

RESUMEN TEMA 4: FILOGENIA DEL SISTEMA NERVIOSO

INTRODUCCIÓN

Solo con echar un vistazo a nuestro alrededor podemos observar las variadas e interesantes formas que tienen los organismos para “buscarse la vida”, por tierra, mar y aire o incluso debajo de la tierra o en el estomago de otros organismos. En este capítulo iremos descubriendo como la filogenia del sistema nervioso ha ido pareja a la evolución de determinadas conductas y como la aparición de nuevas partes ha propiciado nuevos comportamientos. A pesar de que la fosilización solo preserva partes duras (y no es el caso del sistema nervioso, por muy dura que tengan algunos la mollera....) podemos observar especies actuales en las cuales la selección natural ha propiciado pocos cambios, lo que no significa que estén menos evolucionadas, si han llegado hasta aquí es porque su diseño es tan adecuado a su medio ambiente como el de cualquier especie que haya experimentado mayor variación, al fin y al cabo han estado expuestas a la selección natural durante miles o millones de años.

INVERTEBRADOS

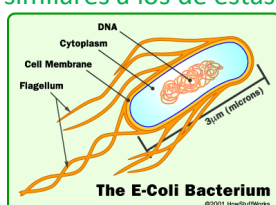
ADQUISICIÓN DE LAS PROPIEDADES BÁSICAS PARA PROCESAR INFORMACIÓN

Los seres humanos tenemos un diminuto amigo de extraño nombre: *escherichia coli*, una **bacteria** que habita en nuestro tracto intestinal y que nos ayuda en el proceso digestivo. Aunque nuestro amiguito E. coli no pertenece al reino animal sino al denominado reino monera y se podría decir que es inmensamente diminuto es capaz de realizar comportamientos asombrosos. Si en un medio de cultivo existen concentraciones diferentes de glucosa, E. coli se moverá impulsada por sus flagelos hacia las zonas donde haya más azúcar, buscándose el pan como cualquiera de nosotros. Esto es así porque E. coli posee un receptor que le permite percibir donde se encuentra la glucosa. Asimismo E. coli posee otros diez o doce receptores específicos para sustancias que puede encontrar en su medio ambiente y que son relevantes para ella bien por nutritivas o por peligrosas. Al detectar estas sustancias se desencadena una respuesta en el interior celular: la actividad de sus flagelos cambia y E. coli se dirige (o se aleja) de la sustancia en cuestión

Es posible que el comportamiento de E. coli no nos parezca muy complejo pero no podemos negar que procesa e integra información de diferente naturaleza como “peligro” o “comida” y aún más, “recuerda” información relevante, porque si no, no diferenciaría los lugares de mayor concentración de nutrientes de los de menor concentración

Otra pequeña bacteria habitante de las marismas, llamada Halobacterium salinarium es capaz de detectar fuentes de luz del exterior a semejanza de los fotoreceptores que hay en nuestra retina.

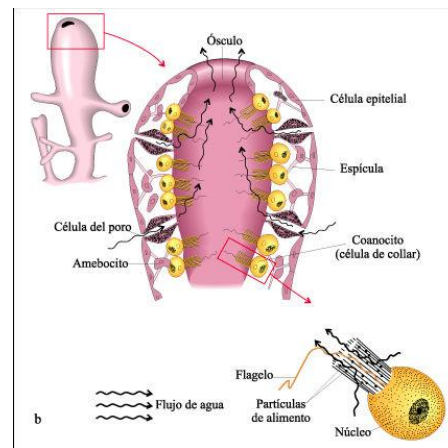
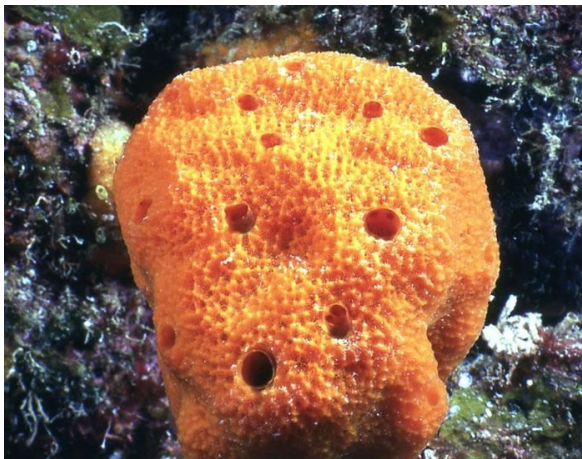
Nuestras neuronas son células muy especializadas, no obstante a grandes rasgos siguen teniendo similitudes con estos primitivos y diminutos seres bacterianos. Los tipos de receptores a las diversas sustancias relevantes para el ambiente de la neurona, así como los mecanismos bioquímicos para integrar la información y emitir una respuesta (que en el caso de la neurona no será movimiento, sino la emisión de un impulso eléctrico) son mecanismos similares a los de estas bacterias.



