

Filogénesis del sistema nervioso y la conciencia

Gianfranco Faccini-Durán¹  

Resumen

Introducción: a lo largo de la historia se han desarrollado sistemas de conciencia que han permitido interpretar el entorno de una forma más acertada. En nuestra especie, dichos sistemas facilitaron que se dominara la materia y que se desarrollaran aspectos neurofisiológicos tan complejos que nos posibilitan preguntarnos sobre nuestro origen, fisiología y existencia.

Materiales y métodos: se recolectaron datos de varias fuentes, de diversas bibliotecas, que incluyen neuroanatomía, psicología y etología, así como datos obtenidos de la geología, la paleontología y la arqueología que nos orientan para reconstruir la historia filogenética y relacionarla con los conocimientos actuales de neurología y psiquiatría.

Resultados: en las especies, la aparición de sistemas complejos, como el sistema nervioso, expresa su mayor exponente en el sistema nervioso humano. Esto, a partir de estrategias evolutivas estables, ha abierto el camino para desarrollar sistemas de conciencia más sofisticados como el humano.

Discusión: las diversas hipótesis que intentan explicar el origen de nuestro cerebro han revelado datos que permiten comprender e interpretar diferentes formas de conciencia, primitivas y complejas, que con gran dificultad permiten reconstruir dicho origen, desde diversos aspectos neurofisiológicos que nos llevan a intentar comprender la estructura misma de la psique, que parece desarrollarse funcional y filogenéticamente a partir de capas profundas hasta capas superficiales.

Conclusiones: entendemos que la aparición del sistema nervioso y la conciencia tiene una historia, un proceso importante que entender para interpretar el origen de nuestro cerebro y su relación con la conciencia; sin embargo, aún quedan muchos interrogantes por interpretar.

Palabras clave: cerebro, conciencia, filogenia, fisiología, sistema nervioso, historia.

Phylogenesis of the nervous system and consciousness

Abstract

Introduction: Throughout history there have been systems of consciousness that allow us to more accurately interpret the environment, which in the case of our species allowed us to dominate matter and develop neurophysiological aspects so complex that they allow our species to wonder about its origin, physiology and existence.

Materials and methods: Data were collected from various sources from various libraries that include neuroanatomy, psychology and ethology, and data obtained from geology, paleontology and archaeology, which guide us to reconstruct the phylogenetic history and ground it with current knowledge of neurology and psychiatry.

Results: The appearance of complex systems such as the nervous system in species, expresses its greatest exponent the human nervous system, and based on stable evolutionary strategies, opened the way to develop more sophisticated systems of consciousness like ours.

Discussion: The various hypotheses that attempt to explain the origin of our brain have revealed data that allow us to understand and interpret various forms of primitive and complex consciousness, which, even with great difficulty, allow us to reconstruct said origin, from various neurophysiological aspects and that lead us to trying to understand the very structure of the psyche, it seems to develop functionally and phylogenetically, from deep layers to superficial layers.

Conclusions: We understand that the appearance of the nervous system and consciousness have a history, an important process to understand to interpret the origin of our brain and its relationship with consciousness, however, it still leaves many questions to be interpreted.

Keywords: Brain, Consciousness, Phylogeny, Physiology, Nervous System, History.

¹ Instituto Neurociencias, Alicante, España

Correspondencia/Correspondence

Gianfranco Faccini Durán, Hospital Universitario del Vinalopó, Elche, Alicante, España.

Correo-e: gianfranco.faccini@goumh.umh.es

Historia del artículo/Article Info

Recepción/Received: 4 de agosto, 2022

Evaluación/Revised: 20 de septiembre, 2023

Aceptación/Accepted: 23 de noviembre, 2023

Publicación/Published online: 20 de marzo, 2024

Citación/Citation:

Faccini-Durán G. Filogénesis del sistema nervioso y la conciencia.

Acta Neurol Colomb. 2024;40(1):e823.

