DRAKONTOS

Julio González Álvarez

Breve historia del cerebro



CRÍTICA

Breve historia del cerebro

Julio González Álvarez

CRÍTICA
Barcelona

a Lola,
a mis hijos y nieto

a mi madre
mis hermanos y familia

a los amigos y colegas

Introducción

Nuestro planeta ha generado unos seres curiosísimos, inéditos en cualquier otra parte conocida. Esos organismos extravagantes que se mueven por sí solos, duplican e intercambian sustancias con el medio, están dotados de una propiedad especial que llamamos comportamiento que emana de un sistema nervioso pilotado por un cerebro.

Se dice que el cerebro es el pedazo de materia más complejo del universo conocido, y no lo desmentiremos en estas páginas. Un kilo y cuarto de proteínas que en el ser humano crea una mente, y en el resto de los animales, estados «mentales», o cuasimentales, como las intenciones, las vivencias de dolor, placer, miedo, ira, apego..., la percepción del mundo circundante y alguna forma de representación interna que permita navegar y sobrevivir en el mismo.

Inundado por un torrente de datos que cambian continuamente, el cerebro, tanto humano como animal, constituye un asombroso mecanismo diseñado para poner orden y extraer patrones estables a partir de esos datos. Cualquier organismo orientado a metas, como obtener alimento o pareja sexual, evitar ser presa de otros, etcétera, debe construir, para no perecer, algún modelo virtual de su entorno a partir de la confusa maraña de estímulos que le rodea. Y parece que un dispositivo orgánico de procesamiento distribuido y paralelo es una de las mejores soluciones que podía encontrar la naturaleza en su andar evolutivo.

Centrándonos en el cerebro humano, se le estima compuesto por unas 10^{11} (100.000 millones) de células nerviosas, o neuronas, la ma-

yoría de ellas situadas en la corteza cerebral. Cada neurona establece entre mil y diez mil conexiones con otras neuronas. Teniendo en cuenta que estas conexiones, o sinapsis, son clave para el funcionamiento mental, su número resulta astronómico y sus combinaciones ilimitadas. Nos encontramos, pues, ante una estructura reticular difícil de imaginar en toda su complejidad. Pero aquí se plantea un interrogante fundamental: ¿cómo es posible que emerja un estado mental, o incluso un «yo» consciente, a partir de un conjunto de células o circuitos? Ésta es la pregunta del millón para la que la ciencia contemporánea no tiene respuesta, y este libro tampoco. Su objetivo es más modesto, pero igualmente interesante: pasar revista a las grandes respuestas que la humanidad ha ido ensayando en el curso de los siglos.

Se trata de acercarnos de forma amena, pero rigurosa, a la evolución de las ideas compartidas por generaciones acerca del órgano que «fabrica» la mente; las principales conquistas y los experimentos que han marcado un punto de inflexión en esta historia, desde las primeras dudas entre el corazón y el cerebro como origen de las funciones mentales hasta algunos de los avances más recientes. Nos aproximaremos al largo reinado medieval de los «espíritus animales» y su misteriosa acción sobre el cuerpo, y a la naciente mirada naturalista que los destrona definitivamente. Al descubrimiento de la electricidad «animal» en la Edad Moderna y los nuevos interrogantes que planteó. A los acalorados debates sobre la corteza cerebral y su verdadera función a lo largo del siglo XIX; presentaremos los casos clínicos y ensayos experimentales que terciaron definitivamente en esta larga discusión. Miraremos de forma resumida, como no puede ser de otro modo, la gigantesca contribución de Cajal y su descubrimiento de la neurona como pieza clave del cerebro y todo el sistema nervioso, y cómo esto impuso orden en un caos incomprensible de filamentos nerviosos, abriendo un nuevo paradigma que permitió emprender el estudio de los circuitos neurales. Al hallazgo de los neurotransmisores y su papel en el registro de la información, así como las recientes técnicas de exploración del cerebro. Cerraremos este repaso con unas breves reflexiones sobre el problema de la conciencia, y los avances científicos de los últimos años en este campo enigmático.

No es, por tanto, un texto de neurociencia, ni siquiera sobre el propio cerebro, sino más bien un pequeño libro sobre la evolución de

las ideas y conocimientos que la humanidad ha ido atesorando acerca de él y de su producto, la mente.

El autor, como investigador de cuestiones relacionadas con el funcionamiento cerebral del lenguaje y los procesos de percepción humana, acarició durante tiempo la idea de escribir un resumen de los principales hitos de la ciencia del cerebro. Un sencillo libro con fines divulgativos, que resultara a la vez placentero y esclarecedor, alejado del estilo académico que debe utilizar de continuo en sus artículos científicos. En castellano es fácil encontrar excelentes historias de la ciencia —muchas de ellas en esta misma colección de la editorial— centradas en la física, la biología, la astronomía, el origen del hombre...; pero siempre echó de menos historias sobre la neurociencia y sus pioneros, aunque fueran breves. En inglés, por ejemplo, hay magníficos textos divulgativos como los de Stanley Finger, Charles Gross y otros.

Esto le lleva al autor a recordar y agradecer las numerosas conversaciones científico-filosóficas mantenidas con amigos y colegas de la universidad sobre esa cosa tan extraña que llamamos cerebro. También a reconocer el enriquecedor intercambio de puntos de vista con su esposa y familia, y su infinita paciencia ante un trabajo que se ha convertido en un absorbente *hobby*. Y, por último, agradecer el esfuerzo y mimo que la Editorial Crítica ha dedicado a esta obra desde el primer momento, con el objetivo de ofrecer un producto final cuidado y de calidad.

¿Corazón o cerebro?

No siempre fue obvio que la mente residiera en el cerebro. Aristóteles (384-322 a. C.) creía que un órgano tan inmóvil, grasiento, frío, aparentemente inútil y escaso de sangre, desempeñaba un papel secundario en el cuerpo.[1] Para el filósofo griego, el cerebro era una flema sobrante que sólo servía para refrigerar la sangre, una especie de radiador natural. Consideraba más lógico adjudicar al corazón el origen de la función mental: ocupa un lugar central en el cuerpo, se mueve, es caliente, contiene sangre, y si se detiene cesa la vida y toda actividad anímica. Esta concepción cardiocéntrica contó con algunos partidarios hasta bien entrado el siglo XVII. El propio William Shakespeare atribuía la razón al cerebro, pero suponía al corazón encargado de las emociones. Hoy perviven ecos de esta creencia en la etimología de palabras como «cuerdo», «recordar», «recuerdo», etcétera, cuya raíz latina es *cor* (corazón). En inglés, saber algo de memoria es «by heart». Para nosotros, el corazón es símbolo inequívoco del amor y otros tiernos sentimientos (no decimos te quiero con el sistema límbico), pero somos conscientes de que se trata de una metáfora.