EL TEJIDO ESPECIALIZADO EN EL PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

No cabe duda de que las bacterias han sabido apañárselas muy bien, la efectividad de su diseño la demuestra el hecho de los pocos cambios que han experimentado a lo largo de millones de años (de hecho son extremofilas, por muy mal que vayan las cosas es muy probable que ellas se las apañen para sobrevivir en condiciones en las que cualquiera de nosotros seríamos incapaces de hacerlo). Pero, por otra parte su repertorio de acción es bastante limitado. La aparición de células eucariotas propició la aparición de organismos pluricelulares, instaurándose el reino animal de los Metazoos, auténticas comunidades solidarias de diferentes células con diferentes especializaciones

Por ejemplo, la esponja marina, el animal filogenéticamente más ancestral que conocemos, está formado por dos capas: una interna endodermis y otra externa epidermis. Entre una y otra existen células neuroepiteliales que son sensibles a estímulos táctiles o químicos que provocan que los poros de la superficie se abran o se cierren. Quizá no nos parezca una gran cosa, pero es una de las fases por las cuales todas las especies con sistema nervioso han tenido que pasar en su historia filogenética.



LA RED NERVIOSA DIFUSA

El siguiente paso proviene de las hidras: anémonas, corales y medusas (celentéreos) en las que ya se encuentra tejido nervioso junto con fibras musculares, glándulas y células sensoriales que constituyen una red nerviosa difusa integrada por células multipolares y bipolares distribuidas sin orden particular a lo largo de todo el cuerpo. Aún no existe polaridad funcional (no hay axones ni dendritas) y los impulsos se transmiten en todas direcciones por igual. No existe todavía especialización regional por lo que un estímulo en cualquier punto puede desencadenar una acción de todo el sistema efector.

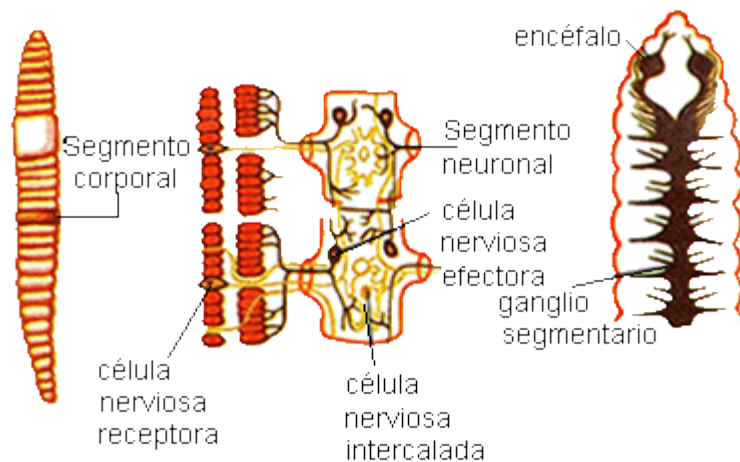
Aparecen en los celentéreos células neuroepiteliales sensibles a estímulos táctiles (mecanorreceptores), químicos (quimiorreceptores, como los de nuestra mucosa olfativa) y electromagnéticos (fotoreceptores).

De nuevo afirmamos una vez más que este diseño aunque todavía sencillo permite comportamientos cada vez más sofisticados como es el caso de medusas y anémonas con capacidad de movimiento, depredación y conducta agresiva y sexual.