<https://doi.org/10.22379/anc.v40i1.823>



Introducción

El contenido de la conciencia humana es producto de millones de años de organización de información, y esta logró desarrollarse gracias a la inmensa complejidad que exhibe la materia orgánica, que quizá como especie nunca comprenderemos en su totalidad. La organización bioquímica ha expresado innumerables formas de materia orgánica, con diversas habilidades y estrategias evolutivas estables que permitieron la adaptación entre diversas especies. En nuestro caso, las habilidades neurocognitivas nos permitieron manipular la materia como ningún otro organismo, como también generar conceptos más elaborados del mundo que nos rodea. En este artículo recordaremos algunos eslabones evolutivos que permitieron el desarrollo de una mayor complejidad de la conciencia, a partir de la evolución estructural y funcional del sistema nervioso, que describiremos a lo largo de una línea de tiempo filogenética.

Las fuentes de la vida

Mientras se fueron desarrollando los primeros elementos en el interior de las estrellas, estas con sus propios ciclos de vida permitieron la coacción de todo el material necesario para generar los elementos que conforman nuestra materia. El proceso de fusión nuclear que se da en las estrellas, incluido nuestro sol, mediante la colisión de los núcleos de los átomos del primer elemento de la tabla periódica, el hidrógeno, para formar átomos de helio, libera suficiente energía para darle vida y crecimiento a las estrellas. En este proceso, los neutrones y los protones de sus átomos colisionan y forman más orbitas de electrones para incrementar su peso nuclear, sus propiedades, y de esta forma dar lugar a la aparición de nuevos elementos (1-3).

Esta organización tiene un ciclo que permite reciclar material de las nebulosas formadas en el espacio, necesario para formar nuevas estrellas, que dejarán al finalizar su ciclo todo su material esparcido para formar a su vez otras nebulosas planetarias. Así, aparecieron nuevas estrellas, con sus sistemas planetarios circundantes, ricos en elementos como el hidrógeno, el carbono, el nitrógeno o el hierro. Se piensa que así se dio lugar a la formación de la vida en la tierra durante el eón hadeico, hace unos 4.600 millones de años. Posteriormente a ello, durante el eón arcaico, hace unos 4.000 millones de años, aparecen huellas dejadas en registros fósiles y estromatolitos de las primeras unidades autorreplicables, seres vivos que habitaron el planeta (2,4-6).

Las primeras células debieron de poseer una membrana lipídica capaz de aislar el material que configuraría su propia unidad, para sus procesos metabólicos y su supervivencia, así como para aislar sus procesos de replicación. Las membranas celulares desarrollaron proteínas a modo de receptores que pudieran identificar sustancias como toxinas o alimentos y así rechazarlos o integrarlos, respectivamente. De tal manera, una cierta entrada de información o aferencia inicia su proceso de comunicación, así como una respuesta de salida o eferencia que codifica ciertos patrones de conducta, ya como una arqueconciencia, una conciencia absolutamente primitiva, pero imprescindible para la continuación de la formación de nuevas especies durante el curso evolutivo (3,6,7).

Organización y especialización celular

A medida que la vida celular pudo organizarse, los cúmulos de células empezaron a sincronizar sus actividades para optimizar la obtención de sus requerimientos energéticos, de manera que la organización en organismos multicelulares debió de ser un proceso de gran complejidad, el cual representó una de las más grandes estrategias evolutivas estables de la historia de la biología. Gracias a la especialización celular se pudieron crear sistemas y se delegaron funciones a diferentes grupos celulares (8,9).

Especies primitivas como una medusa, una fragata portuguesa o una esponja poseen células especializadas para absorber nutrientes; otras de sostén, o para flotar si lo requieren; otras para digerir o llevar a cabo procesos metabólicos; otras para ejecutar movimientos y desplazarse, incluso otras como instrumentos de defensa para garantizar su supervivencia en un medio cada vez más hostil y con mayores competencias. Todas ellas comunicadas por señalizadores y receptores de membranas celulares que dan lugar a los diversos sistemas de comunicación intercelular (10).

Algunas células con capacidades de comunicación aun mayores, y con altos requerimientos energéticos, precursores de las neuronas, cuyos cuerpos celulares emiten señales de salida en sus axones y reciben señales en sus dendritas, iniciaron la conducción de impulsos eléctricos para recoger o para ejecutar información al interactuar con el medio. De esta manera se inició la gran expansión del sistema de eferencia y aferencia del sistema nervioso, en el que la información que se recoge permite a la especie una mejor adaptación, al ejecutar respuestas adecuadas y desarrollar estra-

tegias de predicción, característica que continuará desarrollándose hasta nuestra especie (10).

