

Leonardo da Vinci y las Neurociencias: una teoría del todo

P. Sandoval Rubio, MD, MHA

Escuela de Medicina, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

RESUMEN

Introducción. Leonardo da Vinci representa el prototipo del *homo universalis*. Ícono del Renacimiento, trabajó bajo el patrocinio de los más grandes mecenas de la época. Su principal obsesión fue la observación de la naturaleza, y de cómo ese macrocosmos se relaciona con el microcosmos, que es el hombre. A 500 años de su muerte, el mundo le celebra y reivindica su influencia en el desarrollo de las ciencias.

Desarrollo. En la búsqueda de la relación entre el microcosmos y el macrocosmos, muy temprano reconoce el papel clave del sentido de la visión y de la capacidad de integración, que localiza en el cerebro. Sus dibujos sobre el cráneo y ventrículos cerebrales son el epítome de ello. En su búsqueda del lugar donde reside el alma, se acerca a la visión neoplatónica cefalocéntrica y rompe con la tradición medieval. Como parte de su formación como artista se inicia en el estudio de la anatomía, evolucionando posteriormente a la realización de disecciones en humanos, lo que se convierte en una poderosa herramienta que le permite investigar cómo el cerebro controla el movimiento y la expresión de las emociones. Pionero en el estudio de la anatomía funcional, perfecciona las técnicas de estudio e ilustración anatómica a un nivel no conocido en la época. Planifica un tratado de anatomía que nunca sale a la luz e investiga sobre el sistema nervioso central y periférico, realizando uno de los primeros dibujos que existen sobre el sistema nervioso completo e integrado.

Conclusiones. Su principal legado es la búsqueda de la unidad del hombre con la naturaleza como un único sistema interdependiente, y los métodos que desarrolló para desentrañar dicha relación. Pionero del método científico, su obra se diluye con su muerte, aunque su legado en las neurociencias es tardíamente recuperado.

PALABRAS CLAVE

Filosofía de la ciencia, historia del arte, Leonardo da Vinci, neuroanatomía, neurociencias, Renacimiento

Introducción

El año 2019 se conmemoró el quinto centenario de la muerte de Leonardo da Vinci (1452-1519)^{1,2}. El polímata florentino, prototipo del *homo universalis* e ícono del renacimiento^{2,3}, con su curiosidad insaciable expandió los límites del conocimiento en múltiples disciplinas. Lo que hoy entendemos como neurociencias no estuvo ajeno a ello, por lo que las más importantes revistas de Medicina y de Neurología han publicado, recientemente, numerosos artículos destacando su legado⁴⁻⁷.

En su condición de hijo ilegítimo de Leonardo di ser Piero da Vinci, un acomodado notario florentino, y de Caterina di Meo Lippi, una joven huérfana del pueblo de Vinci⁸, Leonardo no tuvo acceso a una formación académica, siendo educado principalmente por su abuelo paterno Antonio, en su pueblo natal de Vinci^{9,10}. Desde muy corta edad demostró un gran talento para el dibujo, por lo que al cumplir 14 años su padre se lo lleva a Florencia y lo inscribe como aprendiz en el taller de artesanos de Andrea del Verrocchio (1435-1488)^{2,9,10}. Allí, en la *bottega*, como se denominaba a los talleres

de artesanos durante el Renacimiento², Leonardo se vuelca en el aprendizaje no solo del arte de la pintura y la escultura, sino también de otras disciplinas complementarias como la geometría, la anatomía de superficie y la arquitectura, lo que lo marcaría para siempre en el desarrollo posterior de su pensamiento y su técnica^{2,4,9-11}. En el taller de Verrocchio coincide con otros pintores de la talla de Botticelli (1445-1510) o Ghirlandaio (1448-1494)^{9,10}.

Influenciado por grandes figuras del *quattrocento* como León Battista Alberti (1404-1472), Brunelleschi (1377-1446) y Antonio Pollaiuolo (1429-1498)^{9,10}, y bajo el mecenazgo de las familias más importantes del renacimiento como los Médici, los Sforza, los Borgia y el rey Francisco I de Francia^{3,9,10}, Leonardo emprende un largo viaje de búsqueda en el que se obsesiona con la observación de la naturaleza y la comprensión de cómo sus procesos se relacionan con el funcionamiento del cuerpo humano como un único sistema integrado^{1,11}.

En el presente texto se desarrollan las principales observaciones que hizo Leonardo da Vinci sobre la estructura y funcionamiento del sistema nervioso, sus motivaciones y el impacto que sus descubrimientos tuvieron en el desarrollo posterior de las Neurociencias.

Desarrollo

Macrocosmos, microcosmos y la teoría del todo

Leonardo rápidamente supera a Verrocchio y comprende que no encontrará en ningún maestro las respuestas que busca^{2,9,10}. A pesar de no dominar el griego, y de que del latín aprendió algo solo pasados los 40 años¹², se embarca en la aventura de estudiar de manera autodidacta a los autores clásicos. Influenciado inicialmente por el pensamiento de Platón (427-347 a. C.) en sus diálogos “Tadeo” y “Fedón”⁴ y por las ideas neoplatónicas de Marsilio Ficino (1433-1499), con quien coincide en la corte de Ludovico Sforza en Milán^{9,10}, abraza el marco conceptual de que el cuerpo humano es un microcosmos hecho a imagen y semejanza del macrocosmos, que debe regirse por sus mismas leyes y que es en la observación de la naturaleza donde deben buscarse las claves que determinan su estructura y funcionamiento. Para Leonardo, esta idea se transforma en una búsqueda del equilibrio entre lo terrenal y lo cósmico⁹.

Por otro de sus cercanos en Milán, Luca Pacioli (1445-1517), quien fuera un verdadero maestro para Leonardo

en las matemáticas^{2,9}, conoce la secuencia de Fibonacci y la proporción áurea^{9,10}, aquella razón geométrica que se repite una y otra vez en la naturaleza, como en la disposición de los pétalos de una flor o en la espiral de la concha de un caracol. Pacioli la llamó “divina proporcione” (divina proporción) y publicó un libro homónimo (*De divina proportione*, terminado en 1498), el cual fue ilustrado por Leonardo con 70 dibujos de cuerpos geométricos complejos, los que a larga serían los únicos que este publicó en vida⁹.

En ese mismo sentido, como parte de su formación como pintor e influido por la obra *De pictura* (1436) de León Battista Alberti, Leonardo se interesa en el estudio de las proporciones anatómicas del cuerpo humano, siendo el “Hombre de Vitruvio” (1490) (figura 1), en homenaje al célebre arquitecto romano y su canon, la máxima expresión de ello. Como fue habitual en toda su obra, Leonardo fue más allá. Corrigió y expandió las proporciones definidas por Vitruvio, buscando las medidas precisas de la perfección y la belleza^{2,9}. En el dibujo, el cuadrado, cuyo centro son los genitales, representa lo terrenal, mientras que el círculo, cuyo centro es el ombligo, representa lo cósmico^{2,9,10}. El “Hombre de Vitruvio” marca un hito en la historia de la relación del arte, la ciencia y la filosofía, al inmortalizar en un dibujo la pregunta imperecedera sobre el quién somos y cuál es nuestro lugar en el orden del universo⁹.

Leonardo buscó una comprensión racional de todos los fenómenos cotidianos y sus relaciones¹¹, una verdadera “teoría del todo”. Para ello, tempranamente comprendió que la clave estaba en comprender cómo el cerebro procesa los estímulos sensoriales e integra esa información con el alma¹².

En la búsqueda del alma: influencia de la cultura griega y primeros experimentos

En la cultura griega, desde Homero (siglo VIII a. C.), la *psyché* (“aire frío”, el alma) se entendía como el principio de la vida de todo ser viviente¹³. Inicialmente no se la relacionó con el juicio, los sentimientos ni los recuerdos. Fue Heráclito (540-475 a. C.) el primero en sugerir un dualismo ente el cuerpo y la *psyché*, y en atribuirle a esta el papel de “cosa pensante”¹³. En los griegos, la concepción del alma evoluciona hasta distinguirse dos corrientes filosóficas principales —y antagónicas— en relación a la teoría de su ubicación dentro del cuerpo, una “cefalocéntrica”, representada por Platón,

