

DRAKONTOS

Carl Sagan

El cerebro de Broca

Reflexiones sobre el
apasionante mundo
de la ciencia



DK

CRÍTICA

EL CEREBRO de BROCA

Reflexiones sobre el apasionante mundo de la ciencia

Carl Sagan

Traducción de
castellana de Domènech Bergadà

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: 1994, Editorial Crítica
Primera edición en esta presentación: marzo de 2015

El cerebro de Broca
Carl Sagan

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Broca's Brain, Reflections on the Romance of Science*

© 1974, 1975, 1976, 1978, 1979: Carl Sagan
© de la traducción, 1994: Domènec Bergadà (caps. 1 a 7) y José Chabás (caps. 8 a 25)

© Editorial Planeta S. A., 2015
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es
www.espacioculturalyacademico.com

ISBN: 978-84-9892-804-4
Depósito legal: B: 2489 - 2015
2015. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A.

El cerebro de Broca

—Ayer, sólo eran monos. Dales tiempo.

—Pues si eran monos, quien tuvo retuvo...

—No, esta vez será diferente... Vuelve dentro de alrededor de un siglo y verás...

Los dioses, hablando de la Tierra, en la versión cinematográfica del libro de H. G. WELLS, *El hombre que podía hacer milagros* (1936)

En cierto sentido, el Musée de l'Homme no se diferenciaba de muchos otros. Situado sobre un suave promontorio, desde su restaurante podía captarse una hermosa perspectiva de la torre Eiffel. Estábamos allí para conversar con Yves Coppens, eminente paleoantropólogo y competente director adjunto del museo. Coppens ha estudiado nuestros ancestros, cuyos fósiles proceden de la garganta de Olduvai, en Kenia y Tanzania, y del lago Turkana, en Etiopía. Hace unos dos millones de años vivían en el este de África unas criaturas a las que denominamos *Homo habilis*, de una estatura aproximada de 1,20 metros, que construían y utilizaban herramientas de piedra, que quizá llegaban a construir viviendas muy simples y cuyos cerebros, a lo largo de un espectacular proceso de acrecentamiento, llegarían a transformarlos en lo que somos hoy en día.

Las instituciones museísticas de este tipo tienen un rostro público y otro privado. La vertiente pública incluye los materiales etnográficos y de antropología cultural expuestos al visitante: vestidos de mongoles o telas pintadas por nativos americanos, algunas quizá preparadas especialmente para que las compraran los *voyageurs* y los emprendedores antropólogos franceses. Pero en su trastienda se albergan otras muchas cosas: gente encargada de preparar las diferentes exposiciones; vastas salas que sirven de almacén a objetos inadecuados para su presentación al público, ya sea por el tema que tratan o por razones de espacio; áreas en las que trabaja el personal dedicado a la investigación. Fuimos conducidos a través de oscuros laberintos y mohosas salas, que iban desde angostos cubículos a amplias rotondas. En

los pasillos se amontonaban materiales de investigación: una reconstrucción del suelo de una cueva paleolítica en la que se mostraba el lugar donde habían sido arrojados los huesos de antílope tras la comida del día; estatuillas priápicas de madera procedentes de la Melanesia; utensilios de comida delicadamente decorados; grotescas máscaras ceremoniales; azagayas de Oceanía; un mohoso cartel representando a una esteatopigia mujer de África; un lóbrego y húmedo almacén lleno hasta el techo de los más diversos instrumentos musicales, desde instrumentos de cuerda con calabazas como cajas de resonancia, flautas de Pan hechas con caña, cajas de percusión con pieles de diversos animales y otras innumerables muestras de los indomables impulsos que siempre ha sentido el hombre hacia la creación musical.

Aquí y allí podían verse unas pocas personas ocupadas en labores de investigación, cuyo porte y maneras distantes y respetuosas contrastaban vivamente con la cordial capacidad bilingüe de Coppens. Obviamente, la mayor parte de las salas estaban destinadas al almacenamiento de materiales antropológicos recogidos y coleccionados durante más de un siglo. Se tenía la sensación de transitar por un museo de segundo orden en el que se habían recogido materiales no tanto porque tuvieran demasiado interés sino porque tal vez lo habían tenido en otros tiempos pretéritos. Podía percibirse en el ambiente la presencia de los directores del museo durante el siglo XIX, cubiertos con sus levitas, ocupados básicamente en trabajos de *goniometrie* y *craniologie*, febrilmente entregados a coleccionarlo y medirlo todo con la pía esperanza de que la mera cuantificación podía llevarles hasta la comprensión de los interrogantes planteados.

Aún existía otra zona del museo más recóndita, una extraña mezcla de activo centro de investigación y de vitrinas, armarios y anaqueles franca y totalmente abandonados. Aquí, la reconstrucción de un esqueleto articulado de orangután. Allí, una amplia mesa cubierta de cráneos humanos pulcramente clasificados. Más allá, un cajón lleno de fémures apilados en la alacena del material del conserje de una escuela. Existía también una demarcación donde se alineaban restos neanderthalienses, entre ellos el primer cráneo reconstruido de un hombre de Neanderthal, obra de Marcellin Boule. Tomé con todo cuidado la pieza entre mis manos. Daba la sensación de objeto ligero y delicado; las suturas eran perfectamente visibles. Quizá me hallaba ante la primera prueba empírica indiscutible de que en épocas lejanas existieron criaturas muy semejantes a nosotros, criaturas que se habían extinguido, y cuya desaparición venía a alzarse como inquietante sugerencia de que tal vez nuestra especie no sobrevivirá por los siglos de los siglos. También había allí una estantería donde se alineaban dientes de varios tipos de homínidos, entre los que se incluían los grandes molares trituradores del *Australopithecus robustus*, un contemporáneo del *Homo habilis*. En otro rincón, una colección de cajas con cráneos de Cro-Magnon se apilaban limpios y en perfecto orden como leña dispuesta para un hogar. Todo este conjunto de reliquias

eran los razonables y en cierto modo imprescindibles fragmentos probatorios que habían permitido reconstruir parte de la historia de nuestros ancestros y parientes colaterales.

