, F. I. M. y E. Bialystok, «Cognition Through the Lifespan; Mechanisms of Change», *Trends in Cognitive Sciences*, 10 (2006), págs. 131-138. <<

[15] Millera, D. J., T. Dukaa, C. D. Stimpson, S. J. Schapiro, W. B. Baze, M. J. McArthur, A. J. Fobbs, A. M. M. Sousa, N. Sestan, D. E. Wildman, L. Lipovich, C. W. Kuzawa, P. R. Hof y C. C. Sherwood, «Prolonged Myelination in Human Neocortical Evolution», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), págs. 116 480-116 485. <<

[16] Marner, L., J. R. Nyengaard, Y. Tang y B. Pakkenberg, «Marked Loss of Myelinated Nerve Fibers in the Human Brain with Age», *Journal of Comparative Neurology*, 462 (2003), págs. 144-152. <<

[17] Raz, N., K. M. Rodrigue y E. M. Haacke, «Brain Aging and Its Modifiers: Insights from in Vivo Neuromorphometry and Susceptibility Weighted Imaging», *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1097 (2007), págs. 84-93. <<

[18] Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[19] Valenzuela, M. J., P. S. Sachdev, W. Wen, R. Shnier, H. Brodaty y D. Gillies, «Dual Voxel Proton Magnetic Resonance Spectroscopy in the Healthy Elderly: Subcortical-Frontal Axonal N-Acetylaspartate Levels Are Correlated with Fluid Cognitive Abilities Independent of Structural Brain Changes», *Neuroimage*, 12 (2000), págs. 747-756. <<

[20] Kantarci, K., C. R. Jack, Y. C. Xu, N. G. Campeau, P. C. O'Brien, G. E. Smith, R. J. Ivnik, B. F. Boeve, E. Kokmen, E. G. Tangalos y R. C. Petersen, «Regional Metabolic Patterns in Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's: A 1H MRS Study», *Neurology*, 55 (2000), págs. 210-217; Patel, S. H., M. Inglese, G. Glosser, D. L. Kolson, R. I. Grossman y O. Gonen, «Whole-Brain N-acetylaspartate Level and Cognitive Performance in HIV Infection», AJNR: *American Journal of Neuroradiology*, 24 (2003), págs. 1587-1591. <<

[21] Nordengen, K., C. Heuser, J. E. Rinholm, R. Matalon y V. Gundersen, «Localisation of N-acetylaspartate in OligodendrocytesMyelin», *Brain Structure and Function*, 220 (2015), págs. 899-917. <<

[22] Alexander, A. L., J. E. Lee, M. Lazar y A. S. Field, «Diffusion Tensor Imaging of the Brain», *Neurotherapeutics*, 4 (2007), págs. 316-329. <<

[23] Westerhausen, R., C. Walter, F. Kreuder, R. A. Wittling, E. Schweiger y W. Wittling, «The Influence of Handedness and Gender on the Microstructure of the Human Corpus Callosum: A Diffusion-Tensor Magnetic Resonance Imaging Study», *Neuroscience Letters*, 351 (2003), págs. 99-102; Westerhausen, R., F. Kreuder, S. Dos Santos Sequeira, C. Walter, W. Woerner, R. A. Wittling, E. Schweiger y W. Wittling, «Effects of Handedness and Gender on Macro-and Microstructure of the Corpus Callosum and Its Subregions: A Combined HighResolution and Diffusion-Tensor MRI Study», *Cognitive Brain Research*, 21 (2004), págs. 418-426. <<

[24] Takeuchi, H., Y. Taki, Y. Sassa, H. Hashizume, A. Sekiguchi, A. Fukushima y R. Kawashima, «White Matter Structures Associated with Creativity: Evidence from Diffusion Tensor Imaging», *Neuroimage*, 51 (2010), págs. 11-18. <<

[25] Moore, D. W., R. A. Bhadelia, R. L. Billings, C. Fulwiler, K. M. Heilman, K. M. J. Rood y D. A. Gansler, «Hemispheric Connectivity and the Visual-Spatial Divergent-Thinking Component of Creativity», *Brain and Cognition*, 70 (2009), págs. 267-272. <<

[26] Torrance, E. P., *Torrance Tests of Creative Thinking*, Scholastic Testing Service, Bensenville, IL, 1966. <<