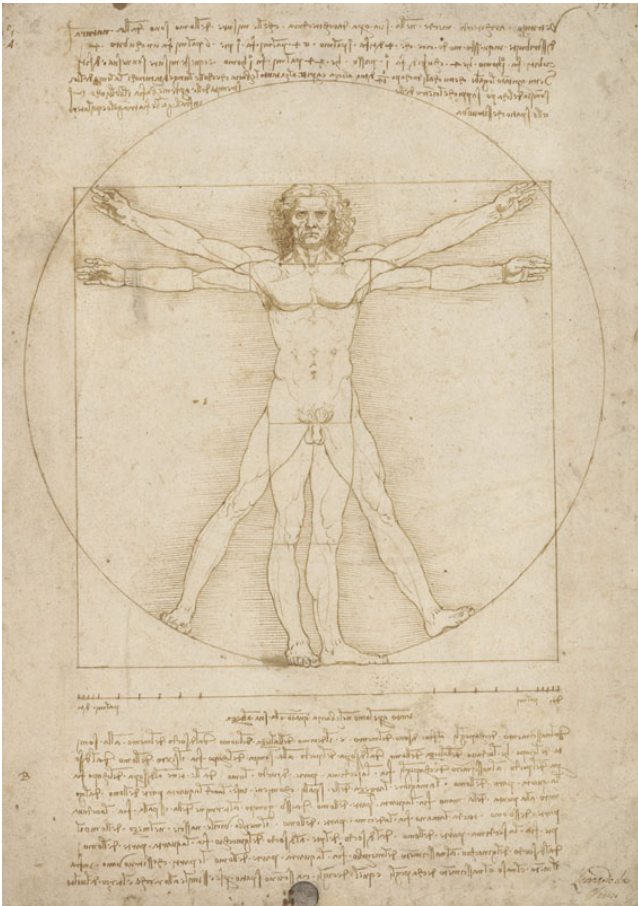


Figura 1. El “Hombre de Vitruvio” (1490-1491). Este dibujo representa la relación de unidad entre el macrocosmos y el microcosmos, explicitando la pregunta sobre el quién somos y cuál es nuestro lugar en el orden del universo. El cuadrado, cuyo centro son los genitales, representa lo terrenal, mientras que el círculo, cuyo centro es el ombligo, representa lo cósmico⁹. © Galería de la Academia de Venecia. Archivo fotográfico, Ministerio de Bienes y Actividades Culturales y Turísticos

y otra “cardiocéntrica”, desarrollada por su discípulo, Aristóteles (384-322 a. C.)^{11,13,14}.

Platón creía en el dualismo antropológico entre el cuerpo (mortal y sensible) y el alma (inmortal e inteligible), idea que tuvo gran influencia en el desarrollo posterior del cristianismo y que se convirtió en una de las características del pensamiento neoplatónico del renacimiento^{13,15}. Platón, en *La República*, divide el alma en tres componentes, siendo el más importante la parte localizada en la cabeza (*nous* o *logos*, alma racional), con centros secundarios ubicados en el corazón (*thymós*, o alma irascible) y en la parte superior del abdomen

(*epithymia*, o alma apetitiva)¹³⁻¹⁵. Platón es el primero en llamar “mente” al *logos*¹³.

En esta concepción cefalocéntrica del alma, si bien fue Herófilo (325-280 a. C.) quien primero describió los ventrículos cerebrales, fue su contemporáneo Erasístrato (310-250 a. C.) quien recoge la teoría del *pneuma* de los filósofos estoicos como Diógenes de Apolonia (siglo V a. C.) y Anaxímenes (585-524 a. C.), estableciendo que el aire es el principio vital y soplo creador que permite la vida¹⁵. En esta teoría, el aire entra por la respiración y una vez dentro del ser vivo se transforma en *pneuma*, que circula por venas y arterias, pasa por el corazón y finalmente se aloja en los ventrículos cerebrales, donde se transforma en el *pneuma psychikon* (*spiritus animalis*), que gobierna las funciones mentales^{4,15}.

Para Aristóteles, por el contrario, el hombre es una unión sustancial entre el cuerpo y el alma, la cual es un principio intrínseco al cuerpo y, por lo tanto, mortal^{15,16}. En su obra *Sobre el alma*, manifiesta que existen tres tipos de almas: vegetativa (propia de las plantas), sensitiva (presente en el hombre y en los animales) y racional (o intelectual), siendo esta última exclusiva del ser humano^{14,15}. En su concepción filosófica, el centro de la vida psíquica y de la percepción sensorial (lo que él denomina el *sensus comunis*) se encuentra en el corazón¹⁵, y si bien las facultades intelectivas del alma residen en el sistema cerebro-ventricular, este carecía de funciones directas en la fisiología de la percepción¹⁵. Para Aristóteles, el cerebro es solo una glándula que tiene el rol secundario de “enfriar” al corazón^{14,15}.

La idea del *sensus comunis* como lugar de la convergencia de los sentidos evolucionará durante la Edad Media e influirá significativamente en el pensamiento neurofisiológico y filosófico de Leonardo^{11,14}. Del mismo modo, la lógica aristotélica del razonamiento deductivo e inductivo junto a la importancia que este otorga a la observación empírica fueron los pilares sobre los que Leonardo construyó su propio método protocientífico¹⁶.

Grandes médicos de la antigüedad como Hipócrates (460-370 a. C.) y Galeno (129-200 d. C.) defendieron la concepción cefalocéntrica de Platón. Hipócrates, en su obra *Sobre la enfermedad sagrada*, se refiere a cómo el *pneuma* procedente del aire exterior es conducido al encéfalo para inducir el desarrollo de la inteligencia y constituirse en el asiento del alma¹⁵. Por otra parte, Galeno, quien fue una de las principales influencias en Leonardo en sus posteriores estudios anatómicos¹⁷,

fue aún más lejos y llegó a afirmar que las funciones mentales radicaban en la “sustancia” del cerebro. No obstante, Nemesio (ca. 390 d. C.), uno de sus principales traductores, las transfirió de regreso a los ventrículos cerebrales^{11,14}. Con la muerte de Galeno, la visión aristotélica cardiocéntrica del alma dominó sin contrapeso el pensamiento occidental por casi dos mil años¹⁴.

El surgimiento del Renacimiento trajo un renovado interés por los autores clásicos de la cultura romana y griega^{2,3}, y con ello se reactivó el dilema filosófico sobre la ubicación del alma dentro del cuerpo humano y de la estructura y función de los órganos que lo componen, cuestionando la tradición escolástica medieval. En ese contexto, el estudio de la anatomía respondía a un interés más bien filosófico que médico, ya que el escaso desarrollo de la cirugía de la época no necesitaba conocer la anatomía de las estructuras más profundas del cuerpo^{18,19}.

En Leonardo, estas ideas calaron profundamente ya que señalaron un camino para poder comprender y desentrañar los códigos que rigen la relación del hombre con la naturaleza. En el año 1487, siendo muy joven, realizó un experimento con ranas para intentar discernir la ubicación del alma. Observó que al seccionar con un estilete la médula espinal de la rana en su unión con el cráneo (lo que hoy se conoce como “pithing”) (figura 2), se producía su muerte inmediata, mientras que al extraerle el corazón y las vísceras, la rana era capaz de sobrevivir durante algunos minutos^{4,11,12,14}. Este es el primer experimento neurofisiológico del que se tiene registro desde la época de Galeno¹⁴, y para Leonardo, zanjó el tema de la ubicación del alma, en cuanto a principio de la vida. En sus notas registró: “... aquí, por lo tanto, parece que yace la base del movimiento y de la vida...”^{4,11,12,14}. Leonardo nunca más sacrificó un animal, convirtiéndose luego a lo que hoy conocemos como veganismo^{9,10}.

Una vez satisfecho con su conceptualización de la ubicación del alma, Leonardo se dedicó a intentar dilucidar la localización del alma dentro del mismo cerebro¹⁴.

En la búsqueda del alma: los sentidos, el *senso comune* y los ventrículos cerebrales

Para Leonardo, su primera etapa como anatomista fue motivada por la necesidad de perfeccionar su técnica

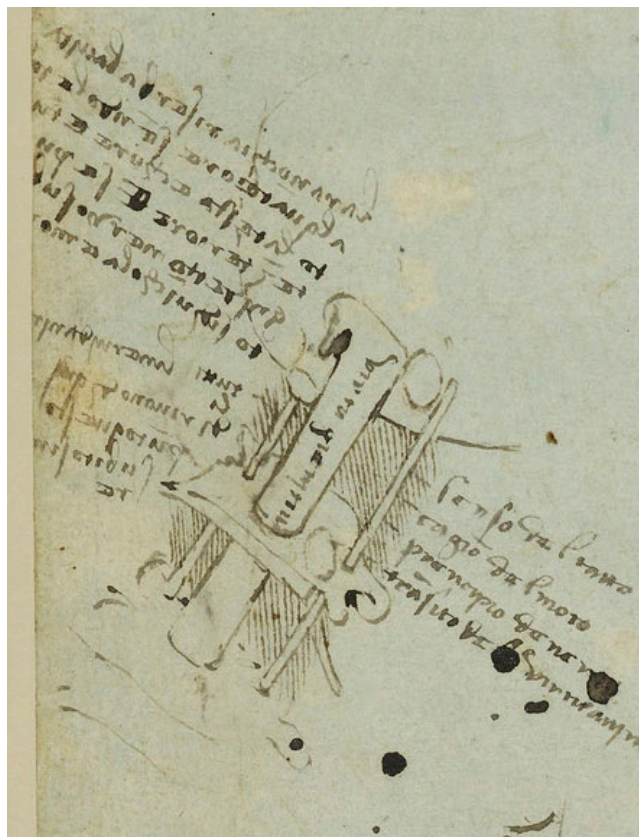


Figura 2. Experimento de sección de la médula espinal cervical de una rana (“pithing”) (1487). Al seccionar con un estilete la médula espinal de la rana en su unión con el cráneo se produjo su muerte inmediata, mientras que al extraerle el corazón y las vísceras, la rana era capaz de sobrevivir por algunos minutos. En sus notas registró: “Aquí, por lo tanto, parece que yace la base del movimiento y de la vida”^{4,12,20}. RCIN 912613v. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

en el dibujo y la pintura, y se basó en el estudio de la anatomía de superficie y en la anatomía comparada^{20,21}. No obstante, desde un comienzo se interesó por estudiar el cráneo para comprender la relación de los ojos y del sentido de la visión con el cerebro y el alma^{11,12,14,21}.