Hay que tener en cuenta que Aristóteles se apoyó en lo que veían sus ojos: el corazón late, se mueve, y el movimiento era la clave para distinguir a los animales de las rocas y otros seres inanimados. Tiene sangre, y este precioso líquido es esencial para la vida: cuando se pierde, el bruto o el humano muere y queda inmóvil para siempre. Es lo que pensaría un niño o un adulto actual sin otra información. El cora-

zón está caliente y el calor es una diferencia importante entre los vivos y los muertos. Aristóteles no se dedicó sólo a reflexionar, él mismo diseccionó decenas de especies, desde elefantes hasta erizos de mar, aunque probablemente nunca un ser humano. Además, sabía que algunos animales inferiores, carentes de cerebro, eran capaces de moverse y de tener sensaciones, luego éste no parecía el responsable de esas funciones. También era sabedor de que en muchos embriones —un pollito en el cascarón— se podía ver al pulsátil corazón antes que el cerebro. El corazón era considerado como «la acrópolis del cuerpo» por los antiguos griegos, pero también por los egipcios, mesopotámicos, hebreos e hindúes.[2] ¿Por qué habría de llevar la contraria?

Hipócrates: es el cerebro

Sin embargo, en la Grecia clásica no todos iban tan desencaminados en esta cuestión. De forma paralela, una nueva corriente de pensamiento había surgido unas décadas atrás a partir de las observaciones de Hipócrates (*c*. 460-377 a. C.), el padre de la medicina. En franca oposición al ambiente general de la época, que achacaba las enfermedades a los dioses y colocaba al corazón como el centro de la actividad corporal, Hipócrates concibió al cerebro como el principal controlador del cuerpo y a las enfermedades como fenómenos naturales.* Según él, «los hombres deberían saber que del cerebro y nada más que del cerebro vienen las alegrías, el placer, la risa, el ocio, las penas, el dolor, el abatimiento y las lamentaciones». En su *Corpus hippocraticum* aparecen múltiples referencias a perturbaciones del movimiento causadas por una lesión en la cabeza. Incluso asoció certeramente heridas en un lado de la cabeza con convulsiones y parálisis en la mitad opuesta del cuerpo.

En aquel tiempo la epilepsia era considerada una enfermedad sagrada, originada por fuerzas demoníacas cuando se perdía la protec-

* Hay que decir que el cerebro aparece mencionado por primera vez en un papiro egipcio del siglo XVII a. C. Es el célebre Papiro de Edwin Smith, así llamado en honor a su descubridor, y se trata del primer documento histórico en que tal órgano aparece.

ción de los dioses; pero Hipócrates refiere en su escrito *Sobre la enfermedad sagrada*:

> En cuanto a la enfermedad que llamamos sagrada, no me parece más sagrada ni más divina que las otras enfermedades, sino que tiene una causa natural de la que se origina como otras afecciones. Los hombres le han atribuido una causa divina por ignorancia y por el asombro que les inspira, pues no se parece a las enfermedades ordinarias. Y esta noción de su divinidad es mantenida por su incapacidad para comprenderla... [3]

Todo un ejemplo de sano escepticismo orientado hacia la observación natural. A través del tiempo, es este tipo de espíritu el que empuja a la humanidad en el avance del conocimiento y se impone a los convencionalismos del momento.* En su escrito carga más adelante contra toda clase de sanadores y charlatanes que «usan la divinidad como pretexto y pantalla de su propia incapacidad para ofrecer asistencia».

Si las enfermedades fueron sustraídas del ámbito de los dioses y de la religión y entendidas como fenómenos de causas naturales —la revolución hipocrática—, ¿cuál sería el marco de explicación de la época? La respuesta es la teoría de los cuatro humores. En la Grecia clásica se partía de la premisa de que todas las cosas del mundo estaban hechas de unos pocos elementos combinados en distintas proporciones, concretamente estos cuatro: fuego, aire, agua y tierra. Hipócrates y sus seguidores vincularon cada elemento a un fluido o humor del cuerpo y a un órgano: fuego a la bilis amarilla y al hígado, aire a la sangre y al corazón, agua a la flema y al cerebro, tierra a la bilis negra (no sabemos hoy con exactitud a qué se refería) y al bazo. La enfermedad era, pues, el resultado de un desequilibrio dañino entre estos humores. Por ejemplo, la ictericia era consecuencia de un exceso de bilis amarilla, lo cual no era un desatino; los ojos enrojecidos denotaban

* Pensemos en Galileo y tantos otros. Salvando las distancias, esta actitud de Hipócrates nos recuerda a las observaciones agnósticas que Darwin haría muchos siglos después en sus escritos autobiográficos y que fueron extraídas por su esposa porque estaban escritas «con demasiada libertad» y chocaban con el espíritu victoriano de la época. Recientemente, estas observaciones se han desvelado en una nueva edición.

demasiada sangre corporal; la epilepsia venía provocada por la sobreabundancia de flema. El tratamiento consistiría, consecuentemente, en restaurar el equilibrio humoral a través de una gama de procedimientos como el sangrado, purgado, drenado, ayuno, y otros.

Las heridas abiertas en la cabeza se dejaban así, pero las cerradas, producidas por fuertes golpes sin fractura ósea, se trataban frecuentemente por trepanación, perforando en el cráneo. De acuerdo con la teoría humoral, un golpe en la cabeza podía formar una acumulación malsana de sangre y otros humores que degenerarían en «pus», entorpeciendo las funciones cerebrales. Con un agujero en el cráneo estos humores eran drenados y expulsados al exterior. Irónicamente, aunque la explicación humoral de base era errónea, sus conclusiones resultaron apropiadas en muchos casos y es probable que se salvaran vidas en cuadros de hemorragias cerebrales.[4]

Aunque Hipócrates y sus seguidores extendieron la idea de un cerebro rector del cuerpo y origen de los estados mentales, no acabaron con la explicación cardiocéntrica y ésta, aun perdiendo terreno, siguió contando durante generaciones con defensores, entre ellos Aristóteles, como hemos visto. En cierto modo, el debate cerebro-corazón perviviría de forma soterrada durante la Edad Media.

Galeno: la referencia para generaciones

Varios siglos más tarde, se erige vigorosa la figura de Galeno (*c*. 130-200 de nuestra era) en la época del imperio romano. Griego nacido en Pérgamo, se traslada a Roma y llega a ser médico de la corte con cuatro emperadores sucesivos. Allí se enfrenta a sectas y charlatanes de todos los pelajes. Galeno idolatraba a Hipócrates y Aristóteles a través de sus escritos y coincide con ambos en que nada debía aceptarse si no era experimentado a través de los sentidos, aunque no compartía la visión cardiocéntrica del segundo. Volvemos a encontrar la misma actitud de curiosidad dirigida a la observación natural y escéptica ante los prejuicios reinantes. Hipócrates era para Galeno el «médico ideal» y estaba convencido de que el *Corpus hippocraticum* recogía toda la sabiduría médica de la época. Incansable escritor, Galeno produjo una

enorme cantidad de escritos y sus puntos de vista dominarían la medicina europea durante siglos.