[27] Gansler, D. A., D. W. Moore, T. M. Susmaras, M. W. Jerram, J. Sousa y K. M. Heilman, «Cortical Morphology of Visual Creativity», *Neuropsychologia*, 49 (2011), págs. 2527-2532. <<

[28] Chi, R. P. y A. W. Snyder, «Facilitate Insight by Non-invasive Brain Stimulation», *PLoS One*, 6 (2011): E16655; Chi, R. P. y A. W. Snyder, «Brain Stimulation Enables the Solution of an Inherently Difficult Problem», *Neuroscience Letters*, 515 (2012), págs. 121-124. <<

[29] Travers, J., *The Puzzle-Mine: Puzzles Collected from the Works of the Late Henry Ernest Dudeney*, Thomas Nelson, Nashville, TN, 1951. <<

[30] Ollinger, M., G. Jones y G. Knoblich, «Investigating the Effect of Mental Set on Insight Problem Solving», *Experimental Psychology*, 55 (2008), págs. 269-282. <<

[31] Jung, R. E., R. Grazioplene, A. Caprihan, R. S. Chavez y R. J. Haier, «White Matter Integrity, Creativity, and Psychopathology: Disentangling Constructs with Diffusion Tensor Imaging», *PLoS One*, 5 (2010): E9818. <<

[32] Kawashima, T., M. Nakamura, S. Bouix, M. Kubicki, D. F. Salisbury, C. F. Westin, R. W. McCarley y M. E. Shenton, «Uncinate Fasciculus Abnormalities in Recent Onset Schizophrenia and Affective Psychosis: A Diffusion Tensor Imaging Study», *Schizophrenia Research*, 110 (2009), págs. 119-126. <<

[33] Rodrigo, S., O. Naggara, C. Oppenheim, N. Golestani, C. Poupon, Y. Cointepas, J. F. Mangin, D. Le Bihan y J. F. Meder, «Human Subinsular Asymmetry Studied by Diffusion Tensor Imaging and Fiber Tracking», *American Journal of Neuroradiology*, 28 (2007), págs. 1526-1531; Park, H. J., C. F. Westin, M. Kubicki, S. E. Maier, M. Niznikiewicz, A. Baer, M. Frumin, R. Kikinis, F. A. Jolesz, R. W. McCarley y M. E. Shenton, «White Matter Hemisphere Asymmetries in Healthy Subjects and in Schizophrenia: A Diffusion Tensor MRI Study», *NeuroImage*, 23 (2004), págs. 213-223. <<

[34] Van Essen, D. C., S. M. Smith, D. M. Barch, T. E. J. Behrens, E. Yacoub, K. Ugurbil y WU-Minn HCP Consortium, «The WU-Minn Human Connectome Project: An Overview», *Neuroimage*, 80 (2013), págs. 62-79. <<

[35] Galton, F., *Hereditary Genius*, Macmillan, Londres, 1869. <<

[36] Ebstein, R. P., O. Novick, R. Umansky, B. Priel, Y. Osher, D. Blaine, E. R. Bennett, L. Nemanov, M. Katz y R. H. Belmaker, «Dopamine D4 Receptor (D4DR) Exon III Polymorphism Associated with the Human Personality Trait of Novelty Seeking», *Nature Genetics*, 12 (1996), págs. 78-80; Benjamin, J., L. Li, C. Patterson, B. D. Greenberg, D. L. Murphy y D. H. Hamer, «Population and Familial Association Between the D4 Dopamine Receptor Gene and Measures of Novelty Seeking», *Nature Genetics*, 12 (1996), págs. 81-84. <<

[37] Munafò, M. R., B. Yalcin, S. A. Willis-Owen y J. Flint, «Association of the Dopamine D4 Receptor (DRD4) Gene and Approach-Related Personality Traits: Meta-Analysis and New Data», *Biological Psychiatry*, 63 (2008), págs. 197-206. <<

[38] Reuter, M., S. Roth, K. Holve y J. Hennig, «Identification of First Candidate Genes for Creativity: A Pilot Study», *Brain Research*, 1069 (2006), págs. 190-197. <<