Los cordados

Durante el período cámbrico, hace unos 540 millones de años, la gran producción de oxígeno mediada por la colonización de las plantas permitió que esta organización multicelular continuara a niveles mucho más sofisticados. Durante la llamada “explosión cámbrica” vemos organismos dependientes de oxígeno que dejan atrás formas más primitivas como la simetría radial (estrellas de mar, erizos), o la asimetría característica de los poríferos (esponjas marinas). Ahora se abren nuevas posibilidades estructurales de gran eficiencia para el desarrollo de comunicación con el entorno. El desarrollo de un eje anteroposterior, orientado por la formación de la notocorda, todavía lo conservamos los humanos en nuestro período embrionario. Esta estructura dio lugar al filo de los cordados, dejando genes muy bien ubicados en el reservorio del acervo genético, ya que como vimos muchos de estos rasgos fenotípicos se conservan hasta nuestra especie (11).

Encefalización, tagmatización y metamerización

La organización de las células nerviosas en el polo anterior fomentó el desarrollo de un céfalon o cabeza, donde se desarrollaría la mayor parte de los órganos sensoriales, siendo órganos de captación de diferentes formas de información. Empieza el desarrollo de un órgano formado por neuronas, más sofisticado que solo un ganglio, constituido por varios cuerpos neuronales, en este caso los primeros esbozos de un encéfalo. El proceso de encefalización también fue acompañado de la tagmatización, el desarrollo de una cabeza, un tórax y un abdomen. Así, desde el centro de la cabeza se coordinarían procesos centrales de información, en el tórax procesos de circulación y respiración, y en el abdomen funciones de digestión y excreción. Estos especímenes, conocidos como metazoos (animales) contarán con una embriología en común, una organización embrionaria triblástica (endodermo, mesodermo y ectodermo), e incluso podemos apreciar rasgos distintivos al ver recapituladas sus fases evolutivas tanto en la ontogénica como en la filogénica (10,12).

Adicionalmente a ello, el desarrollo de una metamerización permitiría una organización fenotípica segmentaria, cada segmento proveedor de un sistema de

aferencia recogido por diversos receptores somáticos, un ganglio codificador de información y un sistema eferente encargado de ejecutar la respuesta motora, precursora del arco reflejo. También este sistema permanece hasta nuestra especie, y lo conocemos bien en la ciencia médica en los niveles medulares (10,13,14).

Recordemos también como legado de los cordados la simetría bilateral, que vemos conservada desde los insectos, los peces y los anfibios, hasta los primates y los homínidos. Los genes que dejan su información en el acervo genético y que codifican estos fenotipos, llamados genes Hox, representan a los más antiguos y estables genes que conformarán las bases estructurales de las de especies, incluida la nuestra (15,16).

Diversidad funcional y sistémica

Ya desde los cefalópodos y posteriormente en los peces, encontramos grandes capacidades para relacionarse con el medio: los ojos, que permiten un sistema de predicción sin precedentes, con fotorreceptores adaptados para captar fotones del entorno; o el oído, con capacidad de detectar ondas sonoras; y un sistema olfativo, que permite identificar fuentes de alimento o toxinas durante la búsqueda de fuentes de energía (17,18).

Pasamos ahora a los sistemas motores, que permiten a los organismos adaptarse al entorno y nadar libremente, con actos volitivos que los lleven a alcanzar una pareja para reproducirse, o llegar de forma eficiente a las diversas fuentes de energía y alimento. Vemos acá representado el acto volitivo como un escalón más en el nivel de conciencia del organismo, estado generado por una motivación, y que además permite una mayor capacidad de direccionamiento de sus decisiones, cuya responsabilidad induce a un mayor discernimiento a la hora de tomar decisiones que impliquen garantizar su supervivencia (10,17).