Hipócrates y Aristóteles no vivieron en tiempos propicios para la disección humana y no hay constancia de que alguno de ellos inspeccionara el interior de un cadáver humano. Los griegos creían que el alma no hallaba la paz hasta que el cuerpo tuviera el descanso debido. De modo que los enterramientos eran prontos y respetuosos, e imperaba el convencimiento de que los dioses castigaban a quien osara perturbar el descanso de un muerto. En ese contexto, una autopsia post mórtem era impensable, sencillamente obsceno. En los años de Galeno también las autopsias estaban prohibidas por la ley del imperio romano y quizá parte de su conocimiento sobre la anatomía humana procediera de observaciones de vísceras o huesos en campos de batalla y luchas de gladiadores. Pero es seguro que la mayoría de sus conclusiones fue fruto de extrapolaciones hechas a partir de las disecciones animales. Parece que Galeno aconsejaba a sus discípulos viajar hasta la lejana Alejandría para que tuvieran la oportunidad de contemplar un esqueleto articulado que se conservaba allí; hasta tal punto se trataba de una observación rara.

Pero si Galeno no podía diseccionar cadáveres humanos, se empleó a fondo con toda clase de especies vertebradas en su búsqueda de conocimiento anatómico, de cómo la naturaleza había construido a sus criaturas. Gatos, perros, camellos, leones, lobos, osos, comadrejas, pájaros, peces, y un largo etcétera, pasaron por su tabla de disección. No así invertebrados, por carecer de cristales de aumento. Para estudiar el cerebro prefería a los bueyes porque, siendo un animal de gran tamaño y, por tanto, cómodamente observable, podía disponer con facilidad de sesos enteros ya deshuesados en el mercado. En una descripción muy citada, Galeno enseña a sus estudiantes cómo llevar a cabo la disección del cerebro de un buey de forma sistemática:

> Cerebros de buey, ya preparados y despojados de la mayor parte del cráneo, están generalmente a la venta en las grandes ciudades. Si crees que queda más hueso del necesario adherido [al cerebro] ordena quitarlo al carnicero que te lo vende... Cuando la parte [cerebro] está adecuadamente preparada, verás la dura madre [meninge o membrana que en-

> vuelve al cerebro] ... Después de examinar las partes que lo rodean, es el momento de diseccionar el cerebro mismo ... Corta directamente a ambos lados de la línea media hasta llegar a los ventrículos [cavidades laterales del cerebro, una en cada hemisferio] ... Intenta inmediatamente examinar la membrana (septum) que divide el ventrículo derecho del izquierdo ... Cuando has expuesto apropiadamente todas las partes que comentamos, observarás un tercer ventrículo entre los dos anteriores, y un cuarto ventrículo detrás de él. Verás el conducto sobre el cual la glándula pineal se monta dando paso al ventrículo en el medio. [5] [comentarios nuestros entre corchetes]

Se trata de una exposición detallada y ajustada a nuestros conocimientos actuales. Pese a todo, Galeno no se contenta con la mera exploración anatómica del cuerpo; le interesa particularmente averiguar cómo funcionan los órganos, cuando los seres animados están vivos, y para ello tuvo que recurrir a la vivisección o disección en vivo de animales a los que no se les practicaba ninguna anestesia (así era la historia de la ciencia en sus inicios). De hecho, la existencia de algunos nervios ya era conocida en tiempos de Galeno, pero poco se sabía de sus funciones; una forma de descubrirlo sería cortar un nervio en el animal vivo y observar las consecuencias.

En un experimento, muchas veces mencionado, Galeno comprobó lo siguiente: si cortaba una pareja concreta de nervios en la garganta de un cerdo, el forcejeante animal dejaba inmediatamente de chillar, aunque mantenía la función respiratoria. Sorprendido por el inesperado hallazgo, lo repitió y confirmó en otras especies con idéntico resultado —los perros dejaban de ladrar, las cabras de balar, incluso los leones de rugir—. Galeno llamó a ese par de nervios [los nervios craneales se organizan por parejas] nervios de la voz. Hoy sabemos que se trataba del nervio laríngeo recurrente, una rama derivada del X par craneal y que a veces, en honor a nuestro hombre, se le denomina el nervio de Galeno.

En una serie de experimentos, Galeno seccionó la médula espinal a diferentes alturas de la columna vertebral para averiguar qué partes del cuerpo quedaban paralizadas por debajo del corte. Usó sobre todo cerdos y monos por su semejanza a los humanos. Según refiere Spencer:

> En monos, [Galeno] pasaba un fino cuchillo de hoja plana entre las láminas [de la columna vertebral] para así cortar la médula transversalmente... Cuando la médula quedaba dividida transversalmente, los nervios conectados con ella por debajo del corte perdían su función tanto sensitiva como de movimiento. Si la sección era al nivel del sacro [hueso inferior de la columna formado por varias piezas soldadas], se perdía la sensación y el movimiento del pie. Si el corte era más arriba, había pérdida de sensación y movimiento en el muslo, cadera y región lumbar. Cuando la sección se realizaba al nivel de las vértebras torácicas, los enérgicos movimientos respiratorios comenzaban a debilitarse... Con una sección al nivel de la quinta vertebral cervical, los brazos quedaban completamente paralizados, pero el diafragma continuaba con pleno movimiento. [6]

Más allá de la aflicción que nos causa en nuestra sensibilidad actual, estos experimentos nos hablan de una insaciable curiosidad por conocer el funcionamiento del cuerpo. En descargo de Galeno hay que decir que este tipo de prácticas se han realizado siempre a lo largo de la historia y sólo muy recientemente empezaron a usarse anestésicos. Entre otras razones porque no se habían descubierto.

Galeno veneraba intelectualmente a Aristóteles, pero, en lo tocante a las funciones superiores, no dudó en desmarcarse de su concepción cardiocéntrica. Al igual que Hipócrates, tenía la certidumbre de que la actividad mental se originaba en el cerebro y no en el corazón. Para empezar, como experimentado viviseccionista había comprobado que el cerebro de un animal vivo está caliente y no frío como Aristóteles pretendía. Por otra parte, si la función del cerebro hubiera sido la de un radiador que enfría la sangre caliente del corazón, lo lógico es que la naturaleza lo hubiera dispuesto más próximo a dicho órgano. Pero sobre todo, sus trabajos de disección, en los que intentaba seguir el recorrido de los nervios a partir de los ojos y otros sentidos, le mostraban que éstos se dirigían en realidad hacia el cerebro y no hacia el corazón como sostenía Aristóteles.

Los nervios recibieron mucha atención por parte de Galeno. Presumía de que, por simple palpación, podía diferenciar los que eran sensitivos de los que eran motores.[7] Los primeros eran blandos porque

necesitaban ser impresionados con la esencia de los objetos que eran vistos, oídos, tocados, saboreados u olidos. Además suponía que todos ellos confluían en una parte del cerebro —un sentido común— que generaba el concepto cabal de un objeto a través de todos los sentidos. Por su parte, los nervios motores eran duros porque tenían que llevar la fuerza necesaria para mover los músculos con firmeza. El sentido común, la memoria, la razón, todo ello residía en el cerebro; pero las emociones o la personalidad procedían del cuerpo en su conjunto.