De esta manera, no es coincidencia que los primeros estudios anatómicos realizados por Leonardo de los que se tiene registro correspondan a una serie de dibujos sobre cráneos fechados en 1489^{4,12,20,21}. En estos dibujos es crucial la influencia de sus conocimientos de arquitectura y su relación con el arquitecto Francesco di Giorgio Martini (1439-1501), que le otorgaron herramientas en

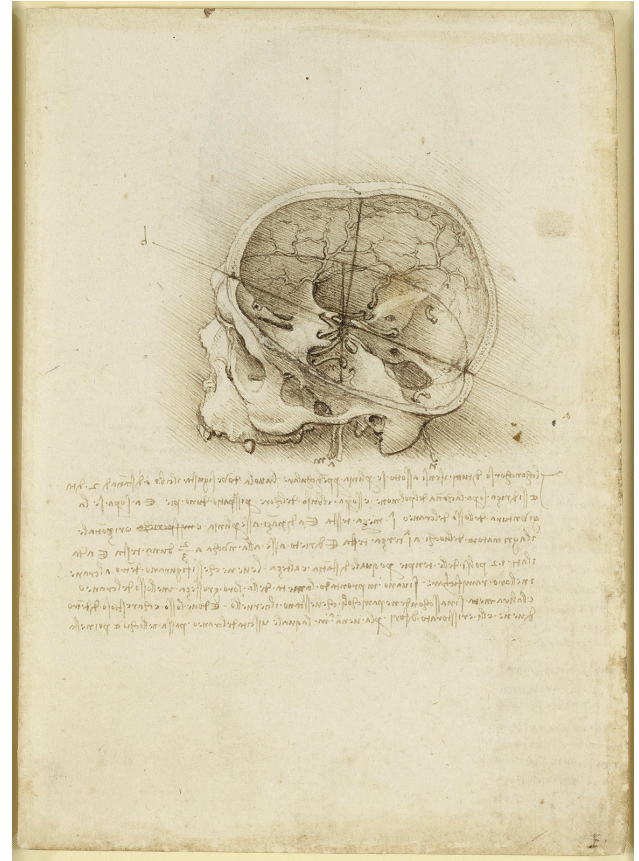
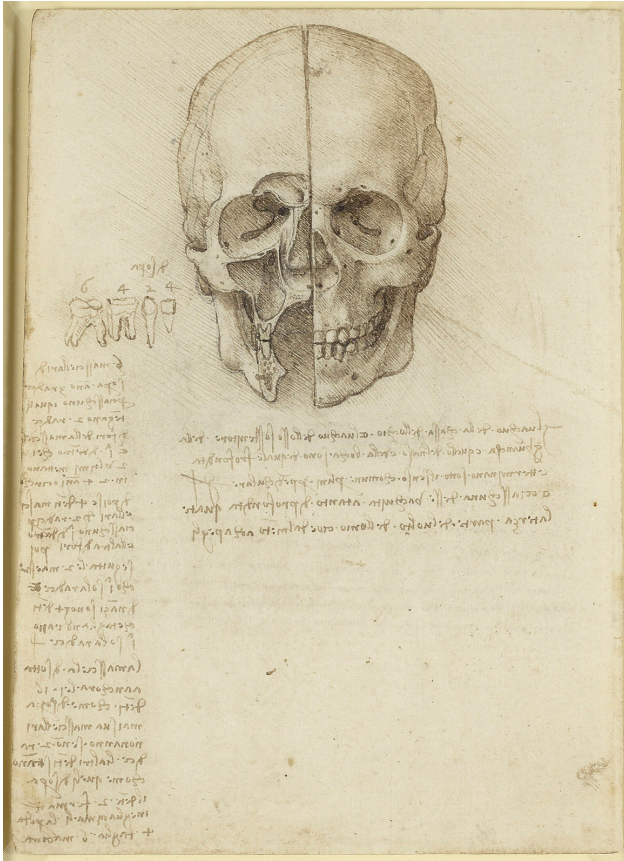


Figura 3 (izquierda). Los cráneos de Leonardo (1489): hemisección coronal. Se observa una visión frontal del cráneo con una hemisección coronal, apreciándose el seno frontal y el seno maxilar en la mitad derecha^{4,20,21}. RCIN 919058r. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

Figura 4 (derecha). Los cráneos de Leonardo (1489): sección en dos planos. Se observa una visión tridimensional de un cráneo con sección lateral de la calota que expone las tres fosas intracraneanas y la impresión de las arterias menígeas anterior y media. La intersección de las líneas sobre el quiasma óptico señala la ubicación donde se encontraría el *senso comune* (convergencia de los sentidos), lugar donde se aloja el alma^{12,20,21}. RCIN 919058v. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

el manejo de la geometrización del espacio y en el uso de transparencias para representar la estructuras internas, sin la necesidad de recurrir a modelos tridimensionales¹⁴. Leonardo aplicó estos conceptos al estudio e ilustración de la anatomía, desarrollando novedosas metodologías como el realizar secciones anatómicas en distintos planos y ejes^{14,21}. La figura 3 corresponde al estudio de un cráneo con una hemisección coronal donde se describen por primera vez el seno maxilar y el seno frontal. En la figura 4 se observa un cráneo con una sección en dos planos, permitiendo visualizar la cavidad interior de la bóveda craneana. En este dibujo es posible identificar la impresión de las arterias menígea media y anterior sobre

la tabla interna y se halla, además, la primera descripción —sin nombrarlas— de las fosas intracraneanas anterior, media y posterior^{12,21}. Más allá de estos hitos, los dibujos de cráneos de Leonardo no se comparan con nada de lo conocido en los textos de anatomía de la época²¹ y según algunos autores, en belleza y naturalismo, sus dibujos anatómicos no han sido superados hasta la fecha^{2,12,19,22}. No obstante, el objetivo del dibujo del cráneo de la figura 4 no es otro que identificar el lugar de la convergencia de los sentidos, el *sensus comunis* de los griegos. Las líneas, como un sistema de coordenadas, se intersecan inmediatamente sobre el quiasma óptico, en la parte

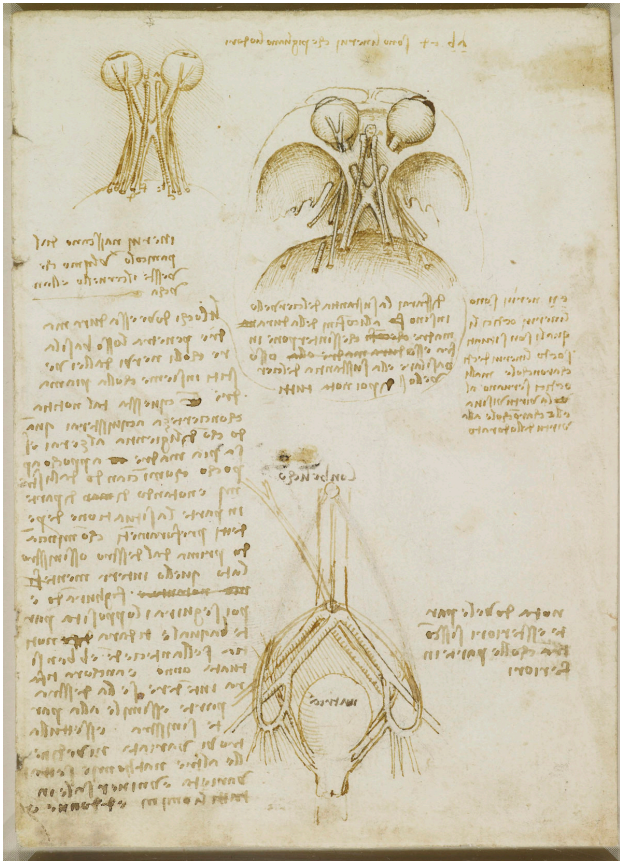


Figura 5 (izquierda). Nervios ópticos, quiasma y nervios craneanos (1508). Se observa la estrecha relación entre los nervios ópticos, el quiasma y los nervios olfatorios con su bulbo. Adicionalmente, se encuentra diseccionada la pared lateral de ambos senos cavernosos, exponiendo los nervios oculomotores, abducens y las ramas oftálmicas de ambos nervios trigéminos¹². RCIN 919052. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020



Figura 6 (derecha). Las capas de cebolla y los ventrículos cerebrales según la tradición medieval (1489). En este dibujo observamos la perplejidad de Leonardo frente al desafío de conocer dónde se encuentra el alma dentro del cerebro y la importancia del sentido de la visión a ese respecto. Siguiendo la tradición medieval, compara las distintas capas que recubren al cerebro con las capas de una cebolla y esquematiza los tres ventrículos cerebrales en anterior (*sensus comunis*), medio (*cognitativa*) y posterior (*memorativa*)^{11,14,27}. RCIN 912603r. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

anterior del tercer ventrículo, señalando el lugar donde se ubicaría el *sensus comunis*^{14,21}.