En el fondo de la sala había otras colecciones más macabras y turbadoras. Una vitrina encerraba dos cabezas de reducidas dimensiones con un aire burlón en sus muecas; unos correosos labios vueltos hacia arriba dejaban al descubierto hileras de dientes puntiagudos y diminutos. A su lado, múltiples frascos herméticamente cerrados encerraban pálidos embriones y fetos humanos bañados en un sombrío fluido verdoso. La mayor parte de los especímenes eran normales, aunque ocasionalmente la mirada podía detenerse ante alguna inesperada anomalía como, por ejemplo, un par de siameses unidos por el esternón o un feto con dos cabezas y sus cuatro ojos herméticamente cerrados.

Pero aún había más. Una hilera de amplios frascos cilíndricos que albergaban, para mi asombro, cabezas humanas perfectamente conservadas. Un hombre de enormes mostachos rojos, de poco más de veinte años y originario, como indicaba la etiqueta adjunta, de Nueva Caledonia. Quizá se tratase de un marinero que se había embarcado rumbo a los trópicos donde tras ser capturado perdería la vida; su cabeza se había convertido involuntariamente en objeto de estudio científico. Más allá, tres cabezas de niño en un mismo recipiente, quizá como simple medida económica. Hombres, mujeres y niños de ambos sexos y múltiples razas, cuyas cabezas habían llegado hasta Francia para, quizá tras un breve estudio inicial, consumirse en un rincón del Musée de l'Homme. Y yo me preguntaba ante tal espectáculo, ¿en qué condiciones debió producirse el embarque de las cajas cargadas con cabezas en conserva? ¿Acaso los oficiales de los buques especularon a la hora del café acerca del contenido de la carga almacenada en las bodegas? ¿Tal vez les traía sin cuidado el asunto ya que las cabezas no eran casi nunca de blancos europeos como ellos? ¿Acaso bromeaban en torno a la carga para demostrar un cierto distanciamiento emocional, mientras que en privado no dejaban de sentir un cierto remordimiento ante los horrores que transportaban? Una vez llegadas a París las colecciones, ¿fueron recibidas por científicos activos y sistemáticos que dirigían con eficacia las operaciones de transporte y almacenamiento de los cargamentos de cabezas? ¿Estaban impacientes por desprecintar los frascos y proceder a la medición de los cráneos humanos con sus calibradores? ¿Acaso el responsable de la colección, fuera quien fuese, asumía su trabajo con entusiasmos y arrogancia libres de todo objetivo secundario?

Siguiendo mi visita, llegamos al rincón más recóndito de esta ala del museo. Y allí descubrí una colección de retorcidos objetos grisáceos nadando en formalina a fin de retardar su descomposición: se trataba de un conjunto de anaqueles con cerebros humanos. Alguien se había ocupado de practicar rutinarias craneotomías en cadáveres de personalidades con objeto de

extirpar sus cerebros en beneficio del progreso científico. Allí estaba el cerebro de un intelectual europeo que había alcanzado renombre momentáneo antes de marchitarse en aquellas polvorientas estanterías. Acullá el cerebro de un convicto asesino. Qué duda cabe, los científicos de la época esperaban que pudiese existir alguna anomalía, algún indicio revelador, en la anatomía cerebral o en la configuración craneana de los asesinos. Quizá esperaban demostrar que el asesino lo creaban influencias hereditarias y no sociales. La frenología fue una desgraciada aberración del siglo XIX. Puedo oír a mi amiga Ann Druyan afirmando: «la gente a la que matamos de hambre y torturamos tiene una tendencia antisocial a robar y matar. Y creemos que actúan de ese modo a causa de su prominente entrecejo». Pero lo cierto es que no hay modo de distinguir entre los cerebros de los asesinos y los de los sabios (los restos del cerebro de Albert Einstein están, recordémoslo de pasada, flotando en un frasco depositado en la Universidad de Wichita). Es indudable que quien hace a los criminales no es la herencia sino la sociedad.

Mientras escudriñaba la colección sumido en similares meditaciones, mi vista se sintió atraída por la etiqueta unida a uno de estos frascos cilíndricos. Tomé el recipiente del anaquel y lo examiné de cerca. En la etiqueta podía leerse *P. Broca*. Tenía en mis manos el cerebro de Broca.

Paul Broca fue cirujano, neurólogo y antropólogo, una de las figuras más prominentes de la medicina y la antropología del siglo pasado. Realizó importantes trabajos en el estudio de la patología cancerosa y en el tratamiento de los aneurismas, así como una contribución esencial a la comprensión de los orígenes de la afasia, nombre con que se designa todo menoscabo de la habilidad para articular ideas. Broca fue un hombre brillante y apasionado, con una ferviente dedicación al tratamiento médico de las capas sociales más míseras. Al amparo de la noche y con riesgo de su propia vida, consiguió en cierta ocasión sacar clandestinamente de París en una carreta tirada por caballos sesenta y tres millones de francos dentro de unas maletas escondidas bajo montones de patatas; se trataba de dinero de los fondos de la Asistencia Pública que, según su opinión, corrían peligro de inminente pillaje. Fue el fundador de la moderna cirugía cerebral. Asimismo, se dedicó al estudio del problema de la mortalidad infantil. Hacia el final de su vida fue nombrado senador.