Hay que precisar que Galeno hacía suya la tradición anterior de que los nervios eran huecos, una especie de tubos por donde viajaban los «espíritus animales» procedentes del cerebro para mover las partes del cuerpo. Esta explicación duraría toda la Edad Media y la influencia de Galeno se extendió en Europa durante más de mil años.



FIGURA 1.1. Galeno diseccionando un cerdo y mostrando los nervios de la voz.

Espíritus animales y ventrículos

Edad Media: teoría ventricular

Después de muerto Galeno, sus ideas sobre el cerebro se convertirían en dogma durante más de un milenio. El período «oscuro» que supuso la Edad Media para la ciencia no sumó ningún avance sustancial a los descubrimientos de la época clásica. En general, fue una época difícil para la mayoría de la población, en la que la pobreza extrema era la norma, más que la excepción. En palabras de Georges Duby, el período medieval, especialmente la Alta Edad Media, es una época con «muy pocos hombres —las soledades se extienden hacia el oeste, hacia el norte, hacia el este, inmensas, y terminan por invadir todo—, tierras yermas, ciénagas, ríos vagabundos y landas, bosquecillos, pastizales, todas las formas degradadas del bosque que subsisten del incendio de los zarzales ... y de tanto en tanto claros ... surcos superficiales, irrisorios, que instrumentos de madera arrastrados por flacos bueyes han trazado sobre una tierra reacia, ... los campos que se dejan en barbecho uno, dos, tres años, diez a veces ... Ningún campesino cuando siembra un grano de trigo, espera cosechar más de tres si el año no ha sido demasiado malo —la cantidad suficiente como para comer pan hasta Pascuas—. Luego hay que contentarse con hierbas, con raíces, con aquellos alimentos ocasionales que se encuentran en el bosque o en la ribera de los ríos».[1]

En una era rodeada de interpretaciones religiosas y metafísicas, se deja de lado el trabajo experimental y se abandonan las mesas de disección. Se escriben muy pocos tratados médicos y, cuando se hace, éstos se limitan a parafrasear a Galeno o a citar la autoridad de Hipócrates. Europa perdió en realidad el contacto con las obras clásicas, y sólo las redescubrió tardíamente a través de las traducciones árabes.

Recordemos que para Galeno los nervios estaban huecos y a través de ellos viajaban los espíritus animales que movían los músculos o producían las sensaciones. Estos espíritus se originaban en la sustancia del cerebro pero se almacenaban en los ventrículos, o cavidades cerebrales, hasta que se necesitaban. No obstante, se trataba de una tradición que venía de más atrás. El concepto de «espíritus animales» se remontaba a la época de los médicos alejandrinos tres siglos antes de Cristo, y Galeno simplemente los integró en sus conocimientos anatómicos y fisiológicos. La creencia en los espíritus animales se mantuvo nada menos que durante dos mil años hasta que los experimentos de Swammerdam los pusieron en cuestión, ya entrado el siglo XVII.[2]

Una apoplejía, o ataque cerebral, se explicaba como el resultado de la acumulación de humores densos, bien flema, bien bilis negra, que obstruían el orificio de los nervios y entorpecían el paso de los espíritus animales. De esta manera se interrumpía súbitamente la transmisión de las sensaciones y los movimientos.[3]

De qué estaban hechos los espíritus animales o cómo contribuían a las sensaciones y al movimiento del cuerpo es algo que ni Galeno ni sus seguidores medievales aclararon en detalle. Se trata de los *pneuma* psíquicos, derivados de los *pneuma* vitales, en el sentido del término griego que significa aire, soplo, espíritu, hálito. Arranca de la creencia alejandrina de que la vida está asociada a un sutil vapor o pneuma relacionado con la respiración. El aire entra en los pulmones a través de la tráquea y se transforma en pneuma vital. Luego éste se mezcla con la sangre y a través de las arterias llega a la base del cerebro, donde se transforma en pneuma psíquico o espíritu animal, que es el responsable del correcto funcionamiento del cerebro.[4] Esa prodigiosa transformación del pneuma vital en pneuma psíquico que acaecía en la base del cerebro era, según Galeno, gracias a la *rete mirabile* (red milagrosa), una maraña o plexo de pequeños vasos sanguíneos entrelazados

en forma de red. Galeno aseguraba que no era simplemente una red, sino más bien múltiples redes, similares a las de pescador, puestas unas sobre otras. La *rete mirabile* fue una de las descripciones anatómicas en la que el médico griego erró de plano, porque no existe en los humanos —ni en los monos—, aunque sí en otros mamíferos y vertebrados. Seguramente la observó en los animales y la supuso y extrapoló a los humanos, a los que, recordemos, nunca diseccionó. Pero la *rete mirabile* se convirtió en un elemento importante que, con frecuencia, se citaba en tiempos medievales al invocar la autoridad de Galeno.

En los siglos medievales un pequeño matiz introdujo una diferencia respecto a la doctrina galénica. Galeno entendía que los espíritus animales se generaban en la sustancia cerebral, en la parte sólida del cerebro, aunque luego se acumulaban en los ventrículos. Sin embargo, los Padres de la Iglesia establecieron que estos espíritus, y por tanto las funciones mentales, se creaban exactamente en los mismos ventrículos cerebrales. Para la mentalidad cristiana se antojaba más propio suponer el origen de los etéreos espíritus animales en las cavidades huecas de los ventrículos, que en la propia carne. El tejido cerebral era demasiado térreo, demasiado «sucio» para actuar de intermediario entre el alma y el cuerpo.[5] Además, y ésta sí es una divergencia importante, se tiende a localizar las principales funciones cognitivas en ventrículos concretos. Así, Nemesius, médico y obispo de Emesa en Siria, bastante influyente en su tiempo, escribe en el siglo IV de nuestra era:

> Los sentidos tienen sus fuentes y raíces en los ventrículos frontales del cerebro, los de la facultad del intelecto están en la parte media del cerebro, y los de la facultad de la memoria están en la parte trasera del cerebro.[6]

Galeno pensaba que esas funciones podían verse afectadas por lesiones o enfermedades de modo separado, pero no intentó localizarlas en sitios particulares del cerebro.

La creencia en la localización ventricular, es decir, no sólo la certeza de que los ventrículos son la base de la vida mental, sino, además, la distinción de ventrículos específicos para diferentes funciones, arraigó durante toda la Edad Media tanto en Europa como en Oriente

Medio. Así lo atestiguan los escritos de Avicena, particularmente su célebre *Canon*, verdadera biblia árabe de la medicina.