[39] Manzano, O., S. Cervenka, A. Karabanov, L. Farde y F. Ullen, «Thinking Outside a Less Intact Box: Thalamic Dopamine D2 Receptor Densities Are Negatively Related to Psychometric Creativity in Healthy Individuals», *PLoS One*, 17 (2010). <<

[40] Theusch, E., A. Basu y J. Gitschier, «Genome-wide Study of Families with Absolute Pitch Reveals Linkage to 8q24.21 and Locus Heterogeneity», *American Journal of Human* Genetics, 85, n.º 1 (2009), págs. 112-119. <<

[41] Oikkonen, J., T. Kuusi, P. Peltonen, P. Raijas, L. Ukkola-Vuoti, K. Karma, P. Onkamo y I. Järvelä, «Creative Activities in Music. A Genome-Wide Linkage Analysis», *PLoS One*, 24 (2016), págs. 11(2). <<

[42] Bachner-Melman, R., C. Dina, A. Zohar, N. Constantini, E. Lerer, S. Hoch, S. Sella, L. Nemanov, I. Gritsenko, P. Lichtenberg, R. Granot y R. Ebstein, «AVPR1A and SLC6A4 Gene Polymorphisms Are Associated with Creative Dance Performance», *PLoS Genetics*, 1, n.º 3, (2005), E42. <<

[43] Miller, D. J., T. Duka, C. D. Stimpson, S. J. Schapiro, W. B. Baze, M. J. McArthur, A. J. Fobbs, A. M. M. Sousa, N. Sestand, D. E. Wildman, L. Lipovich, C. W. Kuzawa, P. R. Hof y C. C. Sherwood, «Prolonged Myelination in Human Neocortical Evolution», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (2012), págs. 116 480-116 485. <<

[44] Sun, T., R. V. Collura, M. Ruvolo y C. A. Walsh, «Genomic and Evolutionary Analyses of Asymmetrically Expressed Genes in Human Fetal Left and Right Cerebral Cortex», *Cerebral Cortex*, 16 (2006): I18-i25; Sun, T., C. Patoine, A. Abu-Khalil, J. Visvader, E. Sum, T. J. Cherry, S. H. Orkin, D. H. Geschwind y C. A. Walsh, «Early Asymmetry of Gene Transcription Between Embryonic Human Left and Right Cerebral Cortex», *Science*, 308 (2005), págs. 1794-1798; Sun, T. y C. A. Walsh, «Molecular Approaches to Brain Asymmetry and Handedness», *Nature Reviews Neuroscience*, 7 (2006), págs. 655-662. <<

[45] Davies, G., A. Tenesa, A. Payton, J. Yang, S. E. Harris, D. Liewald, X. Ke, S. Le Hellard, A. Christoforou, M. Luciano, K. McGhee, L. López, A. J. Gow, J. Corley, P. Redmond, H. C. Fox, P. Haggarty, L. J. Whalley, G. McNeill, M. E. Goddard, T. Espeseth, A. J. Lundervold, Ivar Reinvang, A. Pickles, V. M. Steen, W. Ollier, D. J. Porteous, M. Horan, J. M. Starr, N. Pendleton, P. M. Visscher y I. J. Deary, «Genome-wide Association Studies Establish That Human Intelligence Is Highly Heritable and Polygenic», *Molecular Psychiatry*, 16 (2011), págs. 996-1005. <<

[1] Kandel, E., *The Age of Insight: The Quest to Understand the Unconscious in Art, Mind, and Brain, from Vienna 1900 to the Present*, Random House, Nueva York, 2012 (hay trad. cast.: *La era del inconsciente: la exploración del inconsciente en el arte, la mente y el cerebro*, Paidós, Barcelona, 2013). <<

[2] Satizabal, C. L., A. S. Beiser, V. Chouraki, G. Chêne, C. Dufouil y S. Seshadri, «Incidence of Dementia over Three Decades in the Framingham Heart Study», *New England Journal of Medicine*, 374 (2016), págs. 523-532. <<

[3] Manton, K. C., X. L. Gu y S. V. Ukraintseva, «Declining Prevalence of Dementia in the U. S. Elderly Population», *Advances in Gerontology*, 16 (2005), págs. 30-37. <<