EL SISTEMA GANGLIONAR

Un nivel superior de organización es el ganglio masa neuronal compacta que favorece un contacto más rápido entre las células nerviosas y por tanto integrar mejor la información dando lugar a comportamientos más complejos. En el sistema ganglionar se aprecia una parte procesadora central y otra parte periférica constituida por los receptores sensoriales y los nervios a través de los cuales los ganglios reciben la información y la envían a los músculos y glándulas. Un ejemplo prototípico de esta organización la presentan los anélidos como las sanguijuelas o las lombrices de tierra



LA ENCEFALIZACIÓN

Los anélidos están constituidos en segmentos denominados metámeros. El tamaño de los ganglios no es igual en todos los metámeros ya que puede variar según su función, pero es que además en la filogenia se constata que en diversas ocasiones estos metámeros se han fusionado e integrado en estructuras más complejas lo que es particularmente notable si nos referimos a las partes anteriores del animal.

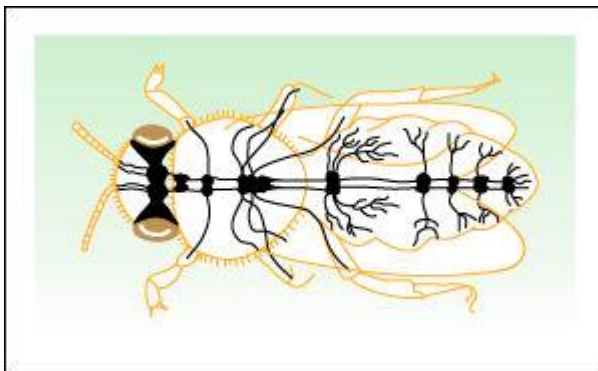
Lo que quiera que sea que me bien me nutra o sea peligroso o sea susceptible de ser una pareja potencial lo he de percibir mejor si está delante de mí que a mi espalda ya que es la región de la realidad a la cual me dirige la locomoción. A través del olfato el oído o la visión se concibe la posibilidad de recibir información sin entrar en contacto con la fuente estimular y es en esta parte del cuerpo donde se han ido alojando a lo largo de la filogenia estos receptores especializados. Los ganglios rostrales por lo tanto fueron mejorando progresivamente su capacidad de procesamiento, velocidad e integración y organización. A este proceso se le llama encefalización y a los ganglios rostrales ganglios cerebrales o encefálicos

En artrópodos y moluscos ya están desarrollados el tacto, la visión la propiocepción el equilibrio y la audición, además de la capacidad motora y de locomoción que presenta gran variedad (alas en los artrópodos, tentáculos en los moluscos)

En la mayoría de los invertebrados existen axones de gran calibre ya que al no estar mielinizados la única manera de conseguir una transmisión rápida es incrementando el diámetro del axón, sin embargo este incremento de tamaño en los así llamados axones gigantes tiene un coste energético por lo que solo es empleado en situaciones críticas como la propulsión a chorro del pulpo, la rápida huida de la cucaracha o el coletazo de la langosta. Generalmente las neuronas con axones gigantes son el eslabón final de circuitos

reflejos conectados a través de sinapsis eléctricas, que son más rápidas que las químicas pero que tienen el inconveniente de que no pueden ser moduladas dificultando procesos de mayor complejidad como por ejemplo el aprendizaje o la memoria.

El sistema nervioso de los invertebrados posee algunas características limitantes para alcanzar mayor complejidad: una de ellas es el límite al **tamaño corporal** (y por tanto al tamaño del encéfalo y a su capacidad como procesador central) que se impone a los artrópodos ya que al tener el esqueleto o parte dura por fuera es muy difícil que este crezca. En cuanto a los cefalópodos, como el pulpo, no tienen ese problema y de hecho parecen tener mayor capacidad de aprendizaje y memoria que los insectos, pero comparten con los artrópodos la limitación impuesta por **la baja velocidad de transmisión del impulso nervioso** que muestran sus neuronas. No obstante estas limitaciones artrópodos y cefalópodos suponen el techo máximo que puede alcanzar el sistema nervioso de los invertebrados



Ejemplo de encefalización: Los artrópodos poseen un ganglio cefálico en que se distinguen tres zonas: el protocerebro que procesa la información visual y el comportamiento eusocial si lo hubiera el deutocerebro que recibe y procesa estímulos de los quimiorreceptores (olfato) y mecanorreceptores y el tritocerebro que inerva el tubo digestivo. Este ganglio encefálico se conecta con el resto de ganglios como vemos en la imagen.