La idea general de la teoría ventricular medieval es que:

a) La percepción está asociada a un ventrículo delantero, una inexistente cavidad frontal del cerebro. Se creía que había un único ventrículo delantero en lugar de los dos ventrículos laterales anteriores que hoy conocemos. Esta asociación entre el ventrículo y la percepción del mundo tal vez se basaba en la proximidad a los órganos sensoriales, que también ocupan una posición frontal: ojos, oídos, olfato y gusto, todos en la cara, y tacto de las manos y la cara. Se suponía que, además de los sentidos externos, había un conjunto adicional de sentidos «internos» alojados en tal ventrículo y hacia ellos confluían los nervios procedentes de los sentidos exteriores. Estos sentidos internos se combinaban en un único *senso comune* o, literalmente, sentido común, gracias al cual se formaba una imagen completa de cada objeto del mundo exterior. En el *senso comune* es donde, se pensaba, residía el alma humana.
b) A continuación, la razón, o función superior del intelecto, ocuparía una posición central en el cerebro, dentro del ventrículo del medio. Esta facultad, conocida como *cognición*, era específicamente humana, pero junto a ella estaba el juicio o la *estimación*, una facultad compartida con los animales. Como ejemplo típico de estimación se planteaba el caso de la oveja que conoce de forma innata el peligro del lobo, y este conocimiento es resultado de la capacidad estimativa de la oveja. O sea, el juicio o la estimación era capaz de leer el significado o intención del lobo a partir de la imagen transferida desde el ventrículo delantero;[7] y esto sin necesidad de experiencia previa. La principal diferencia, pues, entre estimación y cognición es que aquélla era innata y fija, fundada en el instinto, mientras que ésta podía hacer juicios originales basándose en la experiencia pasada.
c) Finalmente, la memoria se ubicaría en el ventrículo trasero. Es decir, una vez que se han realizado las estimaciones y cogni-

ciones, sus resultados se conservan para el futuro en esa cavidad posterior.

Tales localizaciones no guardan relación, ni siquiera lejana, con lo que sabemos ahora, pero llama la atención la descripción intuitiva de los diversos procesos. Incluso esta división espacial de funciones se racionalizaba por comparación con la distribución de las salas en los tribunales clásicos, como leemos en un escrito del siglo XII:

> Sobre la explicación de las tres divisiones del cerebro, los antiguos filósofos lo llamaron el templo del espíritu, porque los antiguos tenían tres cámaras en sus templos: primero el *vestibulum*, después el *consistorium* y finalmente la *apotheca*. En el primero se hacían las declaraciones en los casos judiciales; en el segundo las declaraciones eran discernidas; en el tercero se fijaba la sentencia. Los antiguos decían que el mismo proceso ocurre en el templo del espíritu, esto es, el cerebro. Primero recogemos las ideas en la *phantisca* celular, en la segunda cámara pensamos sobre ellas, en la tercera, fijamos nuestros pensamientos, esto es, comprometemos a la memoria.[8]

Muchas descripciones gráficas, la mayoría ya en el Renacimiento, ilustran esta teoría ventricular.

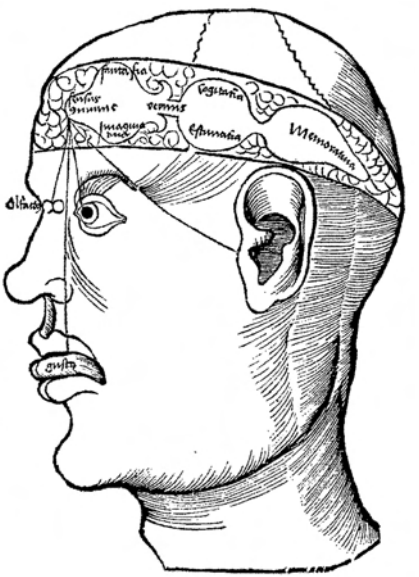

FIGURA 2.1. Ilustración del siglo XV de Gregor Reisch que muestra la concepción medieval de las funciones mentales.

Hacia el final de la Edad Media, la espantosa Muerte Negra asola Europa en varias oleadas durante el siglo XIV. En sólo un decenio la gran plaga, o «gran pestilencia» como también se la conocía, se cobra la vida de un tercio de la población europea. Pero los tiempos anuncian cambios y en algunas universidades se inicia la prác-

tica de disecciones humanas, si bien con desigual fortuna, pues una prohibición papal, todavía vigente, se hace sentir con más fuerza en unos sitios que en otros. Los trabajos quirúrgicos de la época, pretendidamente sanadores, corrían a cargo de barberos, verdugos y otras gentes de «toga corta» o baja posición social; por lo que las autopsias o disecciones post mórtem también eran efectuadas por esas personas bajo la autoridad del médico, o catedrático de «toga larga». Éste no ponía las manos en el cadáver ni se manchaba con sus fluidos; sentado en su prominente silla, conocida como cátedra, dirigía la autopsia desde su elevada posición, rodeado de una multitud de atónitos discípulos. Con frecuencia se hacían públicas y asistían gentes curiosas a lo que se consideraba un acontecimiento extraordinario. Los cuerpos humanos pertenecían normalmente a criminales ajusticiados proporcionados por las autoridades civiles, y como eran pocas las mujeres ejecutadas, cuando así sucedía la concurrencia de estudiantes o fisgones era masiva.[9] Además del diseccionador manual y el médico, a veces había un segundo ayudante con un puntero para señalar a los pupilos las partes que iba dictando el médico. Éste solía limitarse a confirmar y seguir paso a paso las enseñanzas escritas de Galeno, o Avicena, como autoridades indiscutibles del medioevo. No era raro, pues, que se perpetuaran algunos de los errores galénicos. Uno de los primeros tratados medievales basados en disecciones fue la célebre *Anatomía* de Mondino, un profesor de Bolonia. Publicada en el año 1316, sus múltiples ediciones constituyeron el manual de referencia en las escuelas médi-



FIGURA 2.2. *Anatomía* de Mondino.

cas europeas durante casi tres siglos. Como muestra de la dócil reverencia a la autoridad galénica, Mondino incluye en su *Anatomía* una descripción detallada de la inexistente *rete mirabile*. En la portada de una de las ediciones podemos ver la representación de una escena típica de disección médica (véase Figura 2.2).

Renacimiento: volver a observar

Con la llegada del Renacimiento europeo, la medicina pasó de repetir los antiguos dogmas, basados en las traducciones árabe-latinas de los textos clásicos, a la búsqueda de conocimiento nuevo. Supuso un «renacer» general, un volver a nacer de las ciencias y el pensamiento humanista.