[4] Langa, K. M., E. B. Larson, J. H. Karlawish, D. M. Cutler, M. U. Kabeto, S. Y. Kim y A. B. Rosen, «Trends in the Prevalence and Mortality of Cognitive Impairment in the United States: Is There Evidence of a Compression of Cognitive Morbidity?», *Alzheimer's and Dementia*, 4 (2008), págs. 134-144; Langa, K. M., E. B. Larson, E. M. Crimmins, J. D. Faul, D. A. Levine, M. U. Kabeto y D. R. Weir, «A Comparison of the Prevalence of Dementia in the United States in 2000 and 2012», *JAMA Internal Medicine*, 177 (2017), págs. 51-58. <<

[5] Doblhammer, G., A. Fink, S. Zylla y F. Willekens, «Compression or Expansion of Dementia in Germany? An Observational Study of Short-term Trends in Incidence and Death Rates of Dementia Between 2006/07 and 2009/10 Based on German Health Insurance Data», *Alzheimer's Research and Therapy*, 7 (2015), pág. 66. <<

[6] Langa, K. M., «Is the Risk of Alzheimer's Disease and Dementia Declining?», *Alzheimer's Research and Therapy*, 7 (2015), pág. 34; Qiu, C., E. Von Strauss, L. Bäckman, L. B. Winblad y L. Fratiglioni, «Twenty-Year Changes in Dementia Occurrence Suggest Decreasing Incidence in Central Stockholm, Sweden», *Neurology*, 80 (2013), págs. 1888-1994. <<

[7] L. Fratiglioni y H. X. Wang, «Brain Reserve Hypothesis in Dementia», *Journal of Alzheimer's Disease*, 12 (2007), págs. 11-22. <<

[8] Goldberg, E., *The Wisdom Paradox: How Your Mind Can Grow Stronger as Your Brain Grows Older*, Gotham Books, Nueva York, 2004 (hay trad. cast.: *La paradoja de la sabiduría: cómo la mente puede mejorar con la edad*, Crítica, Barcelona, 2006). <<

[9] Raz, N., F. Gunning-Dixon, D. Head, K. M. Rodrigue, A. Williamson y J. D. Acker, «Aging, Sexual Dimorphism, and Hemispheric Asymmetry of the Cerebral Cortex: Replicability of Regional Differences in Volume», *Neurobiology of Aging*, 25 (2004), págs. 377-396; Raz, N., P. Ghisletta, K. M. Rodrigue, K. M. Kennedy y U. Lindenberger, «Trajectories of Brain Aging in Middle-Aged and Older Adults: Regional and Individual Differences», *NeuroImage*, 51 (2010), págs. 501-511. <<

[10] Van Doren, C., *A History of Knowledge: Past, Present, and Future*, reimpresión, Ballantine Books, Nueva York, 1992 (hay trad. cast.: *Breve historia del saber*, Planeta, Barcelona, 2009). <<

[11] James, W., *Is Life Worth Living?*, reimpresión, CreateSpace, North Charleston, SC, 2015. <<

[12] Véase el artículo en línea escrito por Mark Zuckerberg sobre la adquisión de Oculus VR por Facebook: **www.facebook.com/zuck/posts/10101319050523971. <<**

[13] Knight, W., «Microsoft Researchers Are Working on Multi-Person Virtual Reality», *MIT Technology Review* (12 de octubre de 2015): **https://www.technologyreview.com/s/542341/microsoft-researchers-are-working-on-multi-person-virtual-reality/ <<**

[14] Aghajan, Z. M., L. Acharya, J. J. Moore, J. D. Cushman, C. Vuong y M. R. Mehta, «Impaired Spatial Selectivity and Intact Phase Precession in Two-Dimensional Virtual Reality», *Nature Neuroscience*, 18 (2015), págs. 121-128. <<

[15] Sawyer, K., *Group Genius: The Creative Power of Collaboration*, Basic Books, Nueva York, 2008; Sawyer, K., *Explaining Creativity: The Science of Human Innovation*, Oxford University Press, Nueva York, 2012[2]. <<

[16] Hackman, J. R., *Collaborative Intelligence: Using Teams to Solve Hard Problems*, Berrett-Koehler Publishers, San Francsico, CA, 2011; Markova, D. y A. McArthur, *Collaborative Intelligence: Thinking with People Who Think Differently*, Spiegel & Grau, Nueva York, 2015; Contu, D., «Why Teams Don't Work», *Harvard Business Review*, 5 (2009). <<