El pulpo por su parte dispone de un conjunto de ganglios en la cabeza especializados en diferentes funciones

VERTEBRADOS

Los vertebrados superan las limitaciones de los invertebrados para conseguir un mayor desarrollo encefálico:

- Su esqueleto interno permite incrementar el tamaño corporal dando cabida a mayores estructuras nerviosas
- Disponen (excepto los vertebrados no mandibulados como las lampreas) de una vaina de mielina que recubre el axón permitiendo una transmisión más rápida, sin interferencias y con menor coste energético del impulso nervioso

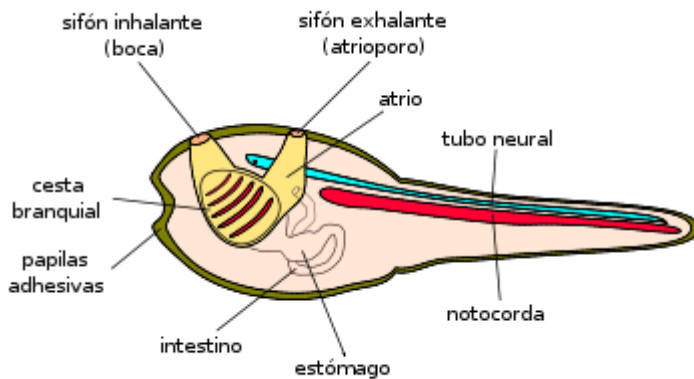
EL TUBO NEURAL

Los vertebrados pertenecemos al filum de los **cordados** cuya principal característica es que contienen **notocorda** o cuerda dorsal, que como ya sabemos por el tema anterior es fundamental durante el desarrollo embrionario para la inducción neural y la formación de la columna vertebral.

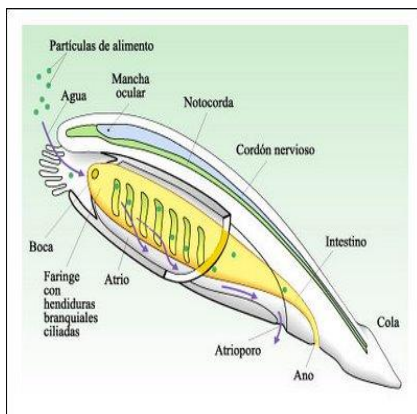
El **sistema nervioso de los vertebrados** se sitúa en una cavidad protegida por tejido óseo (cráneo y columna vertebral) presenta simetría bilateral y es segmentado (aunque esta segmentación en nuestro caso solo la conservaremos en la médula espinal al llegar a la edad adulta). **El sistema nervioso periférico** de los vertebrados tiene una **organización ganglionar**,

que recuerda a las de los invertebrados, aunque con diferencias en cuanto a su organización y conexiones

Es posible que los primeros cordados aparecieran hace aproximadamente 500 millones de años. **La ascidia**, un ejemplo de los animales denominados urocordados es un invertebrado que durante el desarrollo embrionario presenta notocorda y tiene aspecto similar a un renacuajo, aunque en su etapa adulta es más similar a un celentéreo. Es posible que animales similares hayan dado lugar a la evolución de los cordados