Como ha indicado uno de sus biógrafos, amaba por encima de todo el sosiego y la tolerancia. En 1848 fundó una sociedad de «librepensadores». Fue uno de los pocos científicos franceses de su época que mostraron adhesión a la tesis darwiniana de la evolución a través de la selección natural entre las especies. T. H. Huxley, «el perro guardián de Darwin», señalaría que la simple mención del nombre de Broca llenaba su espíritu de un sentimiento de gratitud, y se atribuye a Broca la afirmación de que «prefiero ser un mono transformado que un hijo degenerado de Adán». Por tales ideas y

otros puntos de vista similares fue denunciado por «materialismo» y por corruptor de la juventud, como lo fuera siglos antes Sócrates. Sin embargo, recibió la nominación de senador.

Muchos años antes, Broca había tenido enormes dificultades para crear en Francia una asociación dedicada al estudio de la antropología. El ministro de Instrucción Pública y el prefecto de Policía albergaban la creencia de que la antropología podía ser, como todo intento encaminado a profundizar en el conocimiento de los seres humanos, innatamente subversiva para los intereses del Estado. Cuando por fin y a regañadientes Broca obtuvo autorización para hablar con dieciocho colegas de su campo común de intereses científicos, el prefecto de Policía le recordó que le haría personalmente responsable de todo cuanto pudiera decirse en tales reuniones «contra la sociedad, la religión o el gobierno». A pesar de todo, el estudio de los seres humanos se consideraba tan peligroso en aquellos tiempos que la policía envió a todas las reuniones a un espía con amenaza explícita de que la autorización para celebrar tales reuniones sería revocada de inmediato si el delegado gubernativo se escandalizaba o consideraba delictiva cualquier afirmación vertida en ellas. Tales fueron las circunstancias bajo las que celebraba su primera reunión la Sociedad de Antropología de París el 19 de mayo de 1859, el mismo año en que se publicó la primera edición de *El origen de las especies*. En reuniones sucesivas iba a discutirse sobre una amplia gama de temas —arqueología, mitología, fisiología, anatomía, medicina, psicología, lingüística e historia—, y fácil es imaginar al espía gubernativo dormitando en un rincón de la sala durante la mayor parte de las sesiones. Según explica Broca, en cierta ocasión el espía sintió ganas de dar un pequeño paseo y preguntó si podía abandonar la sala con la garantía de que en su ausencia no iba a tratarse ningún asunto lesivo para el Estado. «No, no, amigo mío —le respondió Broca—, usted no puede irse a dar ninguna vuelta. Siéntese y justifique su sueldo.» Pero no sólo era la policía la que mostraba en Francia por aquel entonces oposición al desarrollo de la antropología, sino también el clero, y en 1876 el Partido Católico Romano organizó una gran campaña contra las enseñanzas del Instituto de Antropología de París fundado por Broca.

Paul Broca falleció en 1880, quizá a causa de un tipo de aneurisma muy similar al que tan brillantemente había estudiado. Cuando le sorprendió la muerte estaba trabajando en un minucioso estudio de la anatomía cerebral. Broca fundó las primeras sociedades profesionales, escuelas de investigación y revistas científicas de la antropología francesa moderna. Los especímenes de su laboratorio personal fueron incorporados al que durante años recibiría el nombre de Musée Broca. Posteriormente pasarían a integrarse en el más amplio Musée de l'Homme.

Fue el propio Broca, cuyo cerebro tenía yo ahora en mis manos, quien creó la macabra colección que había estado contemplando. Habían sido ob-

jeto de su estudio embriones y monos, gentes de todas las razas, midiéndolo todo enloquecidamente en un supremo esfuerzo por comprender la naturaleza profunda del ser humano. Y a pesar del aspecto presente de la colección y de mis recelos, no fue, al menos de acuerdo con los patrones de su tiempo, más patriotero o más racista que otros y ciertamente no ofreció un apoyo incondicional al racismo con sus teorías y menos aún con sus actos. El científico frío, poco cuidadoso y desapasionado no toma en consideración las consecuencias humanas que puedan derivarse de su trabajo. Broca siempre las tuvo muy en cuenta.

En la *Revue d'Anthropologie* de 1880 se recoge una bibliografía exhaustiva de los escritos de Broca. Entre sus títulos, que tuve ocasión de hojear algún tiempo después, puede rastrearse el origen de la colección que acababa de contemplar: «Sobre el cráneo y el cerebro del asesino Lamaire», «Presentación del cerebro de un gorila macho adulto», «Sobre el cerebro del asesino Prévost», «Sobre la supuesta heredabilidad de características accidentales», «La inteligencia de los animales y el dominio de los humanos», «El orden de los primates: paralelos anatómicos entre hombres y monos», «El origen del arte de obtener fuego», «Sobre monstruos dobles», «Discusión en torno a los microcefálicos», «Trepanaciones prehistóricas», «Sobre dos casos de desarrollo de un dedo supernumerario en la edad adulta», «Las cabezas de dos nuevacaledonianos» y «Sobre el cráneo de Dante Alighieri». Desconozco el lugar donde pueda hallarse actualmente el cráneo del autor de *La divina comedia*, pero la colección de cerebros, cráneos y cabezas que me rodeaban constituye sin duda alguna los primeros pasos del trabajo de investigación realizado por Paul Broca.