[17] Cole, S., «Age and Scientific Performance», *American Journal of Sociology*, 84 (1979), págs. 958-977. <<

[18] Stern, N., «Age and Achievement in Mathematics: A Case-study in the Sociology of Science», *Social Studies of Science*, 8 (1978), págs. 127-140. <<

[19] Sobre el uso que hace SAP de equipos de edades variadas, véase: https:/ news.sap.com/young-old-powerful-combination. <<

[20] Csikszentmihalyi, M., *Creativity: The Psychology of Discovery and Invention*, reimpresión, Harper Perennial, Nueva York, 2013. <<

[21] Chiao, J. Y., «Cultural Neuroscience: A Once and Future Discipline», *Progress in Brain Research*, 178, (2009), págs. 287-304; Fincher, C. L., R. Thornhill, D. R. Murray y M. Schaller, «Pathogen Prevalence Predicts Human Cross-Cultural Variability in Individualism/Collectivism», *Proceedings of the Royal Society: B*, 275 (2008), págs. 1279-1285; Adams, R. B., N. O. Rule, R. G. Franklin, E. Wang, M. T. Stevenson, S. Toshikawa, M. Nomura, W. Sato, K. Kveraga y N. Ambady, «Cross-Cultural Reading the Mind in the Eyes: An FMRI Investigation», *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22 (2010), págs. 97-108; Goldberg, E., «Foreword», en *Embodiment and Cultural Differences*, B. M. Pirani y T. S. Smith, eds., Cambridge Scientific Publishers, Cambridge, 2016. <<

[22] Gaines, R. y D. Price-Williams, «Dreams and Imaginative Processes in American and Balinese Artists», *Psychiatric Journal of the University of Ottawa*, 15 (1990), págs. 107-110. <<

[23] Shenk, J. W., *Powers of Two: How Relationships Drive Creativity*, reimpresión, Eamon DolanMariner Books, Nueva York, 2015. <<

[24] Goldberg, E., *The Executive Brain: Frontal Lobes and the Civilized World*, Oxford University Press, Nueva York, 2001; en rústica, 2002 (hay trad. cast.: *El cerebro ejecutivo: lóbulos frontales y mente civilizada*, Crítica, Barcelona, 2004); Goldberg, E., *The New Executive Brain: Frontal Lobes in a Complex World*, Oxford University Press, Nueva York, 2009. <<

[25] Ingalhalikar, M., A. Smith, D. Parker, T. D. Satterthwaite, M. A. Elliott, K. Ruparel, H. Hakonarson, R. E. Gur, R. C. Gur y R. Verma, «Sex Differences in the Structural Connectome of the Human Brain», *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111 (2014), págs. 823-828. <<

[26] Llaurens, V., M. Raymond y C. Faurie, «Why Are Some People Left-Handed? An Evolutionary Perspective», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, B: Biological Sciences*, 364 (2009), págs. 881-894. <<

[27] Witelson, S. F., «The Brain Connection: The Corpus Callosum Is Larger in Left-Handers», *Science*, 229 (1985), págs. 665-668; Gao, Q., J. Wang, C. Yu y H. Chen, «Effect of Handedness on Brain Activity Patterns and Effective Connectivity Network During the Semantic Task of Chinese Characters», *Scientific Reports*, 5 (2015), pág. 18 262; Westerhausen, R., C. Walter, F. Kreuder, R. A. Wittling, E. Schweiger y W. Wittling, «The Influence of Handedness and Gender on the Microstructure of the Human Corpus Callosum: A Diffusion-Tensor Magnetic Resonance Imaging Study», *Neuroscience Letters*, 351 (2003), págs. 99-102; Westerhausen, R., R. F. Kreuder, S. Dos Santos Sequeira, C. Walter, W. Woerner, R. A. Wittling, E. Schweiger y W. Wittling, «Effects of Handedness and Gender on Macro-and Microstructure of the Corpus Callosum and Its Subregions: A Combined High-Resolution and Diffusion-Tensor MRI Study», *Cognitive Brain Research*, 21 (2004), págs. 418-426. <<