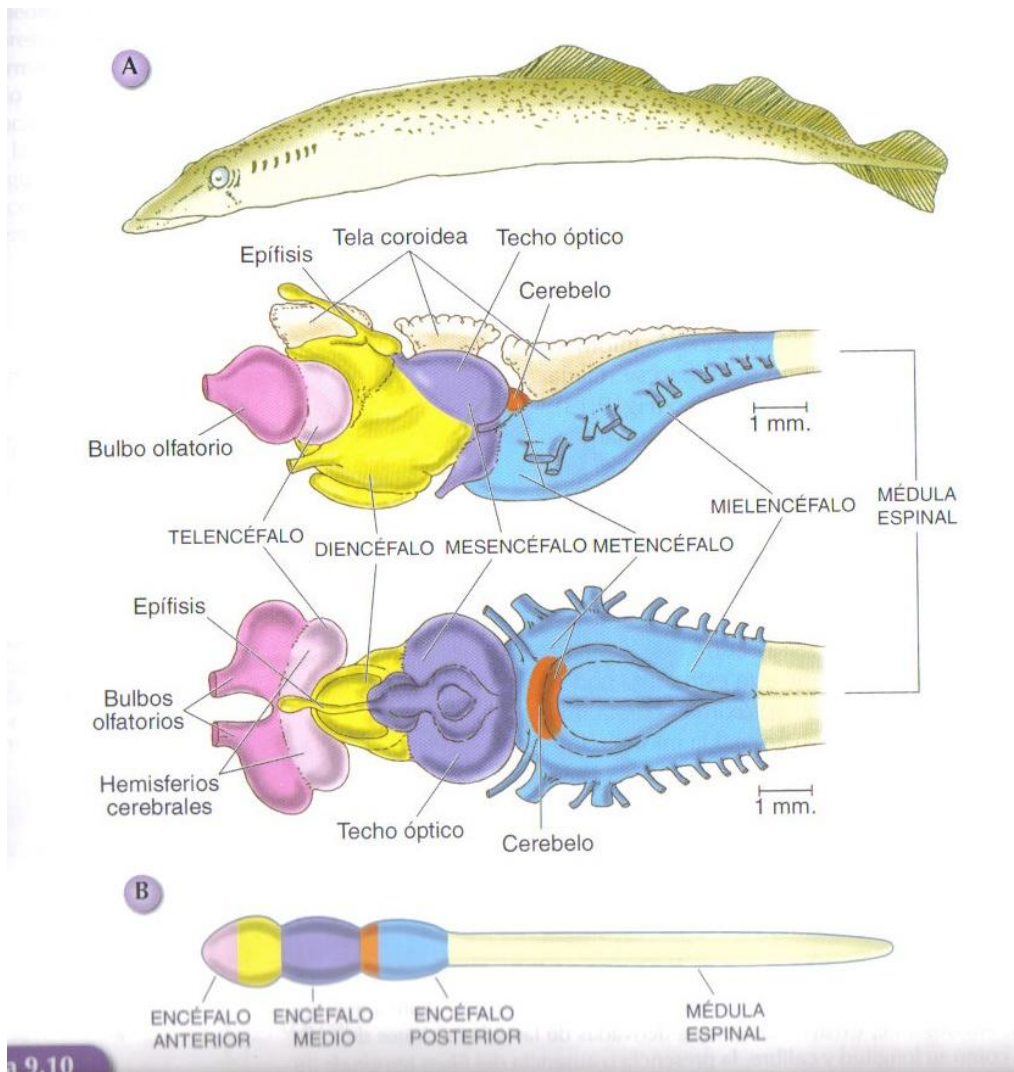


El diseño más básico de los vertebrados ancestrales puede que fuese similar al del **anfioxo**: un tubo neural que posee una polarización rostro-caudal, y una cierta especialización funcional dorso ventral (sensorial-motora). No existe por razones obvias un registro fósil de este protovertebrado



Los **vertebrados** actuales filogenéticamente más antiguos (unos 470 millones de años) son las **lampreas** que presentan organización rostro-caudal con encéfalo **anterior** (telencefalo y diencefalo), **medio** (mesencefalo) y **posterior** (metencefalo y mielencefalo) además de **médula espinal**

Desde hace 470 millones de años ¡muchos de estos núcleos y circuitos básicos han persistido y son homólogos en las diversas especies de vertebrados!



LA MÉDULA ESPINAL Y EL TRONCO ENCEFÁLICO

En los vertebrados la parte dorsal del mesencéfalo está formada por los **colículos superior e inferior** (que en los no mamíferos se llaman **techo óptico y torus semicircularis**) estas estructuras están relacionadas con la información visual y auditiva. Al colículo superior llegan fibras procedentes de la retina y es el centro visual primario en todos los vertebrados menos los mamíferos. El torus recibe información directa de los centros del encéfalo posterior relacionados con los mecanorreceptores de los órganos de la línea lateral (antecesores filogenéticos de los mecano receptores del órgano de Corti)
Del tamaño de estas estructuras depende que un animal sea más “visual” o más “auditivo”

En peces y anfibios el techo óptico es una de las regiones más importantes pues además de información visual recibe fibras procedentes de otros sistemas sensoriales como los centros motores del tronco del encéfalo que controlan mandíbula y músculos oculares o de la médula involucrados en el reflejo de huida y natación. A partir de los reptiles la importancia del techo óptico va cediendo terreno a estructuras telencefálicas

El **cerebelo** es una de las estructuras más variables a lo largo de la filogenia. En él se distinguen 3 regiones que han ido apareciendo paulatinamente a lo largo de la filogenia:

- **El arquicerebelo:** es la región que primero aparece y está íntimamente relacionada con el sistema vestibular, que controla el equilibrio en el espacio. Lo encontramos en la lamprea o en reptiles como salamandras y tritones, que aunque filogenéticamente posteriores a algunos peces tienen un menor desarrollo cerebelar.