Broca fue un extraordinario anatomista cerebral y efectuó importantes investigaciones sobre la región límbica, conocida inicialmente con el nombre de rinencéfalo (el «cerebro olfativo»), zona que como sabemos hoy en día se halla estrechamente vinculada a las emociones humanas. Pero quizá su trabajo más celebrado en nuestros días sea el descubrimiento de una pequeña región ubicada en la tercera circunvolución del lóbulo frontal izquierdo de la corteza cerebral, la que en honor de su descubridor denominamos hoy área de Broca. Tomando como punto de partida un escaso número de pruebas experimentales, Broca puso al descubierto que dicha zona del cerebro controla la emisión articulada del lenguaje y se erige como la sede fundamental de tan característica actividad humana. El área de Broca fue uno de los primeros descubrimientos que puso de manifiesto la separación de funciones existentes entre ambos hemisferios cerebrales. Y algo aún más importante, fue una de las primeras pruebas sólidas de la existencia de funciones cerebrales específicas localizadas en zonas muy precisas del cerebro, de que existe una conexión entre la anatomía cerebral y sus diferentes actividades concretas, actividades que a veces suelen calificarse como «mentales».

Ralph Holloway es un investigador de la Universidad de Columbia dedicado al estudio de la antropología física cuyo laboratorio imagino que puede guardar ciertas similitudes con el de Broca. Holloway ha construido con goma de látex unos moldes de cavidades craneales de seres humanos y otros afines, pasados y presentes, con objeto de intentar reconstruir, a partir de las huellas superficiales dejadas por la superficie interna del cráneo, la evolución histórica del cerebro. Holloway sostiene que para poder hablar de criatura humana es imprescindible la presencia en su cerebro de un área de Broca, ofreciéndonos pruebas de la aparición de un primer esbozo de la misma en el cerebro del *Homo habilis* unos dos millones de años atrás, justo en el momento en que aparecen las primeras construcciones y herramientas humanas. En este punto concreto, la perspectiva frenológica no carece de sentido. Parece sumamente verosímil que el pensamiento y el trabajo humanos tuvieran un desarrollo paralelo al de la palabra articulada, de manera que el área de Broca puede considerarse como una de las sedes fundamentales de nuestra humanidad en la medida en que, sin la menor duda, nos permite delinear la relación que nos vincula con nuestros antepasados en su progresión hasta alcanzarla.

Y ahí estaba, flotando ante mis ojos, nadando a trozos en un mar de formalina, el cerebro de Broca. Podía observar la región límbica que Broca había estudiado en otros, las circunvoluciones del neocórtex, incluso el lóbulo frontal izquierdo de color gris blancuzco donde tiene su asiento el área que toma su nombre del de su descubridor, pudriéndose inadvertidamente en un triste rincón de la colección que iniciara el propio Broca.

Era difícil sostener el cerebro de Broca sin tener la sensación de que, en alguna medida, todavía estaban allí, presentes, su ingenio, su talante escéptico, sus abruptas gesticulaciones al hablar, sus momentos de quietud y sentimentalismo. ¿Acaso se hallaba preservada ante mí, en la configuración neuronal, una recolección de los triunfales momentos en que defendía ante una asamblea conjunta de facultades de medicina (y ante su padre, henchido de orgullo) su teoría sobre los orígenes de la afasia? ¿O tal vez una comida en compañía de su amigo Víctor Hugo? ¿Quizás un paseo a la luz de la luna en un atardecer otoñal a lo largo del Quai Voltaire y el Pont Royal en compañía de su esposa? ¿Adónde vamos a parar después de morir? ¿Acaso Paul Broca estaba todavía ahí, en un frasco lleno de formalina? Tal vez hubiese desaparecido todo rastro de memoria, aunque las investigaciones contemporáneas sobre la actividad cerebral proporcionan pruebas convincentes de que un cierto tipo de memoria queda redundantemente almacenada en numerosos y diferentes lugares de nuestro cerebro. Cuando en un futuro se produzcan avances substanciales en el terreno de la neurofisiología, ¿podremos, tal vez, reconstruir las memorias o intuiciones de alguien fallecido tiempo ha? Por lo demás, ¿parece deseable tal perspectiva? Equivaldría a la pérdida del último bastión de nuestra privacidad, aunque también cabe tener en cuenta

que equivaldría a un cierto tipo de inmortalidad efectiva pues, y especialmente para hombres de la talla de Broca, es indudable que la mente constituye algo así como la esencia de su entidad física y psíquica.

Dado el carácter de los materiales acumulados en esta recóndita y olvidada sala del Musée de l'Homme me sentí de inmediato inclinado a atribuir a los creadores de la colección —por entonces desconocía aún que hubiese sido Broca— un manifiesto e innegable sexismo, racismo y patrioterismo, una profunda resistencia ante la idea de una estrecha interrelación entre los seres humanos y los demás primates. Y en parte eso era indudable. Broca fue un humanista del siglo XIX, si bien no había conseguido desprenderse de los prejuicios y enfermedades sociales que agostaban a la humanidad de su tiempo. Broca creía en la superioridad de los hombres frente a las mujeres y en la de los blancos frente a las demás razas. En tal contexto, incluso su conclusión de que los cerebros alemanes no eran significativamente diferentes de los franceses no era más que una refutación de la defensa por parte de los teutónicos de su superioridad frente a los galos. Con todo, el científico francés sostuvo la existencia de profundas vinculaciones entre la fisiología cerebral de gorilas y hombres. Broca, fundador de una sociedad de libre-pensadores en su juventud, creía en la necesidad e importancia de una investigación libre de trabas y dedicó buena parte de su vida a la consecución de tal objetivo. El fracaso de tales ideales pone de manifiesto que, incluso para alguien como Broca que no escatimó esfuerzos en favor de la libertad de investigación, era en realidad muy sencillo apartarse de los mismos a causa de un fanatismo e intolerancia endémicos. La sociedad puede llegar a corromper al mejor de los hombres. Considero injusto criticar a alguien por no haber compartido las ideas progresistas que están gestándose en su tiempo, aunque no por ello deja de ser tremendamente desalentador que los prejuicios retrógrados lleguen a tener tan tremenda fuerza persuasiva. Este tema plantea enojosas incertidumbres acerca de qué ideas vistas en nuestra época como verdades convencionales genéricamente aceptadas llegarán a considerarse fanatismo gratuito nuestros inmediatos sucesores. Creo, pues, que el mejor modo de pagar a Paul Broca la deuda que tan involuntariamente nos legó con su ejemplo consiste en discutir profunda y seriamente nuestras creencias más fuertemente arraigadas.