En este contexto, la gigantesca figura de Leonardo da Vinci (1452-1519) no es ajena a las cuestiones relacionadas con el cerebro y el sistema nervioso. Siendo el creador de obras maestras como *La Gioconda* o *La Última Cena*, su extraordinario talento brilló también en los campos de la ciencia, la tecnología o la arquitectura. Su actitud hacia el cuerpo y el cerebro es la misma que hacia otros aspectos de la naturaleza o la ingeniería: una insaciable curiosidad junto a una inventiva portentosa. Leonardo es hijo de su tiempo y acepta la explicación ventricular de los espíritus animales que aún pervive después de los últimos años medievales. Por eso está especialmente interesado en conocer en detalle la estructura de los ventrículos y, aplicando su pericia de escultor, resuelve probar un ingenioso procedimiento. En escultura, una práctica empleada para crear una obra de bronce consiste en hacerla primero en arcilla y sobre ella formar un molde hueco; luego ese molde se rellena del metal fundido y, una vez solidificado, se retira el molde y aparece una copia metálica del modelo inicial. Con esa lógica, Leonardo obtuvo un modelo de cera de los ventrículos cerebrales* que le permitió contemplar por primera vez su forma exacta en tres dimensiones.[10] Al tratarse de cavidades naturales ya tenía de entrada el «molde» hueco; de modo que insertó un tubo en el ventrículo poste-

* Es seguro que el modelo de cera lo hizo en un buey y también probablemente en humanos.

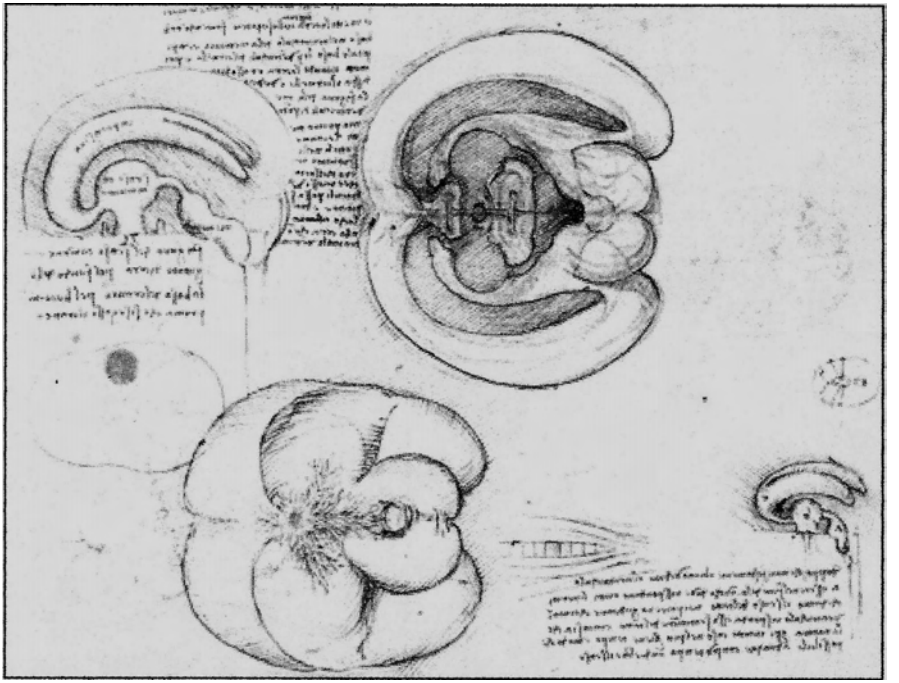

FIGURA 2.3. Dibujos de Leonardo da Vinci mostrando el cerebro tras inyectar cera para obtener el molde tridimensional de sus ventrículos o cavidades.

rior, de la memoria, para inyectar cera líquida caliente. Al mismo tiempo, introdujo otros tubos en la parte delantera del conjunto ventricular a modo de respiraderos por donde pudieran salir los fluidos del interior (líquido cefalorraquídeo). Una vez rellenas todas las cavidades de cera líquida, esperó a que ésta se enfriase y solidificase. Después cortó y retiró la masa cefálica circundante y *voilà!*, tuvo en sus manos una réplica fiel y detallada de todo el sistema ventricular.* Lo cierto es que el resultado no encajaba con la doctrina oficial medieval y no aparecía por ninguna parte un gran ventrículo delantero donde se alojara el *senso comune* y el alma. En su lugar estaban los dos ven-

* Esta ingeniosa técnica, que emplea una masa solidificante para obtener un modelo anatómico tridimensional, no volvería a aplicarse hasta los trabajos de Ruysch más de cien años después.

tríclulos laterales anteriores en forma de cuerno, que hoy conocemos. Sin pretender renunciar a la teoría ventricular, Leonardo adoptó una solución de compromiso: recolocó el *senso comune* en el ventrículo del medio. Así, aunque Leonardo da Vinci no estaba preparado para contradecir frontalmente un dogma mantenido por la iglesia durante siglos, fue una figura de transición que allanó el camino a cuestionamientos futuros que no tardarían en surgir.

Como artista de éxito, Leonardo obtuvo permiso para examinar cadáveres de los hospitales de Florencia, Milán y Roma. Diseccionó unos trescientos cuerpos y dibujó del orden de mil quinientos estudios anatómicos que nunca publicó.[11] Su genio unía dos habilidades que no suelen ir juntas: la destreza científica y la artística. Cuando se contemplan dibujos de otros diseccionistas contemporáneos, éstos resultan torpes y caricaturescos, herederos del estilo medieval, con pobre información visual. La magnífica capacidad plástica de Leonardo le lleva a realizar descripciones gráficas con un realismo que no se había visto antes. Sin embargo, el hecho de no publicarlas hizo que su influjo sobre el saber anatómico de la época resultara limitado.

Vesalio: ruptura con la anatomía galénica

Como hemos visto, la Edad Media vivió de rentas durante más de mil años en lo que al conocimiento anatómico se refiere. Se adoptó como dogma oficial las enseñanzas de Galeno y otros autores clásicos y ninguna novedad importante, que fuera fruto de la observación directa, se incorporó al acervo común. Un médico veneciano, Nicolo Massa, escribía en 1536:

> Me avergüenza —Dios me es testigo— cuánta es la ignorancia de algunos de los modernos, no solamente en sus razonamientos, sino también en el uso de los sentidos; siempre en su boca Aristóteles, Hipócrates, Galeno y Avicena, pero sin conocerlos realmente; sino que a manera de avecillas que repiten lo que oyen, deleitan así algunos oídos ... No quiero sin embargo que creas que voy a continuar calumniando a los antiguos, de los que aprendí; siempre los alabo porque nos transmitieron

> los principios de la ciencia, aunque de una manera imperfecta, para que nosotros podamos agregarles algo ... porque la ciencia anatómica cayó en el olvido después de él [Galeno] y no existe en la actualidad quienes se dediquen a disecar, de manera que puedan describir lo que ven sus ojos y tocan sus manos, sino que atienden a viejos códices escritos con incuria y tergiversados por los impresores ... [12]