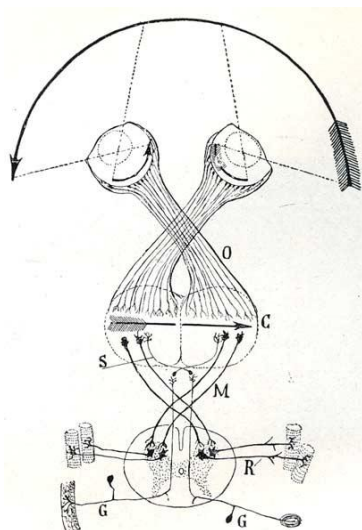
- **El paleocerebelo:** constituye el siguiente eslabón evolutivo de los vertebrados y lo encontramos muy desarrollado en anfibios acrobáticos como la rana y sobretodo en peces como tiburones y rayas en los que se aprecia el control fino de los movimientos de los músculos axiales del tronco en la natación

- **El neocerebelo:** es la división más reciente desde un punto de vista filogenético, está formado por los hemisferios cerebelosos y el vermis medio. La parte intermedia es funcionalmente espinocerebelar ya que está relacionada con el control de la musculatura axial del tronco y extremidades (como el paleocerebelo). Las restantes partes están relacionadas con los núcleos pontinos que reciben aferencias de la corteza.

La porción lateral de los hemisferios cerebelosos aparece en mamíferos al mismo tiempo que el núcleo ventrolateral del tálamo y la corteza. Funcionalmente corresponde al cerebrocerebelo y su función es controlar la coordinación fina de los dedos. Su desarrollo es más acusado en primates y en nuestra especie adquiere su máximo grado de complejidad.

UN INCISO PARA UNA HISTORIA ESPECIAL: EL ENIGMA DE LA DECUSACIÓN PIRAMIDAL

Vamos a hacer un breve inciso para hablar una vez más de nuestro intuitivo y perspicaz histólogo Ramón y Cajal. Durante el siglo XIX a médicos y neurólogos les intrigó profundamente el hecho de que algunos tractos motores (como el corticoespinal lateral y el rubroespinal) decusaran a nivel del bulbo raquídeo, decusación que, como sabemos también realiza el nervio óptico en el quiasma óptico y que no tiene otra función que poner “al derecho” la imagen invertida que presenta la realidad en la “lente” del cristalino. Cajal halló una relación entre ambas decusaciones proponiendo que la decusación motora era producto de la visual y era una adaptación destinada a aumentar la eficacia de respuestas defensivas o de huida que serían menos rápidas si el impulso tuviera que viajar al lado contralateral. Dado que se trata de una cuestión de “vida o muerte” la selección ha primado por absoluta necesidad la respuesta más rápida y esta conlleva decusación. Los animales cuya respuesta de huida debido a sus mecanismos oculomotores no necesitan de decusación ¡sencillamente no la tienen!

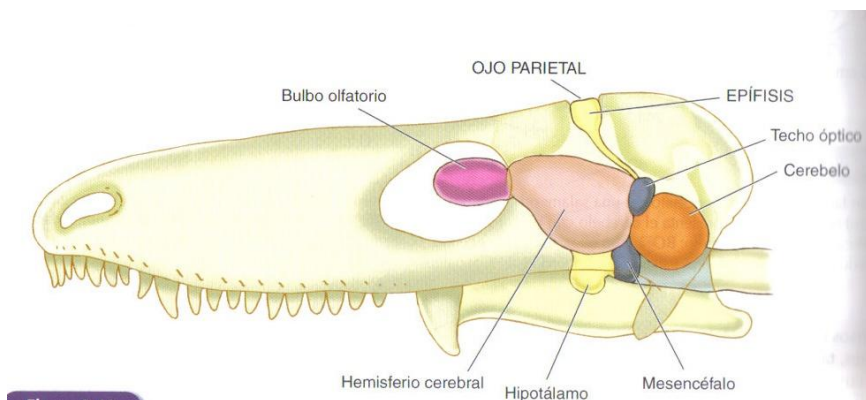


EL CEREBRO ANTERIOR: DIENCÉFALO

El **hipotálamo** es la parte más desarrollada del diencéfalo en peces y anfibios. Sus funciones están relacionadas con el mantenimiento de la homeostasis, las conductas sociales de sumisión/agresión, la conducta sexual y la conducta reproductora.