Estos frascos olvidados en un rincón y su espantoso contenido fueron coleccionados, por lo menos parcialmente, desde una perspectiva humanista, y quizá en un futuro, cuando el estudio del cerebro humano haya avanzado de forma substancial, vuelvan a mostrarse como materiales útiles para la investigación. Por mi parte, desearía conocer algo más acerca de aquel bigotudo marinero cuya cabeza fue trasladada a París desde Nueva Caledonia.

Pero la contemplación de esta especie de cámara de los horrores evoca de inmediato y espontáneamente otros pensamientos perturbadores. Ante todo, no podemos evitar un intenso sentimiento de simpatía hacia seres cuya

existencia nos es recordada de modo tan indecoroso, y muy especialmente hacia aquellas personas muertas en su juventud o con sufrimiento. Los caníbales originarios del noroeste de Nueva Guinea usan para la construcción de las jambas y dinteles de sus viviendas amontonamientos de calaveras. Quizá sean estos los mejores materiales para construcción de que disponen, pero los arquitectos del país no pueden ignorar por completo el terror que desencadenan sus construcciones en los viajeros desprevenidos. Las SS de Hitler, los Ángeles del Infierno, los chamanes, los piratas, e incluso los embotelladores de yodo, han usado el símbolo de la calavera con el propósito evidente de despertar sentimientos de terror. Se trata de algo perfecta y totalmente coherente. Cuando me encuentro en una habitación llena de calaveras es bastante probable que ande alguien por los alrededores, quizá una manada de hienas, tal vez un tétrico y activo decapitador cuya ocupación o distracción es coleccionar cráneos humanos. Tan inquietantes compañías deben evitarse o, de ser posible, proceder a su eliminación. La comezón del cabello sobre mi nuca, la aceleración del pulso y de los latidos del corazón y un pegajoso y gélido sudor han sido generados por el proceso evolutivo para que me apreste a combatir o a emprender la huida. Quienes evitan la decapitación dejan tras de sí mayor descendencia. Por tanto, experimentar tales sensaciones de miedo constituye una clara ventaja desde una perspectiva evolucionista. Pero aún resulta más terrorífico encontrarse en una habitación repleta de cerebros, como si algún monstruo moral indescriptible armado con espantosas cuchillas y espátulas se arrastrara y babeara por los tejados del Musée de l'Homme.

No obstante, creo que nuestras sensaciones dependen en buena medida de los propósitos que han dirigido la creación de tan macabra colección. Si el objetivo es la investigación científica, si los restos humanos han sido seccionados *post mortem* —y muy especialmente si han sido obtenidos con el consentimiento previo de aquellas personas a quienes pertenecieran en vida—, puede pensarse que el daño ocasionado es poco y que, a la larga, tal vez incluso quepa pensar que redundarán en beneficio de la humanidad. Pero a pesar de todas estas consideraciones, no consigo tener la plena seguridad de que los científicos actúen por motivaciones ajenas totalmente a las que rigen el comportamiento de los caníbales de Nueva Guinea. ¿Acaso no suelen decir ante el nerviosismo de cualquier observador: «Vivo cotidianamente rodeado por estas cabezas, y es algo que no me molesta: por qué le producen a usted tales náuseas»?

Leonardo y Vesalio tuvieron que recurrir al cohecho y al secreto para poder llevar a cabo sus primeras disecciones sistemáticas de seres humanos en Europa a pesar de que siglos antes hubiese existido una floreciente y capaz escuela de anatomía en la antigua Grecia. La primera persona que localizó desde perspectivas neuroanatómicas la inteligencia humana en la cabeza

fue Herófilo de Calcedonia, médico griego cuya actividad alcanza su cenit alrededor del 300 a.C. Herófilo fue también el primero en distinguir entre nervios motores y sensoriales y efectuó el estudio más completo de la anatomía cerebral intentado hasta el Renacimiento. Indudablemente, no faltaron objetores a sus repugnantes predilecciones experimentales. Existe un oculto temor, que se hace explícito en la famosa leyenda de Fausto, a «conocer» ciertas cosas, que determinados interrogantes son demasiado peligrosos para que puedan desvelarlos los seres humanos. Hay un claro ejemplo en nuestros días, el desarrollo del armamento nuclear, ya que si nos falta prudencia y suerte puede constituir un claro ejemplo de los peligros apuntados. Pero en el caso de los experimentos sobre el cerebro nuestros temores son bastante menos intelectuales. Se trata de experimentos que hincan sus raíces en lo más profundo de nuestro pasado evolutivo, evocan imágenes de jabalíes y salteadores de caminos que aterrizaraban a viajeros y poblaciones rurales en la antigua Grecia ante el peligro más que probable de mutilaciones procrústicas u otras crueldades hasta que algún héroe, fuese Teseo o Hércules, les despachara sin mayor esfuerzo. Los mencionados temores han desempeñado en épocas pretéritas una función adaptativa y francamente útil. Sin embargo, creo que en nuestros días constituyen un bagaje básicamente emocional. Como científico que ha escrito sobre el cerebro humano, me interesó detectar mientras contemplaba la colección reunida por Broca tal tipo de sentimientos ocultos en mi interior. Y tales temores son indudablemente valiosos.