[28] Goldberg, E., D. Roediger, N. E. Kucukboyaci, C. Carlson, O. Devinsky, R. Kuzniecky, E. Halgren y T. Thesen, «Hemispheric Asymmetries of Cortical Volume in the Human Brain», *Cortex*, 49 (2013), págs. 200-210. <<

[29] Wooldridge, M., *An Introduction to MultiAgent Systems*, John Wiley & Sons, Nueva York, 2002. <<

[30] Simon, H. A., *The Sciences of the Artificial*, MIT Press, Cambridge, MA, 1996[3] (hay trad. cast.: *Las ciencias de lo artificial*, Comares, Albolote, 2006); Newell, A., J. C. Shaw y H. A. Simon, «The Process of Creative Thinking», en *Contemporary Approaches to Creative Thinking*, H. E. Gruber, G. Terrell y M. Wertheimer, eds., Atherton, Nueva York, 1962, págs. 63-119. <<

[31] Del obituario de Harold Cohen, publicado en **http:/www.aaronshome.com**, donde puede encontrarse información sobre Harold Cohen y pinturas realizadas por AARON. **<<**

[32] Pueden encontrarse algunas de la composiciones de Emily Howell en **www.youtube.com. <<**

[33] McCulloch, W. y W. Pitts, «A Logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity», *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5 (1943), págs. 115-133. <<

[34] Minsky, M. y S. Papert, *Perceptrons: An Introduction to Computational Geometry*, MIT Press, Cambridge, MA, 1969. <<

[35] Hay una amplia revisión en: Levine, D. S., «Neural Network Models of Human Executive Function and Decision Making», en *Executive Functions in Health and Disease*, E. Goldberg, ed., Academic Press, Cambridge, MA, 2017. <<

[36] Marupaka, N. y A. A. Minai, «Connectivity and Creativity in Semantic Neural Networks», *Neural Networks (IJCNN)* (International Joint Conference on Neural Networks, 31 de julio–5 de agosto de 2011). <<

[37] Fuster, J. M., *The Neuroscience of Freedom and Creativity: Our Predictive Brain*, Cambridge University Press, Cambridge, 2013. <<

[38] Scheffler, L., «Which Features Matter How Much When?», presentación en BICA 2016; Thaler, S., «Pattern Turnover Within Synaptically Perturbed Neural Systems», presentación en BICA 2016; Thaler, S., «Creativity Machine Paradigm», en E. G. Carayannis, ed., *Encyclopedia of Creativity, Innovation and Entrepreneurship*, Springer, Nueva York, 2013, págs. 447-456. <<

[39] Manfrè, A., A. Augello, I. Infantino, G. Pilato y F. Vella, «Exploiting Interactive Genetic Algorithms for Creative Humanoid Dancing», presentación en BICA 2016; Augello, A., I. Infantino, A. Manfrè, G. Pilato y F. Vella, «Analyzing and Discussing Primary Creative Traits of a Robotic Artist», presentación en BICA 2016; **www.facebook.com/CRSSLAB <<**

[40] Borovikov, E., I. Zavorin y S. Yershov, «On Virtual Characters That Can See», presentación en BICA 2016. <<

[41] Chernavskaya, O., D. Chernavskii, V. Karp, A. Nikitin y D. Schepetov, «An Architecture of Thinking System Within the Dynamic Theory of Information», BICA, 12 (2015), págs. 144-154; Chernavskaya, O., D. Chernavskii y Y. Rozhylo, «A Hypothesis on the Nature of "Aesthetic" Emotions and the Concept of "Masterpiece"», presentación en BICA 2016. <<

[*] Traducción de la expresión «punctuated equilibrium», acuñada por Eldredge y Gould en un artículo de 1972, que en castellano se traduce y usa a menudo con el neologismo «equilibrio puntuado». *(N. del t.)* <<

[*] A menudo transcrito como Alexander Luria. *(N. del t.)* <<

[*] «Brave new», en el original, por referencia a la novela de Aldous Huxley *Brave New World*, traducida al castellano como *Un mundo feliz*, pero que literalmente significa «valiente nuevo mundo». La expresión «brave new world» ya aparece en *La tempestad* de Shakespeare, aunque con otro sentido. *(N. del t.)* <<