Vinculando el sentido de la visión con un puente entre la naturaleza y el alma, y enfatizando la supremacía de este sobre los otros sentidos, Leonardo realizó descripciones de la vía visual donde destaca el quiasma óptico y su relación anatómica con el nervio olfatorio y el seno cavernoso (figura 5). Al mismo tiempo, realiza estudios sobre óptica y fisiología de la percepción visual²³, llegando a la conclusión de que podemos ver los objetos porque los ojos son capaces de recibir la luz, lo que era contrario al pensamiento de autores clásicos como Platón, Galeno

o Roger Bacon (1214-1294), quienes afirmaban que el poder visual emanaba desde los ojos hacia el exterior para permitir a los objetos ser percibidos¹².

Nos dice Leonardo en sus cuadernos de notas: “El ojo, que se dice es la ventana del alma, es la principal vía para que el *sensus comunis* pueda, de la forma más copiosa y magnífica, considerar las infinitas obras de la naturaleza”²⁴.

En la misma figura 5 se observa una precisa descripción del bulbo olfatorio, siendo Leonardo el primero en considerar al nervio olfatorio como un nervio craneano¹².

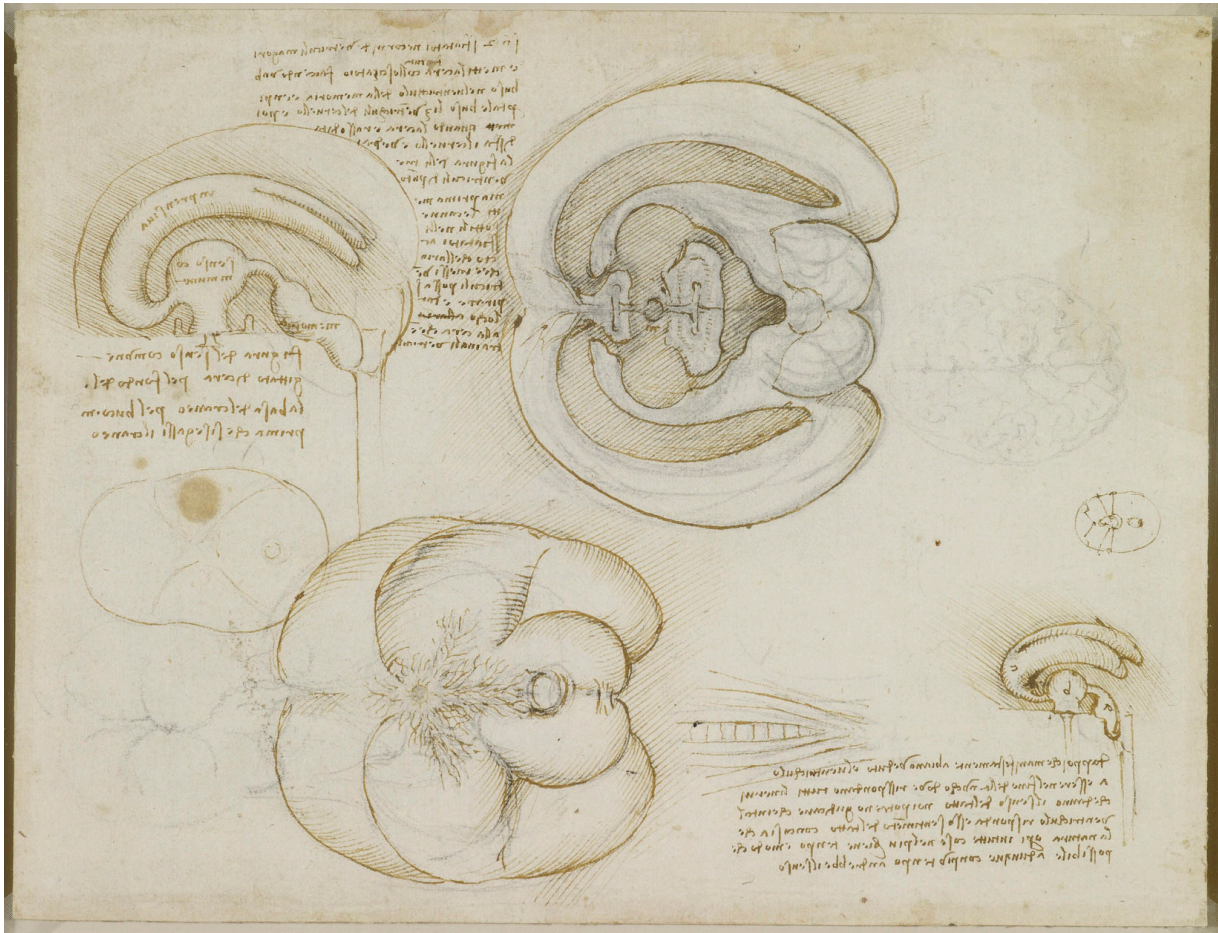


Figura 7. Molde de cera en ventrículos de un cerebro bovino (1508). Se observan los resultados del experimento realizado por Leonardo y su reinterpretación de la anatomía de los ventrículos cerebrales. Se describen, desde anterior a posterior: *imprensiva*, *sensu comune* y *memoria*, donde en la *imprensiva* se aprecia una división que corresponde a los ventrículos laterales. Adicionalmente, se observa la comunicación de la *imprensiva* con el *sensu comune* (foramen de Monro) y del *sensu comune* con la *memoria* (acueducto de Silvio)^{11,14,27}. RCIN 919127. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

En cuanto a la anatomía cerebral, inicialmente influido por la tradición medieval de Alberto Magno (1193-1280)²⁵ y siguiendo el concepto de que las funciones cerebrales radicaban en los ventrículos cerebrales, Leonardo comparó las capas superficiales del cráneo y el cerebro con las telas de una cebolla, basándose inicialmente en el modelo imperante de tres cavidades ventriculares: anterior (*sensus comunis*), media (*cogitativa*) y posterior (*memorativa*)^{14,20,21}. A su vez, Alberto Magno, heredero de la tradición galénica, se inspiró en la visión de Ibn-Sinā (908-1037) y Maimónides (1138-1204), y, como ellos, localizó el alma en el *sensus comunis*^{11,25}.

La figura 6 representa la perplejidad de Leonardo frente a la inmensidad del desafío que decide enfrentar. En el dibujo, Leonardo plantea más interrogantes que certezas, localizando de manera esquemática el sistema ventricular con las tres cavidades dentro del cerebro no por su conocimiento empírico sino por lo leído en los textos de medicina de la época. Podemos imaginar lo poco satisfecho que debe de haber estado Leonardo con este modelo.

Para poder avanzar en sus investigaciones y mejorar su comprensión sobre el cerebro debe iniciarse en las técnicas de disección. Una vez más, al no tener formación

como médico, debe hacerlo de manera autodidacta, estudiando a Galeno, Ibn-Sinā y Mondino de Luzzi (1270-1326)^{4,11,14,17,21}, aunque es probable que su amigo anatomista Marcantonio della Torre (1481-1511), años después, sí le enseñase algunas técnicas de disección²⁶. Primero comenzó en animales, luego prosiguió con humanos. De manera prácticamente clandestina, diseccionó aproximadamente 30 cuerpos durante su vida, tanto en sus estancias en Florencia y Milán como en Roma, soportando condiciones paupérrimas de higiene y con instrumentos muy rudimentarios^{20,21}.

Alrededor de los años 1506 a 1508, Leonardo se siente capaz de enfrentar el desafío y, gracias a sus conocimientos como escultor en el manejo de moldes para esculturas en bronce, inventa una novedosa técnica de estudio de la anatomía cerebral mediante el vaciado de cera líquida inyectada en el interior de cerebros de bovinos para crear moldes y así comprender mejor su anatomía tridimensionalmente^{4,11,12,14,20,27}. Para llevar a cabo el experimento, se deduce que hizo varios y que ya había diseccionado cerebros bovinos previamente; realizó perforaciones en el lóbulo frontal para que actuaran como orificios de salida del aire y luego inyectó la cera líquida caliente en el cuarto ventrículo. Al enfriarse la cera se solidificó y tomó la forma de su continente. Luego, diseccionó el tejido cerebral y de esta manera pudo obtener un molde exacto del sistema ventricular bovino. Al hacerlo, descubre que el primer ventrículo no es único sino que en realidad está formado por dos cuerpos laterales y de paso, hace la primera descripción del foramen que posteriormente recibiría el nombre de Monro (1700-1757)^{4,12,21,27}. La figura 7 muestra los resultados de su experimento técnico con cerebros de bovino y cómo cambió su comprensión de la anatomía cerebral desde el punto de partida ilustrado en la figura 6.

El experimento de Leonardo de la inyección de cera en los ventrículos cerebrales es considerado como uno de los testimonios más inspiradores del origen empírico del método científico moderno²⁷.