Toda investigación trae consigo algún elemento de riesgo. No existe garantía alguna de que el universo llegue a ajustarse a nuestras predisposiciones. Sin embargo, no veo otra forma de ocuparnos de él, tanto del universo inmediato como del exterior a nosotros, que sometiéndolo a estudio. El mejor medio que tiene la humanidad para evitar todo tipo de abusos es adquirir una educación científica que le permita comprender las derivaciones que trae consigo todo programa de investigación. Como contrapartida a la libertad de investigación, los científicos tienen la obligación de explicar a la opinión pública la naturaleza de su trabajo. Si se considera a la ciencia como un sacerdocio cerrado, demasiado difícil y arcano para ser comprendido por el hombre de la calle, los peligros de abuso son enormes. La ciencia es un tema de interés general y nos afecta a todos sin exclusión. Al discutir de forma regular y con competencia sus objetivos y consecuencias sociales en escuelas, prensa y conversaciones de sobremesa habremos mejorado en gran medida nuestras perspectivas de comprensión del mundo, así como las de su perfeccionamiento y el nuestro. Se trata de una idea que, a veces fantaseo, muy bien creo pudiese seguir impresa en el cerebro de Broca mientras indolentemente navega en el seno de un mar de formalina.

¿Podemos conocer el universo? Reflexiones sobre un grano de sal

Nada tan rico como el inagotable caudal de la Naturaleza. Tan sólo nos muestra superficies, pero su profundidad es de un millón de brazas.

RALPH WALDO EMERSON

La ciencia es mucho más una determinada manera de pensar que un cuerpo de conocimientos. Su objetivo es descubrir cómo funciona el mundo, detectar las regularidades que puedan existir, captar las vinculaciones que se dan entre las cosas —desde las partículas elementales, que pueden ser los constituyentes últimos de toda materia, para organismos vivos, la comunidad social de los seres humanos y, cómo no, el cosmos contemplado en su globalidad. Nuestra intuición no es ni por asomo una pauta infalible. Nuestras percepciones pueden verse falseadas por la educación previa y los prejuicios, o simplemente a causa de las limitaciones de nuestros órganos sensoriales que, por descontado, sólo pueden percibir directamente una pequeña fracción de los fenómenos que se producen en el mundo. Incluso una cuestión tan directa como la de si, en ausencia de fricción, cae más rápidamente una libra de plomo que un gramo de lana, fue resuelta incorrectamente por casi todo el mundo hasta llegar a Galileo, y entre los equivocados se hallaba, cómo no, el propio Aristóteles. La ciencia se fundamenta en la experimentación, en un ansia permanente de someter a prueba los viejos dogmas, en una apertura de espíritu que nos permita contemplar el universo tal como realmente es. No puede negarse que en ciertas ocasiones la ciencia exige coraje; como mínimo el imprescindible para poner en entredicho la sabiduría convencional.

El principal rasgo definitorio de la ciencia es pensar *de verdad* toda cosa: el tamaño de las nubes y las formas que adoptan, incluso en su estructura más profunda, en cualquier parte del cielo para una altitud dada; la formación de una gota de rocío sobre una hoja; el origen de un nombre o una palabra; la razón de una determinada costumbre social humana, como por ejemplo el tabú del incesto; por qué una lente sobre la que incida la luz solar

puede quemar un papel; qué razón nos hace ver un bastón de paseo como una pequeña ramita; por qué parece seguirnos la Luna cuando paseamos; qué nos impide perforar la Tierra con un agujero que llegue hasta el centro del planeta; qué sentido tiene el término «abajo» en una Tierra esférica; de qué modo el cuerpo puede convertir la comida de ayer en el músculo y el nervio de hoy; dónde están los límites del universo, ¿puede éste expandirse indefinidamente, o no?; ¿tiene algún significado la pregunta de qué hay más allá? Algunos de estos interrogantes son singularmente fáciles de responder. Otros, especialmente el último, son misterios de los que no conocemos la solución incluso en nuestros días. Son interrogantes naturales a resolver. Toda cultura se ha planteado, de una u otra forma, tales cuestiones. Las respuestas propuestas casi siempre han sido de categoría «narrativa» o «fabulada», con explicaciones divorciadas de toda tarea experimental, e incluso de toda observación comparativa cuidadosa.

Pero la mentalidad científica examina el mundo críticamente, como si pudieran existir otros muchos mundos alternativos, como si aquí pudiesen existir cosas que ahora no encontramos. Y en consecuencia, nos vemos obligados a responder por qué cuanto vemos es así y no de otra forma. ¿Por qué son esféricos el Sol y la Luna? ¿Por qué no piramidales, cúbicos o dodecaédricos? ¿Por qué tal simetría en el mundo? ¿Por qué, incluso, no tiene formas irregularmente caprichosas? Si alguien gasta parte de su tiempo proponiendo hipótesis, comprobando si tienen sentido y si concuerdan con cuanto ya conocemos, pensando en pruebas experimentales que den validez o se la nieguen a nuestras hipótesis, este alguien está haciendo ciencia. Y a medida que van tomando más y más fuerza estos hábitos de pensamiento, más a gusto se halla el individuo con ellos. Penetrar en el corazón de las cosas —incluso en el de las más pequeñas, en el de una brizna de hierba, como dijera Walt Whitman— produce un tipo de excitación y alegría que parece muy posible que, de todos los seres que pueblan este planeta, sólo puedan experimentarla los seres humanos. Somos una especie inteligente, y un uso adecuado de nuestra inteligencia nos produce placer. En este aspecto, el cerebro es como un músculo. Cuando pensamos bien, nos sentimos bien. Comprender es un cierto tipo de éxtasis.