En este fragmento se respira ya la necesidad de avanzar en el conocimiento y volver a la observación de la realidad —disecciones en el caso de la anatomía—; es decir, se respiran los nuevos aires renacentistas. Y quien contribuyó a esto más que nadie en aquel momento fue Vesalio (1514-1564) con su monumental obra anatómica. Recordemos que Leonardo da Vinci ya había sido pionero en este campo —como en tantos otros— unas décadas antes, pero al no publicar sus trabajos, éstos pasaron inadvertidos en su tiempo. Andrés Vesalio (Andreas Vesalius en latín) era el quinto médico en su línea familiar. Nacido en Bruselas, estudia en las universidades de Lovaina y París. En la capital francesa tiene un profesor —Jacobus Sylvius— de ideas muy conservadoras, o sea muy galénico, pero apasionadamente comprometido con la anatomía, hasta el punto de que, en contra de la costumbre general, se implica personalmente en las disecciones y las lleva a cabo con sus propias manos, en vez de delegar en barberos o ayudantes chapuceros. La pasión por la anatomía del estudiante Vesalio no es menor y, no contento con las esporádicas disecciones académicas, frecuenta cementerios en busca de huesos humanos, disputándose el botín con bandadas de perros salvajes que solían merodear los camposantos de la época.[13] Cuando ya es profesor de la Universidad de Padua, Vesalio hace suyo el hábito de su maestro parisino y también practica él mismo las disecciones. Las clases ya no son las consabidas lecturas de los textos galénicos que terminan rutinariamente con la disección de un animal a modo de simple ilustración; para Vesalio la disección constituye la parte más importante de la lección y se esfuerza por conseguir cuerpos humanos. En 1543 publica su monumental *De humani corporis fabrica** que

* Traducido como *De la estructura del cuerpo humano*, o también *De los trabajos del cuerpo humano*.

supone un hito en la historia de la anatomía humana y tal vez uno de los libros médicos más importantes jamás escritos. Se trata de una innovadora obra de 663 páginas que recopilan sus enseñanzas de Padua con multitud de detalladísimas ilustraciones de admirable factura gracias a la destreza de un discípulo de Tiziano. Consta de siete libros agrupados como capítulos; el libro IV se dedica al sistema nervioso y el libro VII describe el cerebro.

A través de sus numerosas disecciones humanas, Vesalio va comprobando que la anatomía galénica dista mucho de ser perfecta. Llega a contabilizar hasta doscientos errores que no encajan con lo que él observa, y le sorprende tanto aparente descuido en un médico de la talla de Galeno, venerado generación tras generación. En una de las ocasiones en que es invitado a la Universidad de Bolonia, Vesalio ensambla un esqueleto humano como regalo para sus anfitriones. Junto a él coloca el esqueleto de un mono con el fin de apreciar las diferencias y, de pronto, confirma algo que sospechaba tiempo atrás. ¿Cómo no se le había ocurrido antes? ¡Galeno jamás había diseccionado un cuerpo humano! Sus descripciones se ajustaban en realidad a la anatomía de un mono y de otros animales.* Fue toda una revelación que, en cierto modo, exculpaba al médico griego, pero ahora ¡quedaba todo por redescubrir! Y ésta fue una de las principales motivaciones que le impulsaron en su minucioso trabajo. Hay que reconocer que Vesalio comprendió las limitaciones que rodearon a Galeno —el imperio romano prohibía las disecciones humanas— y, pese a las discrepancias, nunca humilló en público, o ante sus estudiantes, la memoria del insigne precursor.

Son tiempos de grandes cambios, de cuestionar creencias sacralizadas durantes siglos. El mismo año en que aparece la *Fabrica...* Copérnico publica su *De revolotionibus orbium coelestium*, en el que la tierra deja de ser el centro del universo, y, en cierto sentido, puede decirse que el tratado de Vesalio también constituyó un giro copernicano en la anatomía humana: las enseñanzas del pasado dejan de ser la

* Desconocedor de los grandes simios, Galeno consideraba al macaco sin cola de Berbería (lo que hoy llamamos mono de Gibraltar) la especie más próxima al ser humano. Además de cerdos, bueyes, ovejas y otros muchos animales, cuando le faltaban estos macacos, recurría a los siempre más abundantes monos con cola.



FIGURA 2.4. Portada de la monumental *De humani corporis fabrica* de Andreas Vesalius, grabada por un discípulo de Tiziano, pero supervisada por el autor. Muestra una disección pública ante las columnas y estatuas de la Universidad de Padua, dirigida por Vesalius, reconocible en el centro. En contra de la costumbre general, es el propio maestro quien practica la disección. El asistente se ve relegado al papel de mero afilador de cuchillos, sentado bajo la mesa. Los cuerpos se conseguían de las ejecuciones, a veces espaciadas a conveniencia de los médicos. Esta vez es una mujer, hecho infrecuente —son pocas las ajusticiadas—, por lo que la expectación es extraordinaria. Vesalius está rodeado de los representantes de la universidad, la ciudad, la iglesia y la nobleza, así como de los estudiantes y otros doctores. El uso de animales por parte de Galeno está representado por el mono de la izquierda y el perro de la derecha. Vesalius daba mucha importancia al conocimiento de la estructura ósea, de manera que los esqueletos son una constante en las ilustraciones de la obra (Gross, 1998).

última palabra, la anatomía galénica no es perfecta y ya no es el centro del conocimiento sobre el cuerpo humano. La *Fabrica* se extiende rápidamente por los países europeos y se convierte en un estándar para muchos anatomistas. Sin embargo, la acogida no es la misma en todas partes, y, a medida que el tratado asciende geográficamente desde la renacentista Italia hacia el centro de Europa, algunos médicos de la vieja guardia oponen fuertes resistencias. A su otrora profesor de París, Jacobus Sylvius, la publicación de la *Fabrica* le molesta enormemente al poner en cuestión a sus idolatrados Galeno e Hipócrates. Como muestra, veamos dos perlas suyas sobre su antiguo estudiante:

> Honesto lector, te urjo a no prestar atención a cierto ridículo lunático, completamente falto de talento, que maldice y ataca impíamente a sus maestros.
>
> Vesalius debe ser duramente castigado y contenido de todas las formas posibles, para que su pestilente aliento no emponzoñe al resto de Europa.[14]

Sylvius publica un trabajo titulado *Una refutación de las calumnias de un demente contra la anatomía de Hipócrates y Galeno*. Vesalio, siempre respetuoso en lo personal, defiende y argumenta sus hallazgos, pero termina por distanciarse definitivamente de su rancio mentor. En la siguiente edición de la *Fabrica*, doce años después, ni siquiera le menciona. Como siempre ocurre con los nuevos paradigmas, la fuerza y la verdad de los hechos acaban por imponerse.

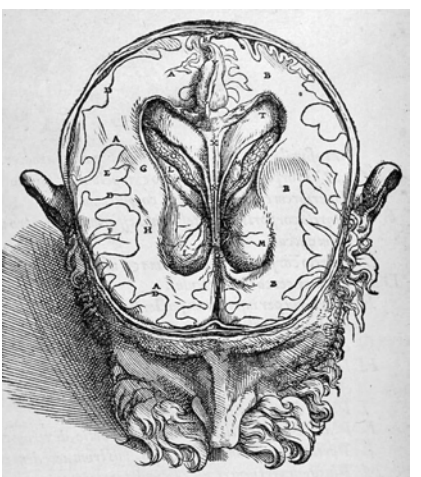

FIGURA 2.5. Grabado del cerebro mostrando sus cavidades o ventrículos (de la *Fabrica* de Vesalio).