El desarrollo de mayores fuentes de información aferente que ingresa al tálamo (excepto el olfato) para ser procesada y decodificada antes de llegar al umbral de la conciencia, impulsó el desarrollo de un sistema tálamo cortical, que no solo inicia mejores capacidades de predicción, sino que impulsa una carrera evolutiva sin precedentes hasta nuestra especie, y representa el mayor y más complejo sistema de interpretación consciente en la biología (19).

El sistema nervioso autónomo, por su parte, representa el completo equilibrio vegetativo de funciones vitales asociado a una autorregulación de funciones viscerales: el “ying y yang” de la biología autonómica.

El sistema simpático y el parasimpático representan a este símbolo, el primero actuando en funciones de huida o ataque, incrementando el flujo sanguíneo a los músculos, aumentando la frecuencia cardíaca y respiratoria y dilatando las pupilas para permitir una mayor entrada de fotones a la retina, mientras que el sistema parasimpático cumplirá funciones opuestas, regresando el flujo sanguíneo a las vísceras en pro de funciones digestivas y el reposo de las actividades musculares (14,20).

Nuevas hormonas estimuladas desde el hipotálamo a la hipófisis y la creación de nuevos ejes neuroendocrinos alcanzaron niveles de comunicación, orquestando toda la sinfonía creada por los diferentes órganos. La prolactina y la oxitocina desempeñaron un rol fundamental para funciones emocionales que indujeran al cuidado y la crianza de los neonatos. El amamantar, el proteger y calentar los cuerpos frágiles de sus crías, la sensación inducida de “amor” generado por estas hormonas, que aumentará sus posibilidades de supervivencia en las duras fases del inicio del neurodesarrollo, donde sus cerebros inmaduros y vías sin mielinizar expresan una torpeza biomecánica que les hace presas fáciles de otros depredadores (21).

El desarrollo de un cerebro emotivo, que tiene lugar en el sistema límbico, aparece en especies como los mamíferos, los primeros pequeños descendientes de un antepasado común en el triásico, hace unos doscientos millones de años (22). El desarrollo de sistemas de crianza más sofisticados para cerebros más sofisticados y el paso de ovíparos a amniotas indujeron cambios grandes en el cerebro y en el sistema endocrino y reproductor. Por otra parte, la amígdala cerebral, que también hace parte de ese sistema límbico, es capaz de producir emociones y recordar, en este caso el peligro. A través de circuitos en la amígdala, se propicia una mejor capacidad de aprendizaje sobre formas de peligro. La amígdala se activa para activar a su vez el sistema simpático, que pone al animal en modo de ataque o huida y lo mantiene a salvo. Aparecen entonces emociones como la agresión y el miedo (13,14,23).

Neocórtex

La corteza cerebral expandió de forma notable en el género homo, en esa fase evolutiva, acompañada de cambios en el fenotipo. Los primeros intentos de dominio de la materia se dieron al desarrollar manos hábiles, con pulgares oponibles para manipular herramientas que le permitieran a la especie expandir sus

capacidades. Esta sin duda requeriría una mayor cantidad de receptores sensoriales de diversos tipos en las manos, una red aferente más mielinizada y una corteza parietal más extensa para procesar esa información, así como una corteza motora más amplia para dar una respuesta eferente acorde al gran sistema de entrada proveniente no solo de receptores periféricos, sino de los sentidos. La expansión de la corteza occipital adquiere también un gran protagonismo en el primate para la sincronización de estas habilidades manuales junto a las visuales, además del reconocimiento de diferentes formas de comunicación en su estructura social, el desarrollo de utensilios, arte y más adelante, escritura. Esta última, asociada al desarrollo de la corteza temporal, que a su vez adquiere grandes proporciones al establecerse el lenguaje y la comunicación verbal, de forma aun no clara, sin embargo, existen actualmente varias hipótesis (24–28).

A medida que fue avanzando el proceso de migración de los primeros homínidos, poco a poco a lo largo de miles de años, este dio lugar a una única especie de homínido, el *homo sapiens*, hace unos doscientos mil años. Sin embargo, para llegar allí, desde la aparición de los australopitecos —hace unos dos millones de años—, en cerebros de las posteriores familias del género humano se desplegaron en diferentes estrategias evolutivas estables que hoy, gracias a los registros fósiles, podemos tratar de comprender (29,30).