En la figura 8, conocida como la “Lámina de Weimar”, destacan dos dibujos sobre el sistema nervioso y otro sobre anatomía del sistema urogenital²⁸. En el dibujo principal se refleja la evolución de la concepción anatómica de Leonardo sobre el sistema ventricular cerebral, bastante más precisa y cercana a nuestro entendimiento actual. En este dibujo se aprecia cómo los

nervios ópticos convergen en la base del tercer ventrículo y no en los cuernos frontales de los ventrículos laterales, por lo que Leonardo desplaza el *sensus communis* a esa cavidad, lo que coincide exactamente con los análisis geométricos que había realizado en la serie de dibujos sobre cráneos en 1489^{11,14}. Adicionalmente, en esta extraordinaria lámina se encuentra un segundo dibujo que representa un novedoso método de ilustración anatómica desarrollado por Leonardo, representando de manera separada las partes de la cabeza mediante lo que hoy en dibujo técnico se denomina “vista explosionada”: la parte superior corresponde a la calota (removida para poder visualizar el contenido de la bóveda craneana), en el centro se encuentra el cerebro y sus conexiones, y en la parte inferior, la base del cráneo con sus repliegues de duramadre (figura 8)²⁸.

Con todo este conocimiento, esta vez adquirido por la propia observación y experimentación, Leonardo rompe con los dogmas imperantes y redefine las funciones de las tres cavidades ventriculares. A la primera de las cavidades (incluidos sus cuernos laterales) la denomina “imprensiva”, y la relaciona con el juicio e intelecto, lo que se aproxima bastante a las funciones cognitivas del lóbulo frontal; a la segunda cavidad la denomina “senso comune” (inspirado en el *sensus communis* de los griegos), conservándole el papel de funcionar como la convergencia de los sentidos, pero a la vez la relaciona con el comando de los movimientos, destacando así la función integradora del cerebro; y finalmente a la “memoria”, ubicada en la fosa posterior, la caracteriza como el lugar donde se almacenan los recuerdos^{11,14}. Así, Leonardo se convierte en uno de los pioneros en la localización de las funciones cerebrales.

No existen ilustraciones anatómicas del cerebro hechas por Leonardo posteriores al año 1508^{20,21}, por lo que al parecer, o se encontró conforme con sus conclusiones sobre la búsqueda del alma¹⁴ o se enfrentó a limitaciones técnicas infranqueables que le impidieron seguir avanzado en sus estudios al respecto, prosiguiendo con sus múltiples otros intereses.

Las emociones, el control del movimiento y el sistema nervioso periférico

Leonardo, en sus días en la *bottega* con Verrochio, escribe en sus notas: “... el secreto del movimiento y la expresión de las emociones humanas, tan vital para el artista, yace en los nervios y músculos del cuerpo”^{20,21}. En su afán de



Figura 8. “Lámina de Weimar” (1508). Evolución del conocimiento de Leonardo sobre la anatomía del cerebro. Se observa la *imprensiva*, *sensu comune* y la *memoria*. Los nervios ópticos convergen en la base del tercer ventrículo y no en la primera cavidad ventricular. En el dibujo inferior derecho se observa una “vista explosionada” que muestra las partes separadas de la cabeza y el cerebro. Los nervios craneanos se encuentran en pares y se identifican con letras^{20,21,28}. KK6287v. Reproducido con la autorización de Kunstsammlungen de Weimar, Weimar, Alemania

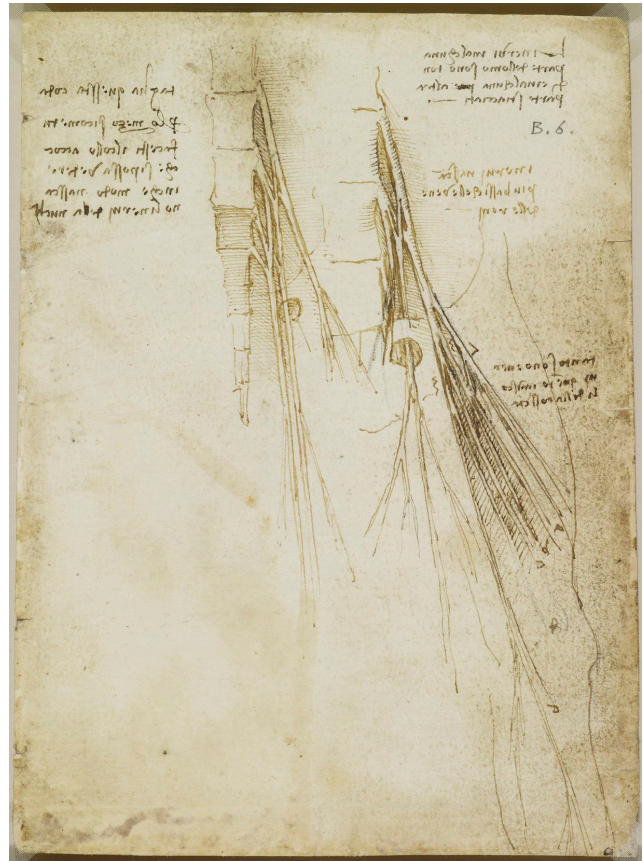
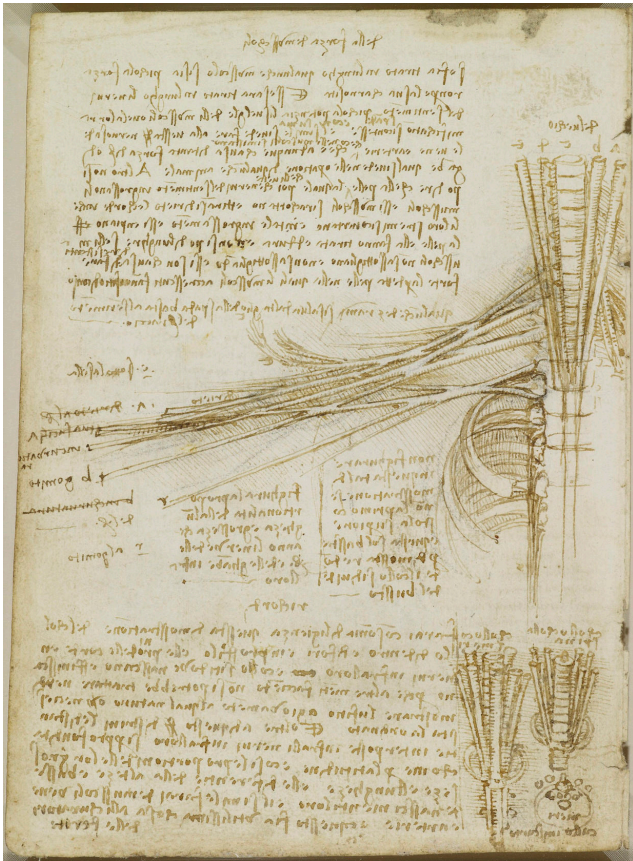


Figura 9 (izquierda). Plexo braquial (1508). Ilustración del plexo braquial donde se observan de manera detallada los troncos superior, medio e inferior. La relación anatómica de divisiones y cordones se hace más imprecisa y se reconstituye en las ramas terminales^{20,21}. RCIN 919020v. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

Figura 10 (derecha). Plexo lumbosacro (1508). Disección del plexo lumbosacro, donde se observa el nervio femoral y sus múltiples ramas en el muslo, el nervio obturador y, en un error que le fue sistemático, el nervio ciático duplicado^{20,21}. RCIN 919023r. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

comprender la relación entre las emociones, la expresión facial y el control neurológico de estas, hizo estudios sobre los nervios craneanos y su estrecha relación con el cerebro y el alma^{20,21}. En la célebre “Lámina de Weimar” (figura 8) observamos cómo dibuja los nervios craneanos en pares, identificándolos por letras y no por números²⁸. Aquí equivoca el origen aparente de los nervios, ya que no identifica al troncoencéfalo como estructura intracraneana, pero sí acierta con la relación anatómica de los nervios ópticos y olfatorios, y con el largo trayecto del nervio vago. En esta lámina también hay un texto esclarecedor con respecto a sus intenciones: “... dibuja los nervios que mueven los ojos en cualquier dirección y

sus músculos; y haz lo mismo con sus párpados, con las cejas, las fosas nasales, mejillas y labios, y todo lo que se mueve en la cara del hombre...”²¹.

En la figura 5 vemos con más detalle y precisión la estrecha relación entre los nervios ópticos, nervios olfatorios y el quiasma óptico. Ya se comentó que Leonardo fue el primero en considerar al nervio olfatorio como un nervio craneano¹². Adicionalmente, se observa la disección de la pared lateral de ambos senos cavernosos, exponiendo los nervios oculomotores, abducens y las ramas oftálmicas de ambos nervios trigéminos¹⁴.