Pero ¿hasta qué punto podemos conocer *en realidad* el universo que nos rodea? A veces, esta pregunta la plantean individuos que esperan obtener una respuesta de tonos negativos, que sienten temor ante la idea de un universo del que algún día se llegue a conocer todo. A veces encontramos científicos que confidencialmente expresan su creencia de que todo cuanto es digno de ser conocido pronto lo será —o que incluso ya lo es—, y que nos pintan el cuadro de una edad dionisiaca o polinésica en la que se habrá marchitado el entusiasmo por la adquisición de nuevos descubrimientos intelectuales; lo habremos reemplazado por cierta languidez sumisa, nos alimentaremos de lotos y beberemos leche de coco fermentada o algún otro suave

alucinógeno. Además de calumniar a los polinesios, que fueron intrépidos exploradores (y cuyo breve descanso en el paraíso está lastimosamente llegando hoy a su fin), y a los estímulos para el descubrimiento intelectual que proporcionan ciertos alucinógenos, este punto de vista se nos muestra como obviamente erróneo.

Planteemos de momento una pregunta mucho más modesta. No nos preguntemos si podemos conocer la naturaleza del universo, la Vía Láctea, una estrella o un mundo, sino si nos es dado conocer, en última instancia y de forma pormenorizada, la naturaleza de un grano de sal. Consideremos un microgramo de sal de mesa, una partícula apenas lo suficientemente grande como para que alguien con una vista muy aguda pueda detectarlo sin la ayuda de un microscopio. En este grano de sal hay alrededor de 10^{16} millones de átomos de cloro y sodio, es decir, 10.000 billones de átomos. Si deseamos conocer la estructura de este grano de sal, necesitamos determinar como mínimo las coordenadas tridimensionales de cada uno de sus átomos. (De hecho, precisamos conocer muchas más cosas, como por ejemplo la naturaleza de las fuerzas con que se interaccionan los átomos, pero para el caso nos contentaremos con cálculos de gran modestia.) Pues bien, ¿la cifra indicada es mayor o menor que el número de cosas que puede llegar a conocer el cerebro humano?

¿Cuál es el límite de informaciones que *puede* albergar el cerebro? En nuestro cerebro quizá haya un total de 10^{11} neuronas, los circuitos elementales y conexiones responsables de las actividades química y eléctrica que hacen funcionar nuestras mentes. Una neurona típica tiene como mucho un millar de pequeñas terminaciones, las dentritas, que establecen su conexión con las contiguas. Si, como parece ser, a cada una de tales conexiones le corresponde el almacenamiento de un bit de información, el número total de cosas cognoscibles por el cerebro humano no excede de 10^{14} , es decir, la cifra de los 100 billones. En otros términos, algo así como el 1 por 100 del número de átomos que contiene una pequeña partícula de sal.

Desde tal punto de vista, el universo se nos convierte en inabordable, asombrosamente inmune a todo intento humano de alcanzar su completo conocimiento. Si a este nivel no nos es dado comprender la exacta naturaleza de un grano de sal, mucho menos lo será determinar la del universo.

Pero observemos con mayor atención nuestro microgramo de sal. La sal es un cristal que, a excepción de eventuales defectos que puedan presentarse en su estructura reticular, mantiene posiciones bien predeterminadas para cada uno de los átomos de sodio y de cloro que lo integran. Si pudiésemos contraernos hasta posibilitar nuestra incursión en tal mundo cristalino, podríamos ver, fila tras fila, una ordenada formación de átomos, una estructura regularmente alternante de átomos de sodio y cloro, con lo que tendríamos especificada por completo la capa de átomos sobre la que estuviésemos colocados y todas las demás situadas por encima y por debajo de ella. Un

cristal de sal absolutamente puro tendría completamente especificada la posición de cada uno de sus átomos con unos 10 bits de información.¹ Evidentemente, tal estado de cosas no abrumaría en lo más mínimo la capacidad de almacenar información propia del cerebro humano.

Si el universo tiene un comportamiento regulado por leyes naturales con un orden de regularidad similar al que determina la estructura de un cristal de sal común, es obvia nuestra capacidad para abordar su conocimiento. Incluso en el supuesto de que existan muchas de tales leyes, de considerable complejidad cada una de ellas, los seres humanos gozan de la necesaria capacidad para comprenderlas todas. Y en el supuesto de que los conocimientos precisos sobrepasaran la capacidad de almacenamiento de información de nuestros cerebros, quedaría la posibilidad de almacenar información adicional fuera de nuestros propios cuerpos —por ejemplo, en libros o en memorias magnéticas de ordenadores—, de modo que, en cierto sentido, seguiría siendo posible el conocimiento del universo.

Los seres humanos se hallan enormemente motivados para emprender la búsqueda de regularidades, de leyes naturales, cosa por lo demás perfectamente comprensible. La búsqueda de leyes, el único camino posible para llegar a comprender un universo tan vasto y complejo, recibe el nombre de ciencia. El universo obliga a quienes lo pueblan a entenderlo. Aquellos seres que se topan en su experiencia cotidiana con un confuso revoltijo de eventos imprevisibles y carentes de regularidad se encuentran en grave peligro. El universo pertenece a quienes, al menos en cierta medida, lo han descifrado.