El neocórtex permitió una notable expansión en el dominio de la materia en los homínidos desde hace unos 125.000 años. Durante el periodo paleolítico medio, encontramos el complejo desarrollo tecnológico lítico como el musteriense, donde se exhiben diversas formas de herramientas de piedra, como lanzas y flechas, que extendieron las habilidades de los homínidos mediante la manipulación de materiales recolectados, así como diferentes formas de instrumentos obtenidos en sus recorridos y su vida nómada, lo que garantizaba una mejor supervivencia (31–33).

Esta comprensión propició el desarrollo de grandes hipocampos y lóbulos temporales, lo cual mejoró la interacción social, la memoria y recolección de datos, como también la capacidad de analizar el comportamiento de otros animales para su caza y domesticación, el desarrollo de una memoria visoespacial excepcional para memorizar y orientarse a lo largo de grandes terrenos, así como la comprensión de los ciclos naturales y las estaciones. Vemos también que se hace más compleja interpretación de la muerte, tal como lo registran excavaciones arqueológicas de neandertales de las tumbas rituales para sus muertos.

Los lóbulos temporales y frontales integraron información para dar lugar a funciones cognitivas de tipo místico, mágico e imaginativo, lo que quizá estuvo relacionado con la aparición de creencias religiosas (28,33–37).

La percepción de los símbolos, registrado en pinturas rupestres de África a Europa y el resto del mundo, muestra la conexión con dichos símbolos, fuente de arquetipos que aún pertenecen a nuestra psique y a nuestro propio inconsciente colectivo. Así, puede verse cómo la formación de la psique partió de ser solo una estructura refleja e instintiva en organismos primitivos, pasando por una “paleconciencia” que intuye en organismos un poco más complejos, hasta la que es consciente de su propia existencia como en el *homo sapiens* (38–40).

Finalmente, sabemos que la modulación de las funciones neuronales en el cerebro es regulada por neurotransmisores, con una historia filogenética que aún debe ser escrita. La información neuroquímica que llega a la corteza cerebral pasará al umbral de la conciencia, y determina aspectos cognitivos y conductuales desde los primeros cordados que iniciaron su marcha, pasando por todas las especies que precedieron la carrera evolutiva hasta el *homo sapiens*. Los sistemas neuromusculares, por ejemplo, mediados por neurotransmisores como la acetilcolina, permitieron desarrollar y optimizar el movimiento, y posteriormente, en organismos más complejos desarrollar y permitir mediar procesos como la cognición. El neurotransmisor inhibitorio por excelencia se puede encontrar filogenéticamente en eslabones muy primitivos, ya encontrado desde los insectos como lo es el GABA (41), y reviste gran importancia en el *homo sapiens*, desde regular procesos del neurodesarrollo, hasta regular aspectos cognitivos y conductuales. Asimismo, el sistema excitatorio mediado por glutamato y aspartato tiene lejanos orígenes filogenéticos (42), y está implicado en varias funciones dentro de las cuales encontramos, junto a la serotonina, la regulación de aspectos cognitivos como la memoria y el aprendizaje (43). Otros como el circuito para activar la atención y la vigilia, los vemos cruzando el tallo cerebral a través del locus cerúleo en el sistema reticular activador ascendente, segregando noradrenalina, con antigüedad filogenética que puede remontarse a los peces. Los sistemas dopaminérgicos también desempeñaron un rol fundamental, principalmente en los mamíferos, desarrollando diferentes vías como la tuberoinfundibular para la producción

de prolactina y oxitocina, relevante en el cuidado de las crías o cachorros de cualquier mamífero, las vías mesolímbicas y mesoestriadas que harán parte de la conducta y la motivación, y la nigroestriada, que formará parte de circuitos motores extrapiramidales. Todos estos sistemas fueron refinando su objetivo funcional, junto con la expansión del neocórtex, que adquiere su mayor expresión en el *homo sapiens*. Algunas fallas de estos sistemas son bien conocidas hoy en neurología y psiquiatría como precursores de distintas enfermedades (44–46).