Leonardo prosigue con estudios del sistema nervioso periférico y su relación con el control del movimiento. Al respecto, y para comprender las limitaciones que tuvo, es importante recordar que en esta época no existían técnicas de fijación y conservación, lo que ocasionaba que en pocas horas las fibras nerviosas comenzaran a reblandecerse y descomponerse²¹. Esto hizo que la disección de nervios fuera especialmente dificultosa y que con frecuencia se confundieran con tendones⁴. A las delgadas fibras nerviosas que inervan los músculos, Leonardo las denominó “membranas nerviosas” y las describió como *quasi insensibile* (casi imperceptibles)¹².

La figura 9 es el resultado final de una serie de dibujos sobre el plexo braquial, en los que va depurando su técnica hasta describir con precisión los troncos superior, medio e inferior^{21,29}. Si bien la relación anatómica de divisiones y cordones se hace más imprecisa, se recompone en otros dibujos sobre la inervación del brazo, donde se reconocen con claridad sus ramas terminales, los nervios radial, ulnar y mediano^{20,21,29}. Leonardo, una vez más, no estaba interesado solo en la estructura anatómica de manera pasiva, sino en cómo esta se relacionaba con el movimiento y con la vida propiamente dicha. De esta manera, sus observaciones sobre el plexo braquial se basan no solo en disecciones, sino también en la lesionología, ya que llegó a describir cómo determinadas lesiones, en ciertas zonas del brazo, podían afectar la sensación y la funcionalidad de la extremidad de manera diferente^{21,29}. De esta manera, Leonardo también se constituye en uno de los pioneros en el estudio de la anatomía funcional.

En cuanto al plexo lumbosacro, existen menos estudios que sobre el plexo braquial; no obstante hay claros registros sobre técnicas de disección desarrolladas por Leonardo para poder desentrañar la complejidad del laberinto pélvico. “Hay tantos nervios como músculos hay en el muslo”, apuntó en sus notas^{21,30}. La figura 10 muestra uno de sus mejores dibujos sobre el plexo lumbosacro y los nervios de la pierna, donde se observa el nervio femoral y sus múltiples ramas en el muslo, el nervio obturador, y, en un error que le fue sistemático, el nervio ciático duplicado^{20,21,30}. En cuanto a la anatomía funcional de las extremidades inferiores, Leonardo hace interesantes observaciones sobre la acción de músculos agonistas y antagonistas, su mutua dependencia y necesaria coordinación, anticipándose varios siglos a Sherrington (1857-1952)²¹.

Finalmente, en un poco conocido dibujo, Leonardo realiza una de las primeras representaciones del sistema nervioso central y periférico como un todo integrado (figura 11), donde la médula espinal, en sus palabras “árbol de todos los nervios”²¹, una vez más tiene un papel fundamental. Leonardo registró en sus notas que “todos los nervios provienen manifiestamente de la médula espinal (...) y la médula espinal consiste de la misma sustancia que el cerebro, del cual es derivada”^{4,20,21}. De sus experimentos con ranas, a las que provocó la muerte inmediata al seccionarles la médula espinal en su unión con el cerebro, Leonardo dedujo que en ella radicaba el sentido del tacto y el origen de todo movimiento^{11,21,31}. No obstante, Leonardo aquí también se equivoca al seguir la tradición de Hipócrates y Platón de creer que en la médula espinal radicaba la *virtu gienjtua*, o “poder generativo” de la vida, es decir, la producción del semen^{11,14}.

En el dibujo de la figura 11 destaca la representación del cuerpo en movimiento y, por ende, la relación funcional del mismo con el sistema nervioso. Nuevamente, es llamativo el largo trayecto del nervio vago^{20,21}.

Leonardo prosiguió con sus estudios sobre anatomía funcional, abarcando prácticamente todos los sistemas²⁰, destacando en particular aquellos sobre el sistema cardiovascular^{32,33}, donde aplicó sus conocimientos de mecánica e hidráulica para comprender la fisiología del cierre de las válvulas cardíacas³⁴.

El frustrado tratado de anatomía, el hombre sin letras y el nacimiento de los códices

Ya en 1489, durante su primera estancia en Milán, Leonardo escribe en sus notas que tiene en mente realizar un estudio comprensivo del cuerpo humano que considere “venas, nervios, músculos y huesos”. Lo llama *De la figura humana*^{11,14}. El “Hombre de Vitruvio” (1490) habría sido parte de este proyecto. Dicho libro nunca salió a la luz. Famoso por no terminar nada^{9,10}, y luego de años de estudios anatómicos, durante su segunda estancia en Milán, se propuso plasmar todo lo aprendido en un tratado de anatomía, a realizar con su amigo anatomista de la Universidad de Pavía, Marcantonio della Torre, con quien estuvo trabajando intensamente entre los años 1509 y 1511²⁶. Lamentablemente, della Torre fallece de la peste en 1511^{20,26}, quedando, una vez más, la obra inconclusa^{19,20}. Con su publicación se habría adelantado treinta años a *De humanis corporis*



Figura 11. El sistema nervioso central y periférico integrados (1508). Dibujo que grafica como un todo integrado al sistema nervioso central y periférico, y el papel de ambos en el control del movimiento, como se sugiere en el pequeño hombre que se encuentra en el centro. Destaca también el nervio vago con su largo trayecto²¹. RCIN 919034v. Royal Collection Trust / © Her Majesty Queen Elizabeth II 2020

fabrica (1543), el primer tratado de anatomía moderna, realizado por Andreas Vesalius (1514-1564) e ilustrado por el discípulo de Tiziano, Jan Stefan van Calcar (1499-1546)^{19,21,35}.

Así, Leonardo trabajó al margen de la ciencia³⁶. Sus extraordinarios descubrimientos tan bellamente ilustrados en sus dibujos nunca se publicaron y una vez muerto, pasan al olvido^{11,18,20,37}. Su asistente, el milanés Francesco Melzi, estuvo 50 años en su villa de Vaprio d'Adda, en Bellagio, organizando grupos de trabajo para ordenar y clasificar las más de 7200 páginas de textos y dibujos que Leonardo le legó en herencia^{9,14,20}. Cuando Francesco Melzi muere en 1570, los manuscritos se disgregan para siempre, dando origen a los “códices” (25 en total). En su gran mayoría, los códices van tomando el nombre del lugar que los atesora o el de las familias que los adquirieron (p. ej., *Códice Madrid I y II* o *Códice Leicester*, respectivamente)^{2,9,20}.

Se ha estimado que la suma actual de los manuscritos conservados supone solo el 25% del total de documentos legados por Leonardo a Melzi⁹.

Pompeo Leoni (1533-1608), el escultor preferido de Felipe II², quien viajaba con frecuencia entre Italia y España, se interesa en los manuscritos y dibujos de Leonardo, recopilando una serie de documentos, encontrándose entre ellos sus dibujos anatómicos^{9,20,21}. La “Lámina de Weimar” (figura 8) perteneció a la misma recopilación encuadrada por Leoni, pero fue arrancada del libro para aparecer unos siglos después en el *Kunstsammlungen* de Weimar, donde formó parte de la colección de arte de Goethe sobre maestros italianos²⁸. Cuando fallece Leoni, los dibujos anatómicos pasan al poder del coleccionista Thomas Howard, 21^{er} conde de Arundel, quien los lleva a Inglaterra. No es claro cómo llegan a formar parte de la Royal Collection, estimándose que habrían sido comprados durante el reinado de Carlos II de Inglaterra, entre 1660 y 1665²⁰. Según los registros, en 1690 aparecen en el catálogo del Palacio de Kensington del Rey Guillermo III²⁰, pasando a conservarse luego en los archivos del Palacio de Windsor^{2,20,21}. Allí permanecieron olvidados durante casi un siglo. En 1773 son redescubiertos por el anatomista escocés William Hunter, quien les reconoce su invaluable mérito y belleza^{2,20}. Nace el *Códice Windsor*. Hunter planea publicar los dibujos, pero muere en 1781, por lo que una vez más se retrasa su difusión al mundo^{2,20}. En 1883 Jean Paul Richter traduce los cuadernos de notas de

Leonardo y los publica², pero de los dibujos anatómicos solo se editan algunos como facsímiles entre los años 1898 y 1916²⁰. Finalmente, una edición completa de la obra es publicada por primera vez entre 1978 y 1980^{20,38}.

Leonardo hoy, su legado y la fusión del arte con la ciencia

Salvo un *Tratado de la pintura*, que se publicó póstumamente en 1651, Leonardo guardó el secreto de sus magníficos hallazgos. Al no estar relacionado con el mundo académico de la época, sus trabajos quedaron al margen de la historia. Nos dice el historiador de la ciencia Desiderio Papp: “... su verdadera influencia sobre el desarrollo de las ciencias fue menor, en mucho, que la de algunos espíritus mediocres comparados con el suyo...”³⁶. Para algunos autores, incluso es cuestionable si debemos considerar a Leonardo como un anatomista propiamente tal^{2,19,35}. Tal como se ha comentado, no tuvo formación médica, no publicó nada de sus trabajos, no enseñó a otros sus descubrimientos, y más importante, sus motivaciones fueron radicalmente diferentes. Si bien revolucionó la manera de estudiar la anatomía, más que por interés en la morfología, Leonardo se movía por la necesidad de desarrollar una visión filosófica de la unidad del hombre con la naturaleza: la relación entre el microcosmos y el macrocosmos de Platón^{1,20}. Una visión donde era fundamental la comprensión de cómo cada componente —ser vivo o materia inerte— engrana de manera perfecta en un único sistema armónico que funciona regido por un puñado de leyes matemáticas¹⁹ y que no es otro que, en palabras de Kenneth Clark, “el misterio mismo de la creación”³⁹.