Entre sus funciones homeostáticas destaca la **termorregulación**, (propiedad que aparece en la filogenia de los vertebrados solo en las aves y los mamíferos, llamados **homeotermos**) La termorregulación es uno de los principales hitos de la evolución del SNC de los vertebrados ya que su consecución no solo involucra a diversos núcleos hipotalámicos sino también a otras regiones como el tálamo y los hemisferios cerebrales cuya actividad es fundamental para la localización y selección de alimentos que energéticamente contribuyan a conseguir la tasa metabólica necesaria para que permanezca constante la temperatura corporal.

El **epitalamo** se encuentra en el extremo dorsal del diencéfalo. Aquí se localiza el **complejo pineal** (denominado, según el vertebrado de que se trate cuerpo pineal, glándula pineal o epífisis). Esta estructura se relaciona con la conducta de regulación de la temperatura y los ciclos circadianos. En peces, lampreas anfibios y lagartos, encontramos fotoreceptores sensibles a los cambios de intensidad lumínica, es el llamado **tercer ojo u ojo parietal** que está conectado con la epífisis y no existe en el resto de vertebrados. Aunque en algunas aves como las palomas y aves de corral estos fotoreceptores mantienen una función rudimentaria, en ellas y el resto de aves y mamíferos el cuerpo pineal se transforma en la **glándula pineal** que segrega la hormona melatonina con una ritmicidad circadiana determinada por el ciclo de luz y oscuridad.



En cuanto al **tálamo** que como sabemos es una estación intermedia entre los estímulos sensoriales y el procesamiento hemisférico, presenta numerosos cambios en tamaño y complejidad entre las especies de vertebrados.

EL ENCÉFALO ANTERIOR: LOS HEMISFERIOS CEREBRALES

El desarrollo primitivo de los hemisferios cerebrales, como el que presentan peces y anfibios tenía la principal función de procesar la información olfativa (de ahí que en estos animales se llame también **rinencéfalo** a estas estructuras cerebrales) para a través de las conexiones con el epitalamo e hipotálamo controlar las conductas depredadoras y agresivas.

La **expansión de los hemisferios** cerebrales y su progresiva conexión con otros sistemas sensoriales, a través principalmente del tálamo es la marca distintiva de la evolución del encéfalo de los vertebrados.

Algunas regiones subcorticales de los hemisferios cerebrales como los **ganglios basales**, también modifican su estructura y función en paralelo a los nuevos repertorios motores que van apareciendo como es el caso de la producción del habla en nuestra especie.

Sin embargo **la amígdala** es una estructura que se mantendrá prácticamente inalterada ya que su función, ayudarnos a detectar y responder a las situaciones de peligro con la suficiente rapidez (de hecho antes de que la neocorteza, nos haga tomar conciencia del riesgo) así como contribuir a que no se nos olvide cualquier situación que nos haya producido una emoción intensa, buena o mala, es tan importante como para constituir un equipaje fundamental de especies tan distantes como las palomas, los cocodrilos o nosotros.

LA CORTEZA CEREBRAL

Sin duda lo que marca el carácter diferencial del SN de los mamíferos es la **neocorteza**. Ya en anfibios como la rana aparece una red asociativa que permite a estos animalillos cierto grado de plasticidad en la conducta. En los reptiles se aprecia una corteza bien definida, laminada en tres capas, mientras que en los mamíferos el número de capas se extiende hasta seis, manteniéndose tres capas únicamente en la paleocorteza y la formación hipocampal.

La más reciente adquisición filogenética del SN es la **neocorteza o isocorteza**.

La **organización laminar** es hasta ahora la más sofisticada forma de organización neuronal del SN. Consiste en la distribución tanto de las neuronas como de las fibras aferentes y eferentes en capas separadas, lo que permite procesar organizadamente la información que llega a las regiones corticales .

A ello debe añadirse la **organización columnar**: las columnas se definen en función de que sus neuronas reciben información de la misma zona y son sensibles a estímulos similares.