Homo sapiens

Una vez dominada la materia, el desarrollo de patrones culturales, religiones, arte, creatividad e imaginación tiene lugar en su máxima expresión en el humano, que exhibe grandes capacidades y habilidades para el desarrollo de tecnología y avances para nuestra expresión, confort y supervivencia.

El desarrollo de organismos más inteligentes y existencialistas, y la introducción de tecnologías avanzadas que nos permiten entender mejor nuestra posición en el universo, posibilitan generar nuevas hipótesis. Así como somos gigantes universos comparados con el tamaño de una célula, ésta a su vez es un enorme universo comparado con el tamaño de sus átomos, asimismo somos como átomos en una inmensa galaxia que hace parte de un inmenso sistema de galaxias llamado cúmulo, que probablemente haga parte de otro supercúmulo. De tal manera, podemos imaginar que hacemos parte de una gran mecánica universal organizada en forma de fractal (47–48).

Estos aspectos forman parte de nuestra psique, cuya composición y fisiología, aún no bien comprendida, profundiza desde una conciencia fundada en sistemas de alerta como ocurre con la red tálamo-cortical y por otra parte el desarrollo de aspectos individuales relacionados con la personalidad y el “sí mismo” coordinado en la red de modo predeterminado. Ahora, las formas subcorticales, subconscientes, todavía más profundas, van desde memorias personales hasta memorias más profundas y colectivas que involucran redes, vías y aspectos neurofisiológicos que se adquirieron a lo largo de lo que comprendemos como nuestra línea filogenética. Así, desde nuestras propias memorias, a memorias ancestrales y primitivas, en este caso, transpersonales, damos forma para entender la estructura de nuestra psique (49–51).

Conclusiones

El desarrollo de sistemas conscientes podría darse durante la línea de tiempo filogenética, a manera de capas de una cebolla. Cada capa dejará su información en el acervo genético a medida que su información permanezca adaptada e incrementa su complejidad neurofisiológica. En este caso, el desarrollo del encéfalo comprende grandes pasos y escalas evolutivas para hacer posible la formación de sistemas neuronales capaces de conducir información distribuida somatotópicamente en cada sistema o red neuronal y formando circuitos de retroalimentación. A medida que cada vía se consolida para dar lugar a nuevas funciones sensoriomotoras, su organización debe mantenerse, ya que la mayor demanda funcional hace que la expansión de la conciencia sea cada vez más compleja, y quizá así lo continuará siendo mientras siga viva la especie. Finalmente, no sobra recordar que, como seres neurológicamente avanzados, aún estamos en un proceso inicial y primitivo en cuanto a la comprensión de nuestra propia psique. Desde un punto de vista científico, intentamos abordar los aspectos funcionales de diversos sistemas y formas que propiciaron la estructura de la conciencia, y abordar en lo posible la complejidad del sistema nervioso. Por otra parte, cabe preguntarse si nuestro cerebro es

un complejo de “antena y procesador” que nos permite captar diversas formas de energía y procesarla, según nuestro propio filtro, lo que llamamos “realidad”, hasta traducirla en señales neuroquímicas que emiten sus señales a la corteza cerebral, para que así le demos el nombre “conciencia”, o quizá es mucho más que eso; o tal vez el solo hecho de ser *homo sapiens* limita el que podamos entender plenamente la estructura de nuestra propia psique, así como los ojos no pueden verse a sí mismos. Por ahora, en esta reflexión describimos algunos de esos aspectos y procesos e intentamos entender un poco más acerca del origen de nuestra mente.

Conflictos de interés. El autor no tiene conflictos de interés en la escritura o publicación de este artículo.

Financiación. El autor no recibió financiación para la escritura o publicación de este artículo.

Implicaciones éticas. Al tratarse de una revisión, el presente artículo no tiene implicaciones éticas.