Dada su carencia de educación formal y su escaso manejo del latín, Leonardo se describía a sí mismo como un “discípulo de la experiencia” y un “omo sanza lettere”, es decir, “un hombre sin letras”^{2,3,9,10,24}. Destacó por su escritura especular en dialecto toscano y su mala ortografía⁴⁰. De hecho, uno de sus principales biógrafos, Walter Isaacson, plantea una interesante paradoja, y es que, para Leonardo, la carencia de formación académica fue más bien una ventaja que le permitió desarrollar su propia cosmovisión otorgándole la libertad para generar conocimiento desde la experiencia y alejarse de la tradición clásica^{9,35}.

No obstante, Leonardo en vida ya era un personaje muy admirado no solo por la extraordinaria calidad de su obra como artista, sino también por sus múltiples talentos y habilidades^{2,41}. Según Carmen Bambach, “no puede

enfatzarse lo suficiente... [que] la dimensión pedagógica de la actividad de Leonardo como artista iba a ser de una influencia duradera²². Rafael Sanzio, admirador suyo, lo pintó como Platón en el centro de su *La Escuela de Atenas* en el Vaticano (con el “Tadeo” en su mano izquierda)^{2,9} y el mismísimo rey de Francia, Francisco I, lo invita a vivir al palacio de Clos-Lucé, vecino a su castillo en Amboise, para que tuviera tiempo, libertad y recursos para desarrollar sus proyectos, y de paso, llevar el Renacimiento a Francia⁴². Con esta fama, una vez muerto, muchos peregrinaron para ver con sus ojos el tesoro de los manuscritos y dibujos custodiados por Melzi en Vaprio d’Adda^{14,20}. Se hicieron múltiples copias de sus dibujos y se plagieron sus ideas, siendo rara vez citado o agradecido¹⁴. Para autores como Charles Gross, la fama que adquirió Leonardo en el norte de Italia como artista-anatomista y las técnicas naturalísticas que desarrolló para ilustrar la anatomía fueron una verdadera “punta de lanza” para el nacimiento de una nueva anatomía, haciendo posible el trabajo posterior de Vesalius y contribuyendo al nacimiento de la Anatomía moderna⁴³.

De esta manera, es muy difícil dimensionar el verdadero impacto que tuvo Leonardo en el desarrollo posterior de las artes y las ciencias en la cultura occidental.

Pero si hay alguien que se vio influenciado por sus investigaciones y estudios anatómicos, fue el mismo Leonardo¹¹. En su largo camino de aprendizaje, realizó múltiples dibujos sobre la fisonomía facial y la relación de los músculos con el movimiento y la expresión de las emociones. Es imposible no pensar en las miradas y expresiones presentes en los cuadros de Leonardo y en cómo, en la medida que fue comprendiendo mejor la unidad del cerebro con el cuerpo, y de este con la naturaleza, fue otorgándole alma a los cuadros que pintaba.

En *Ginevra de Benci* (1474) (figura 12), un trabajo previo a sus estudios anatómicos y el primer retrato que pintó Leonardo, hay una mirada vacía e inexpresiva, carente de alma¹¹, mientras que en la célebre *Mona Lisa* (1503-1509) (figura 13), un trabajo posterior a sus disecciones, se puede apreciar una mirada profunda y evocadora, que refleja la complejidad del alma. En la mirada de la *Mona Lisa* confluyen sus estudios de óptica, de percepción visual, de la expresión de las emociones y de la relación de estos con el *senso comune*^{8,11}. La “sonrisa inalcanzable”, como se ha denominado a la enigmática expresión



Figura 12. Retrato de Ginevra de Benci (1474). Trabajo previo a las disecciones anatómicas y primer retrato que pintó Leonardo. Se aprecia una mirada vacía e inexpresiva, carente de alma²¹¹. National Art Gallery, Washington D. C.

que Leonardo otorgó a muchos de sus retratos, es otro ejemplo de ello^{44,45}. Estudios recientes han sugerido que la *Mona Lisa* solo sonríe con la mitad inferior izquierda de la cara, a la manera de una sonrisa fingida⁴⁶. Se ha especulado sobre si Leonardo estaba consciente de este efecto, lo que es bastante probable considerando sus conocimientos sobre fisonomía y la inervación de los músculos de la cara⁴⁶.

Para lograr estos efectos y poder plasmar en su arte su pensamiento filosófico y sus conocimientos anatómicos, Leonardo fue perfeccionando e innovando en su técnica pictórica, experimentó con distintos tipos de pigmentos y superficies, jugó con la óptica y la perspectiva, trabajó con el claroscuro e inventó el *sfumato*^{2,9,10}.

El *sfumato* (esfumado) se obtiene al aplicar múltiples capas de pintura (hasta 20 o 30), tan finas como 2 μm en las partes más delgadas y hasta 30 μm en las partes más gruesas⁴⁷, proporcionando a las formas contornos imprecisos y una graduación de tonos de colores apenas



Figura 13. *La Mona Lisa* (1503-1509). Trabajo posterior al inicio de las disecciones anatómicas; se aprecia una mirada profunda y evocadora, que refleja la complejidad del alma. En ella convergen sus estudios de percepción visual, de la expresión de las emociones y de la relación de estos con el *sensu comune*. Su “sonrisa inalcanzable”, y el *sfumato*, son otro ejemplo de ello^{8,43}. Museo del Louvre, París

perceptible. Luces y sombras se superponen como el humo, dando a la composición un aspecto de antigüedad, lejanía y perspectiva⁴⁷. En palabras de Gombrich, “el contorno borroso y los colores suaves permiten que una forma se funda con otra dejando siempre algo a la imaginación”^{9,48}. Gracias al *sfumato*, en la obra de Leonardo la figura humana logra la unidad con la naturaleza, al fusionarse de manera casi imperceptible con su entorno^{45,47}.

Leonardo, genio irreplicable e inclasificable, nos hace evidente que para él, en la aproximación hacia la

comprensión de la naturaleza y en su visión epistémica del proceso creativo², no existía diferencia entre el arte y la ciencia^{1,19,49}. Los límites entre ambas también se difuminan y confunden, y en su visión global del conocimiento va implícita la búsqueda de la belleza, no solo estética, sino conceptual. Nos dice en sus cuadernos: “... para tener una mente completa, estudia el arte de la ciencia y la ciencia del arte, desarrolla tus sentidos, en especial aprende a ver. Date cuenta que todo está conectado con todo lo demás...”²⁴.

Fritjof Capra reconoce hoy en Leonardo lo que él denomina “pensamiento sistémico”, es decir, una aproximación al conocimiento con una comprensión holística e integradora del todo y sus procesos⁵⁰. Una vez más, el microcosmos y el macrocosmos.

Así, el legado de Leonardo va mucho allá de su obra pictórica, sus innumerables primeras descripciones anatómicas o sus máquinas extraordinarias, ya que radica fundamentalmente en los métodos que empleó, en su concepción integral del conocimiento y en su visión de unidad del hombre con la naturaleza como un sistema integrado, indivisible e interdependiente^{1,19}.

Leonardo hoy sigue siendo un personaje actual e inabarcable. Su obra es estudiada exhaustivamente, y son frecuentes las nuevas lecturas, revisiones y redescubrimientos^{2,9}. Recientemente, una desconocida reflexión suya presente en el *Códice Atlántico* ha salido a la luz, apuntando directamente a la importancia de las humanidades médicas:

... los medicamentos cuando son bien utilizados devuelven la salud a los enfermos: serán bien utilizados cuando el médico junto con su comprensión de la naturaleza de la enfermedad comprenda también qué es el hombre, qué es la vida, qué es la salud y de qué se constituye⁵¹.

Cinco siglos después de su muerte, para algunos autores, hoy no estamos más cerca de lo que estuvo Leonardo de desentrañar el misterio del alma y de su relación con el cerebro¹². Leonardo detiene sus investigaciones sobre el sistema nervioso en 1508, en parte por no contar con los métodos técnicos para seguir avanzado en sus estudios anatómicos y fisiológicos (el microscopio lo inventaría Janssen en 1590)⁵². De esta manera, Leonardo hoy quizás sería un neurocientífico que seguiría investigando el funcionamiento del sistema nervioso. Tal como aplicó la mecánica y la hidráulica para comprender mejor el funcionamiento del cuerpo humano, y como lo hizo

Cajal en su época, aplicaría la tecnología disponible, perfeccionándola, para poder así poder desentrañar los insondables misterios del cerebro humano, la estructura más compleja de la evolución y el verdadero puente entre el microcosmos y el macrocosmos.