Es un hecho realmente asombroso que *existan* leyes de la naturaleza, reglas que sinteticen de forma adecuada —no sólo cualitativa, sino también cuantitativamente— el funcionamiento del mundo. Podemos imaginar un universo sin tales leyes, un universo en el que las 10^{80} partículas elementales que lo integran se comportaran con absoluto e intransigente abandono. Para comprender tal tipo de universo necesitaríamos un cerebro con una masa casi tan grande como la suya. Parece bastante inverosímil suponer que en dicho universo pudiese existir vida e inteligencia, pues los seres dotados de cerebro requieren cierto grado de estabilidad y orden internos. Pero incluso si en un universo mucho más aleatorio que el nuestro existieran seres con inteligencia muy superior a la nuestra, es indudable que no podrían alcanzar demasiado conocimiento ni experimentar excesiva pasión o alegría.

Para nuestra fortuna, vivimos en un universo en el que son susceptibles de conocimiento, al menos, algunos de sus más importantes aspectos. La

1. El cloro es un gas letal que se utilizó en los campos de batalla europeos durante la primera guerra mundial. El sodio es un metal corrosivo que entra en combustión en contacto con el agua. La combinación de ambos origina una sustancia agradable e inocua, la sal común. El estudio de las propiedades de ambas sustancias constituye precisamente el objetivo de la química, y para comprenderla se necesitan más de 10 bits de información.

experiencia acumulada por nuestro sentido común y la historia evolutiva de la humanidad nos han preparado para comprender algo del mecanismo cotidiano que mueve el mundo. Sin embargo, cuando nos introducimos en otros ámbitos, el sentido común y la intuición ordinaria pueden llegar a convertirse en muy malos consejeros. Es pasmoso el hecho de que al aproximarnos mucho a la velocidad de la luz nuestra masa crece indefinidamente, nuestro espesor llega a ser prácticamente nulo en la dirección del movimiento y el tiempo parece detenerse para nosotros. Mucha es la gente que cree que esto es una necedad, y no pasa semana sin que reciba una carta de alguien que se lamenta de la situación. Pero no hay vuelta de hoja. Son consecuencias virtualmente ciertas, no sólo por la experimentación, sino también debido al brillantísimo análisis de Albert Einstein sobre la naturaleza del espacio y el tiempo conocido como teoría de la relatividad especial. No viene al caso que tales efectos puedan parecernos escasamente razonables, pues no tenemos el menor hábito de viajar a velocidades próximas a la de la luz. En el terreno de las altas velocidades, el testimonio de nuestro sentido común resulta irrelevante.

Imaginemos ahora una molécula aislada compuesta por dos átomos cuya estructura pueda recordarnos por su forma a la de unas pesas de halterofilia. Por ejemplo, puede muy bien ser una molécula de sal común. Dicha molécula gira alrededor de un eje en dirección idéntica a la línea que une ambos átomos. Pues bien, en el mundo de la mecánica cuántica, en el reino de lo extraordinariamente pequeño, nuestro juego de pesas no puede tomar cualquier orientación. Es perfectamente posible, para fijar un supuesto, que esté orientado horizontal o verticalmente, pero no será posible que lo esté en muchas de las inclinaciones angulares intermedias. En otras palabras, le están prohibidas ciertas inclinaciones rotacionales. ¿Prohibidas por quién? Pues por las leyes de la naturaleza. El universo está construido de tal forma que limita, o cuantifica, las posibilidades de rotación. No tenemos evidencia experimental de este hecho en nuestra vida cotidiana. Podemos encontrarlo tan sorprendente como si al efectuar ejercicios de gimnasia sueca fuéramos tan torpes como para poder colocarnos brazos en cruz o extendidos hacia el cielo pero nos fuera imposible adoptar un buen número de posturas intermedias. Pero téngase en cuenta que nuestra vida no se desarrolla en el ámbito de lo minúsculo, dentro de una escala del orden de 10^{-13} centímetros, en un mundo donde hay doce ceros entre la coma que separa las unidades y la primera cifra significativa. Las intuiciones de nuestro sentido común no cuentan para nada. Lo que vale es el experimento; en el caso que nos ocupa, la observación de las frecuencias de infrarrojos en los espectros moleculares. Y éstos nos muestran que la rotación molecular debe ser cuantificada.

La idea de que el mundo plantea restricciones a las posibilidades de acción humanas es frustradora. ¿Por qué no *podemos* tener ciertas posiciones rotacionales intermedias? ¿Por qué no podemos viajar más deprisa que la

luz? Sin embargo, todo cuanto podemos decir hasta el presente es que el universo está construido precisamente así. Tales limitaciones no sólo nos obligan a ser más humildes, sino que convierten el mundo en algo más comprensible. Cada constricción corresponde a una ley natural, a una regularidad en el universo. Cuanto más grande sea el número de constricciones acerca de las posibilidades reales de la materia y la energía, mayor conocimiento del universo podremos alcanzar los hombres. En cualquier caso, la cognoscibilidad del universo no sólo depende de cuántas sean las leyes naturales que nos permiten enmarcar para su análisis una amplia serie de fenómenos divergentes en apariencia, sino también de la apertura mental y capacidad intelectual que mostremos respecto a la comprensión de tales leyes. Seguramente nuestras formulaciones de las regularidades de la naturaleza dependen del modo en que está construido nuestro cerebro, pero también, y en buena medida, de aquel en que lo está el universo.

Por mi parte, me gusta vivir en un universo que encierra aún mucho de desconocido y que, al mismo tiempo, es susceptible de llegar a ser interpretado. Un universo del que lo conociéramos todo sería estático y deprimente, tan aburrido como el cielo que nos prometen ciertos teólogos pobres de espíritu. Un universo que se nos muestre incognoscible no es lugar ciertamente adecuado para un ser que piensa. El universo ideal para nosotros es algo bastante más similar al sitio en que vivimos. Y me atrevo a conjeturar que no es simple coincidencia.