Referencias

1. Hack M. Cosmogonie contemporanee. Le attuali teorie sull'origine dell'universo. Scienza; 1994.
2. Palacios S. Que 100 años no es nada... o porque aún no tenemos una central nuclear de fusión. Cuaderno de Cultura Científica; 2015.
3. Victoria C, Cerecetto H. Una introducción a la química nuclear. Universidad de la República, Comisión Sectorial de Enseñanza; 2019.
4. Asimov I. Chemicals of life. Penguin Books; 1962.
5. Nutman AP, Bennett VC, Friend CR, Van Kranendonk MJ, Chivas AR. Rapid emergence of life shown by discovery of 3,700-million-year-old microbial structures, Nature. 2016;537(7621):535-8. <https://doi.org/10.1038/nature19355>
6. Peretó J. Controversies on the origin of life. Int Microbiol. 2005;8(1):23-31
7. Tobias J, Agin D, Pawlowski R. The excitable system in the cell surface. Circulation. 1962 Nov;26:1145-50. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.26.5.1145>
8. Engler AJ, Sen S, Sweeney HL, Discher DE. Matrix elasticity directs stem cell lineage specification. Cell. 2006;126(4):677-89. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(06\)84031-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(06)84031-5)
9. Dawkins R. El gen egoísta. Salvat Editores; 2000.
10. Llinás R. El cerebro y el mito del yo: el papel de las neuronas en el pensamiento y el comportamiento humanos. Cuarta edición. Norma; 2003.
11. Bertrand S, Escrivá, H. El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos. Cordados. Rafael Zardoya San Sebastián; 2013.
12. Rosselli D. Ontogenia y filogenia del sistema nervioso. Acta Neurol Colomb. 1991;7(1):17-23.

13. Bustamante B. Neuroanatomía funcional y clínica. Celsus; 2016.
14. Hall JE, Guyton AC. Textbook of medical physiology. Elsevier; 2016.
15. Pick L, Heffer A. Gene evolution: multiple mechanisms contributing to evolutionary novelties. *Ann N Y Acad Sci.* 2012. 1256:15–32. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06385.x>
16. Liang D, Wu R, Geng J, Wang C, Zhang P. General scenario of Hox gene inventory variation among major sarcopterygian lineages. *BMC Evol Biol.* 2011;11:25. <https://doi.org/10.1186/1471-2148-11-25>
17. Eldredge N, Cracraft J. Phylogenetic patterns and the evolutionary process. Columbia University Press; 1980.
18. Yamamoto M. Ontogeny of the visual system in the cuttlefish, *Sepiella japonica*. I. Morphological differentiation of the visual cell. *J Comp Neurol.* 1985; 232(3):347–61. <https://doi.org/10.1002/cne.902320307>
19. Molnár Z, Kwan KY. Development and Evolution of Thalamocortical Connectivity. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 2024 Jan 2;16(1):a041503. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041503>
20. Shields RW Jr. Functional anatomy of the autonomic nervous system. *J Clin Neurophysiol.* 1993 Jan;10(1):2–13. <https://doi.org/10.1097/00004691-199301000-00002>
21. Feldman R. The Neurobiology of Human Attachments. *Trends Cogn Sci.* 2017 Feb;21(2):80–99. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.11.007>
22. Naumann RK, Ondracek JM, Reiter S, Shein-Idelson M, Tosches MA, Yamawaki TM, Laurent G. The reptilian brain. *Curr Biol.* 2015 Apr 20;25(8):R317–21. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2015.02.049>
23. Lee JH, Lee S, Kim JH. Amygdala Circuits for Fear Memory: A Key Role for Dopamine Regulation. *Neuroscientist.* 2017 Oct;23(5):542–553. <https://doi.org/10.1177/1073858416679936>
24. Chavez TJ, Morrell NT. The Evolution of the Human Hand From an Anthropologic Perspective. *J Hand Surg Am.* 2022 Feb;47(2):181–185. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2021.07.006>
25. Caspar KR, Pallasdies F, Mader L, Sartorelli H, Begall S. The evolution and biological correlates of hand preferences in anthropoid primates. *Elife.* 2022 Dec 1;11:e77875. <https://doi.org/10.7554/eLife.77875>
26. Macho GA. Pliocene hominin biogeography and ecology. *J Hum Evol.* 2015 Oct;87:78–86. <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2015.06.009>
27. Stout D, Chaminade T. Stone tools, language and the brain in human evolution. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2012 Jan 12;367(1585):75–87. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0099>
28. McKenna T. Food of the gods: The search for the original tree of knowledge: A radical history of plants, drugs, and human evolution. Old Saybrook, CT, Estados Unidos de América: Tantor Media; 2012
29. Carbonell E. Homínidos: las primeras ocupaciones de los continentes. Fundación Atapuerca; 2005.
30. Tobias PV. *Homo habilis* – A premature discovery: remembered by one of its founding fathers, 42 years later. The first humans – Origin and early evolution of the genus *Homo*. *Vertebrate paleobiology and paleoanthropology*. Springer; 2006.
31. Penny D, Poole A. The nature of the last universal common ancestor. *Curr. Opin Genet Dev.* 1999;9(6):672–77. [https://doi.org/10.1016/S0959-437X\(99\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0959-437X(99)00020-9)
32. Rakic P. Neurogenesis in adult primate neocortex: an evaluation of the evidence. *Nat Rev Neurosci.* 2002;3 (1):65–71. <https://doi.org/10.1038/nrn700>
33. Dawkins R. *Archaic homo sapiens. The ancestors tale*. Mariner; 2005.
34. Adolphs R. Cognitive neuroscience of human social behavior. *Nat Rev Neurosci.* 2003;4:165–78. <https://doi.org/10.1038/nrn1056>
35. Martín-Loeches M, Casado P, Sel A. La evolución del cerebro en el género *Homo*: la neurobiología que nos hace diferentes. *Rev Neurol.* 2008;46(12):731–41. <https://doi.org/10.33588/rn.4612.2008243>
36. McCrae N, Whitley R. Exaltation in temporal lobe epilepsy: neuropsychiatric symptom or portal to the divine? *J Med Humanit.* 2014 Sep;35(3):241–55. <https://doi.org/10.1007/s10912-014-9294-4>
37. Arsuaga J. El collar del Neandertal. En busca de los primeros pensadores. Random House Mondadori; 2004.
38. Belles Pitarch P. Las pinturas rupestres y el papel de la mujer en la prehistoria. Barking, Inglaterra: Lulu.com; 2017.
39. Jung CG. Los arquetipos y lo inconsciente colectivo. Obra completa de Carl Gustav Jung. Madrid: Trotta; 2010.
40. Cassirer E. *Esencia y Efecto del Concepto del Simbolo*. Fondo de Cultura Economica; 1990.
41. Hosie AM, Aronstein K, Sattelle DB, ffrench-Constant RH. Molecular biology of insect neuronal GABA receptors. *Trends Neurosci.* 1997 Dec;20(12):578–83. [https://doi.org/10.1016/S0166-2236\(97\)01127-2](https://doi.org/10.1016/S0166-2236(97)01127-2)