[*] En un acontecimiento que algunos calificarían de justicia poética, Moniz recibió un disparo de un paciente paranoico y pasó el resto de su vida confinado en una silla de ruedas. Irónicamente, el paciente en cuestión no había sufrido una lobotomía frontal, en cuyo caso habría carecido de la capacidad mental suficiente para realizar el vil acto. <<

[*] Traduzco así la palabra inglesa *salience*, que en ocasiones se traslada al castellano mediante el neologismo «saliencia». *(N. del t.)* <<

[*] Goldberg emplea como ejemplos las voces inglesas *guesstimate* y *frenemies*, que hemos sustituido por «friki» y «chatear», que mantienen el sentido del texto. *(N. de la e.)* <<

[*] En el ámbito de la neurociencia cognitiva, la «neurona de la abuela» (*grandmother cell*) representa una hipotética neurona especializada en el tratamiento de estímulos complejos pero específicos, como el reconocimiento de la propia abuela. *(N. del t.)* **<<**

[*] La evolución cultural de las creencias religiosas es un buen ejemplo. En sus formas más tempranas, animistas, lo sobrenatural prácticamente imitaba a lo natural: se postulaba una deidad distinta (o un «espíritu» o lo que fuera) para cada tipo de cosa, desde un árbol a un riachuelo o una piedra. Tras múltiples iteraciones, fueron evolucionando constructos cada vez más abstractos y apartados de la realidad física concreta, un proceso que culminó con ideas como el monoteísmo (aunque todavía con una multitud de profetas, santos, apóstoles y ángeles como telón de fondo, como vestigios de abstracciones previas). La evolución iterativa y jerárquica de «ficciones sociales» se parece mucho a la naturaleza generativa del lenguaje (aunque estos dos tipos de procesos se dan a muy distintas escalas de tiempo), y una corteza prefrontal bien desarrollada es esencial en ambos casos. <<

[*] Las denominaciones y acrónimos en inglés son, respectivamente, Central Executive Network (CEN), Default Mode Network (DMN) y Salience Network (SN). La RND también se traduce al castellano como red por defecto o red de modo automático, mientras que la SN se traduce también como red de prominencia. *(N. del t.)* <<

[*] Macaco rhesus. *(N. del t.)* <<

[*] El término original en inglés es *salience*, que se suele traducir como *relevancia* o *prominencia*, aunque a veces se usa el neologismo *saliencia*. La ambigüedad a la que se refiere el autor se refleja también en la definición de *relevante*, que en el Diccionario de la Real Academia Española tiene dos acepciones: 1. Sobresaliente, destacado, y 2. Importante, significativo. *(N. del t.)* <<

[*] El término «punding» fue introducido en la literatura científica por el psiquiatra forense sueco G. Rylander en 1968. Lo tomó prestado de la jerga de los adictos a la metanfetamina (en sueco viene a significar «tarugo»), quienes lo usaban para describir los comportamientos repetitivos y sin propósito que solían desarrollar. *(N. del t.)* <<

[*] Y, naturalmente, en castellano, en el que *siniestro/a* significa tanto *izquierda* (del vasco *ezkerra*) como *avieso* o *aciago*. *(N. del t.)* <<

[*] La cita original es: «Parmi les combinaisons que l'on choisira, les plus fécondes seront souvent celles qui sont formées d'éléments empruntés à des domaines très éloignés», *Science et méthode* (1908). *(N. del t.)* <<

[*] Pájaro natural de Australasia (*Taeniopygia guttata*). *(N. del t.)* <<

[*] En concreto, el control genético parece ser del 46-89 % para los coeficientes de agregación (*clustering coefficients*, índices de interconectividad local o «*cliquishness*») y del 37-62 % para la longitud promedio de las vías (un índice de interconectividad global). **<<**

[*] Las siglas DSM del dibujo hacen referencia (en inglés) al Manual de diagnóstico y estadístico de los trastornos mentales. *(N. del t.)* <<

[*] Es decir, polimorfismos (variantes) de los genes *DRD2* y *TPH*. *(N. del t.)* <<

[*] En rigor, localizacions (*loci*) en los cromosomas 7, 8 y 9. (*N. del t.*).
<<

[*] Friedman, Thomas, *La Tierra es plana: breve historia del mundo globalizado del s. XX*, Martínez Roca, Madrid, 2013. <<