Conclusiones

En la búsqueda de la relación del macrocosmos con el microcosmos, y del lugar donde reside el alma, Leonardo se inspira en la teoría platónica cefalocéntrica, por lo que se fascina primero con los cráneos y luego con el sistema nervioso propiamente como tal, revolucionado la manera de estudiar e ilustrar la anatomía. Pionero en el estudio de la anatomía funcional y en la localización de las funciones cerebrales, realiza grandes descubrimientos en la anatomía y fisiología del sistema nervioso. Sin embargo, el legado de Leonardo de Vinci en la Medicina en general, y en las Neurociencias en particular, estuvo oculto por siglos. Sin acceso a los círculos académicos formales, sus extraordinarios descubrimientos magníficamente registrados en sus dibujos anatómicos no tuvieron mayor influencia en el desarrollo posterior de las neurociencias, algo que sí logró en ámbitos como el dibujo y la pintura. No obstante, y sin perjuicio de la fama que logró en vida, el legado de Leonardo va mucho allá de los contenidos y conceptos, ya que radica fundamentalmente en los métodos, y en su visión de la unidad del hombre con la naturaleza como un sistema integral. Nuestras propias limitaciones nos llevan a intentar encasillarle según nuestros paradigmas contemporáneos, pero Leonardo no distingue el arte de la ciencia por lo que aborda el conocimiento de la naturaleza y sus procesos de una manera global, buscando una explicación racional y unificadora para todo. Para Leonardo, en este verdadero “pensamiento sistémico”, los órganos de los sentidos y la capacidad integradora del cerebro tienen un papel fundamental. Se anticipó al método científico, y mediante la observación acuciosa de la naturaleza nos legó un mundo —y a un hombre— distinto al que conocíamos.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de interés.

Bibliografía

- Leonardo's unity. *Lancet*. 2019;393:1386.
- Bambach CC. Leonardo da Vinci rediscovered. New Haven (USA): Yale University Press; 2019.
- Remuzzi G, Ricciardi W. Why and how did Leonardo happen: the Renaissance context. *Lancet*. 2019;393:1396-7.
- Pevsner J. Leonardo da Vinci's studies of the brain. *Lancet*. 2019;393:1465-72.
- Catani M, Mazzarello P. Grey Matter Leonardo da Vinci: a genius driven to distraction. *Brain*. 2019;142:1842-6.
- Bayat M. Pioneers in neurology: Leonardo da Vinci (1452-1519). *J Neurol*. 2020; 267:2176-8.
- Cambiaghi M, Hausse H. Leonardo da Vinci (1452-1519) and the legacy of a “Renaissance neurologist”: 500 years after. *Neurology*. 2019;93:717-8.
- Kemp M, Pallanti G. *Mona Lisa: the people and the painting*. Oxford: Oxford University Press; 2017.
- Isaacson W. *Leonardo da Vinci: the biography*. New York: Simon & Schuster; 2017.
- Nicholl C. *Leonardo: el vuelo de la mente*. Madrid: Taurus; 2005.
- Widmer DA. Neuroanatomy in art: Leonardo da Vinci's senso comune. *J Hist Neurosci*. 2006;15:17-20.
- Pevsner J. Leonardo da Vinci's contributions to neuroscience. *Trends Neurosci*. 2002;25:217-20.
- Bennett MR. Development of the concept of mind. *Aust N Z J Psychiatry*. 2007;41:943-56.
- Del Maestro RF. Leonardo da Vinci: the search for the soul. *J Neurosurg*. 1998;89:874-87.
- López-Muñoz F, Alamo C, García-García P. La neurofisiología cartesiana: entre los spiritus animalis y el conarium. *Arch Neurocienc*. 2010;15:179-93.
- Pasipoularides A. Historical continuity in the methodology of modern medical science: Leonardo leads the way. *Int J Cardiol*. 2014;171:103-15.
- Tubbs RI, Gonzales J, Iwanaga J, Loukas M, Oskouian RJ, Tubbs RS. The influence of ancient Greek thought on fifteenth century anatomy: Galenic influence and Leonardo da Vinci. *Childs Nerv Syst*. 2018;34:1095-101.
- Laurenza D. Leonardo's contributions to human anatomy. *Lancet*. 2019; 393:1473-6.
- Kemp M. Leonardo's philosophical anatomies. *Lancet*. 2019;393:1404-8.
- Clayton M, Philo R. *Leonardo da Vinci: anatomist*. Londres: Royal Collection Publications; 2012.
- Todd EM. *The neuroanatomy of Leonardo da Vinci*. Santa Barbara (USA): Capra Press; 1983.
- Roberts A. Drawing inspiration from Leonardo. *Lancet*. 2019;393:1402-3.
- Keele KD. Leonardo da Vinci on vision. *Proc R Soc Med*. 1955;48:384-90.
- Richter I, Wells T, Kemp M. *Leonardo da Vinci: notebooks (Oxford World's Classics)*. Londres: Oxford University Press; 2008.
- Engelhardt E. Cerebral localization of the mind and higher functions: the beginnings. *Dement Neuropsychol*. 2018;12:321-5.
- Picardi EEE, Macchi V, Porzionato A, Boscolo-Berto R, Loukas M, Tubbs RS, et al. Marco Antonio della Torre and Leonardo da Vinci. *Clin Anat*. 2019;32:744-8.

27. Di Stefano N, Ghilardi G, Morini S. The cerebral ventricles in Leonardo's anatomical drawings. *Lancet*. 2019;393:1412.
28. Schultheiss D, Laurenza D, Götte B, Jonas U. The Weimar anatomical sheet of Leonardo da Vinci (1452-1519): an illustration of the genitourinary tract. *BJU Int*. 1999;84:595-600.
29. Nwaogbe C, D'Antoni AV, Oskouian RJ, Tubbs RS. The Italian master Leonardo da Vinci and his early understanding of the brachial plexus. *Childs Nerv Syst*. 2019;35:5-6.
30. Rai R, Loukas M, Tubbs RS. Leonardo da Vinci and his contribution to our understanding of the lumbosacral plexus. *Childs Nerv Syst*. 2019;35:2021-2.
31. Bowen G, Gonzales J, Iwanaga J, Fisahn C, Loukas M, Oskouian RJ, Tubbs RS. Leonardo da Vinci (1452-1519) and his depictions of the human spine. *Childs Nerv Syst*. 2017; 33:2067-70.
32. Rigatelli G, Zuin M. Leonardo da Vinci and patent foramen ovale: an historical perspective. *Int J Cardiol*. 2016;222:826.
33. Sterpetti A. Cardiovascular research by Leonardo da Vinci (1452-1519). *Circ Res*. 2019;124:189-91.
34. Robicsek F. Leonardo da Vinci and the sinuses of Valsalva. *Ann Thorac Surg*. 1991;52:328-35.
35. Barnett R. Leonardo da Vinci. *Lancet*. 2019;393:1409-10.
36. Papp D. Historia de las ciencias: desde la antigüedad hasta nuestros días. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello; 1996.
37. Clayton M. Leonardo da Vinci: the anatomy of man. Houston (USA): Museum of Fine Arts; 1992.
38. Clark, K, Pedretti C. Leonardo da Vinci, corpus of the anatomical studies in the collection of Her Majesty, the Queen, at Windsor Castle. Londres: Harcourt, Brace, Jovanovich; 1978.
39. Clark K. Leonardo da Vinci: an account of his development as an artist. London: Cambridge University Press; 1952.
40. Sartori G. Leonardo da Vinci, omo senza lettere: a case of surface dysgraphia? *Cognitive Neuropsychology*. 1987;4:1-10.
41. Vasari G. Las vidas de los más excelentes arquitectos, pintores y escultores italianos desde Cimabue a nuestros tiempos. Madrid: Cátedra; 2012.
42. Pedretti C. Leonardo da Vinci and France. Poggio a Caiano: CB Edizioni; 2011.
43. Gross CG. Leonardo da Vinci on the brain and eye. *Neuroscientist*. 1997;3:347-54.
44. Soranzo A, Newberry M. The uncatchable smile in Leonardo da Vinci's La Bella Principessa portrait .*Vision Research*. 2015;113:78-86.
45. Ball, P. Behind the Mona Lisa's smile. *Nature*. 2010;466:694.
46. Marsili L, Ricciardi L, Bologna M. Unraveling the asymmetry of Mona Lisa smile. *Cortex*. 2019;120:607-10.
47. De Viguerie L, Walter P, Laval E, Mottin B, Solé VA. Revealing the sfumato technique of Leonardo da Vinci by X-ray fluorescence spectroscopy. *Angew Chem Int*. 2010;49:6125-8.
48. Gombrich E. The story of art. London: Phaidon Press; 1995.
49. Kickhöfel EH. Sine ars scientia nihil est: Leonardo da Vinci and beyond. *Epilepsy Behav*. 2009;14 Suppl 1:5-11.
50. Capra F. Learning from Leonardo: decoding the notebooks of a genius. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers; 2013.
51. Tambone V, Lauri G, Guarino MPL, Campanozzi LL, Ciccozzi M. Leonardo's folio 730 recto: lessons for the medical humanities. *Lancet*. 2019;393:1411-2.
52. Wollman AJM, Nudd R, Hedlund EG, Leake MC. From animaculum to single molecules: 300 years of the light microscope. *Open Biol*. 2015;5:150019.