42. Umesh A, Cohen BN, Ross LS, Gill SS. Functional characterization of a glutamate/aspartate transporter from the mosquito *Aedes aegypti*. *J Exp Biol*. 2003 Jul;206(Pt 13):2241–55. <https://doi.org/10.1242/jeb.00430>
43. Kandell E. *En busca de la memoria. Una nueva ciencia de la mente*. Katz Barpal Editores; 2007.
44. Platek SM, Shackelford TK. *Foundations in evolutionary cognitive neuroscience*. Cambridge University Press; 2009. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511626586>
45. Kandel ER, Schwartz JH, Jessel TM. *Principles of neural science*. McGraw–Hill Professional; 2000.
46. Victor M, Ropper AH, Sandoval Romero A, Pérez Rendón G, Pérez Gómez J. *Principios de neurología*. McGraw–Hill Interamericana; 2002.
47. Penrose R. *Las sombras de la mente: hacia una comprensión científica de la consciencia*. Crítica; 1996.
48. Mandelbrot B. *Los objetos fractales. Forma, azar y dimensión*. Tusquets Editores; 1993.
49. Gazzaniga MS, Heatherton TF. *Psychological science*. W.W. Norton & Company; 2006.
50. Gardner H. *Estructuras de la mente*. Fondo de Cultura Económica; 1993.
51. Grof S. Grof Transpersonal training. Brief history of transpersonal psychology. *Int J Transpers Stud*. 2008;27(1):46–54. <https://doi.org/10.24972/ijts.2008.27.1.46>