Si la anatomía de Vesalio supuso una revolución en toda regla, su concepción de las funciones cerebrales fue menos rompedora. Continuó aceptando a los antiguos y medievales espíritus animales como idea clave de la actividad mental,

aunque empezó a albergar serias dudas respecto a las funciones de los ventrículos cerebrales humanos. Algo que le llamaba la atención es que éstos, si tan importantes eran para la razón humana, no diferían significativamente de los ventrículos de otros animales, carentes de intelecto. Pero no indagó más en este aspecto y, en el terreno fisiológico, se limitó a repetir la doctrina galénica:

> Me aventuré a atribuir a los ventrículos no más de que ellos son cavidades y espacios en los que el aire inhalado, añadido al espíritu vital [proveniente] del corazón es, gracias al poder de la peculiar sustancia del cerebro, transformado en espíritu animal.[15]

Descartes: espíritus animales en un sistema hidráulico

Los postreros coletazos de los espíritus animales tuvieron lugar durante el siglo XVII y Descartes sería uno de los últimos en aceptarlos,* pero ahora con un aire nuevo, moderno (recordemos que estamos en la Edad Moderna). No realiza experimentos ni practica disecciones, Descartes es fundamentalmente un pensador, un filósofo, pero algunas de sus cavilaciones plantean preguntas que aún siguen abiertas y tienen plena vigencia hoy en día.** Por esta razón lo tratamos aquí con

* Un influyente anatomista del siglo XVII que dudó de los espíritus animales fue el médico y profesor de Oxford, Thomas Willis (1621-1675). Sugirió que los nervios quizá secretaban gotitas de un fluido que causaba pequeñas explosiones en los músculos y los movía. Willis realizó múltiples disecciones que contribuyeron poderosamente al avance del conocimiento anatómico del cerebro y el sistema nervioso. Acuñó la palabra «neurología» y muchos términos que hoy son usuales como «lóbulo», «hemisferio», «cuerpo estriado», «piramidal», y otros.

** Una de ellas, muy actual en el campo de la inteligencia artificial, tiene que ver con la siguiente pregunta: ¿podría llegar a pensar una máquina? No hablamos de ciencia ficción, sino de planteamientos de gran calado filosófico que cobrarán protagonismo en las próximas décadas. Por el momento las escuelas filosóficas contemporáneas se dividen al dar una respuesta (véase por ejemplo el debate entre los filósofos californianos John Searle *vs*. Paul y Patricia Churchland). Aquí subyace la cuestión de la naturaleza del pensamiento, en qué consiste realmente pensar.

cierta extensión, en compañía de otros que sí desplegaron una actividad científica. Descartes no cuestiona los ancestrales espíritus animales, pero pretende explicar su funcionamiento de acuerdo con el conocimiento tecnológico de la época y esto supone, en realidad, un gran paso hacia el abandono definitivo de la hipótesis del espíritu animal sobre la función nerviosa, que no tardará en producirse.[16]

René Descartes (1596-1650), de origen francés, es considerado como el padre de la filosofía moderna. En el año 1623 se recluye en una granja de Baviera y se embarca en una serie de reflexiones que habrían de ejercer una profunda influencia en el pensamiento occidental de los próximos siglos. Desencantado con los sistemas propuestos por los pensadores anteriores, sostiene que «[la filosofía] ha sido cultivada durante siglos por las mejores mentalidades que vivieron jamás, pese a lo cual nada hay en ella que no sea materia de discusión». Pone en tela de juicio todo lo que no ha sido firmemente demostrado —la duda, como posición vital— y desarrolla un riguroso método intelectual que le permite analizar racionalmente las cosas que le rodean y, entre ellas, el cuerpo y la mente humanos. En su *Discurso del método* escribe:

> Siempre he permanecido firme en la resolución que tomé de no suponer ningún otro principio que el que me ha servido para demostrar la existencia de Dios y del alma, y de no recibir cosa alguna por verdadera, que no me pareciese más clara y más cierta que las demostraciones de los geómetras.[17]

Cada época intenta explicar el mundo natural tomando como modelo el conocimiento y desarrollo tecnológico alcanzados. Para nosotros, después del vapor y la electricidad, el paradigma actual es el electrónico, y los ordenadores nuestra mayor conquista técnica. Conceptos traídos de la informática como acceso directo, *feedback*, procesamiento de la información, memoria a corto y largo plazo, etcétera, se aplican con naturalidad a la psicología cognitiva y nos ayudan a describir aspectos concretos del funcionamiento mental. Tal vez dentro de un par de siglos sonrían condescendientes y piensen «qué lejos se encontraban del paradigma gravitatorio». En el siglo XVII, el paradigma de referencia era el

mecánico: muelles para los relojes, y el agua o el viento como las fuerzas sobre las que se asentaba la tecnología punta de la época. En consecuencia, Descartes se apoyó en los modelos mecánicos para comprender la conducta y el funcionamiento mental.* Siempre se sintió fascinado por los autómatas o figuras móviles que podían encontrarse en las fuentes de los jardines reales y que, merced a los principios hidráulicos e impulsados por la fuerza del agua, cambiaban de posición, ejecutaban movimientos de cierta complejidad, o incluso cantaban. O las muñecas mecánicas y los complicados mecanismos de relojería que movían figuras en las tiendas de las grandes ciudades. Descartes consideraba que los animales eran también autómatas, una especie de mecanismos de relojería naturales, con la única diferencia de que estaban hechos de otros materiales —órganos y partes del cuerpo— y, eso sí, con maquinarias más complicadas. Las personas también eran maquinarias, pero con una diferencia fundamental: tenían alma.

> ... lo cual no parecerá de ninguna manera extraño a los que, sabiendo cuántos *autómatas* o máquinas semovientes puede construir la industria humana, sin emplear sino poquísimas piezas, en comparación de la gran muchedumbre de huesos, músculos, nervios, arterias, venas y demás partes que hay en el cuerpo de un animal, consideren este cuerpo como una máquina que, por ser hecha de manos de Dios, está incomparablemente mejor ordenada y posee movimientos más admirables que ninguna otra de las que puedan inventar los hombres.[18]

Para el filósofo francés, también los espíritus animales están encerrados en los ventrículos cerebrales pero, al contrario que en las explicaciones medievales, ahora no actúan de forma misteriosa, sino que siguen los principios mecánicos de la hidráulica a través de los nervios huecos. Ya no son fabricados por la *rete mirabile* de Galeno, inexistente en el humano, sino por la glándula pineal** que Descartes

* En otros campos como, por ejemplo, la astronomía y el orden celestial, el modelo de referencia era un complejo reloj.

** Esta glándula ya era conocida de antiguo y recibía su nombre por el parecido a la semilla de un pino mediterráneo (piñón).