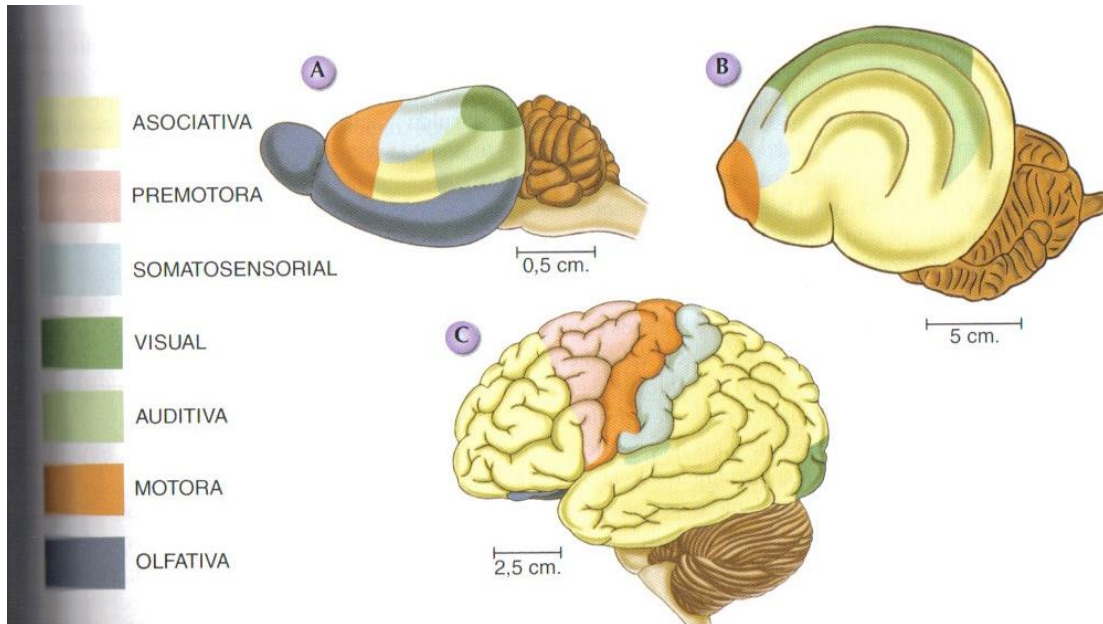
A lo largo de la filogenia las neuronas de la corteza cerebral van a ir desarrollando mayores grados de especialización como es el caso de las células **piramidales**, las más características de la corteza que solo aparecen en reptiles y mamíferos.

Todas estas características hacen que posible que en la neocorteza se creen **circuitos locales muy especializados**, sustratos neuronales de las conductas más complejas. El tamaño de la neocorteza varía de unas especies a otras y este tamaño diferencial en cierto sentido modula la complejidad conductual

Por último la neocorteza presenta **heterogeneidad funcional y regional** relacionada con la diversidad de tareas que realiza (sensorial, motora, asociativa) y con la información que procesa (olfativa, gustativa, somatosensorial, auditiva y visual), podemos inferir fácilmente que especies como los murciélagos tienen más desarrollada la corteza auditiva, en otras especies se tratará del olfato, el sentido del tacto etc...Es decir, que en las diversas especies el tamaño de unas u otras áreas variará en función del nicho ecológico que estas ocupen, lo cual se aprecia más en el caso de la **corteza sensorial**, ya que el tamaño relativo de **la corteza motora** primaria no varía mucho en las diferentes especies de mamíferos excepto en el caso de los mecanismos de control de los músculos que son relevantes para la especie como por ejemplo los dedos en ardillas o primates que están especializados en manipular objetos

La función principal de las **áreas corticales de asociación** es integrar la información sensorial recibida por las distintas regiones corticales y subcorticales participando en el inicio y control de los comportamientos elaborados para responder de una forma plástica a los retos ambientales. Estas áreas se encargan de funciones cognitivas complejas y su tamaño se extiende según va creciendo la complejidad conductual. En primates y cetáceos alcanzan el mayor desarrollo y en nuestra especie ocupan el 84% de la neocorteza

La **corteza parietal** integra información visual, auditiva y táctil y en nuestra especie se relaciona con el desarrollo del lenguaje. Los **lóbulos prefrontales** intervienen en la toma de decisiones y la planificación y junto con el cerebro emocional e la integración de emociones y sentimientos



Encéfalos de humano (C), delfín (B) y rata (A)

FACTORES QUE PUEDEN ESTAR INVOLUCRADOS EN EL DESARROLLO DEL ENCEFALO

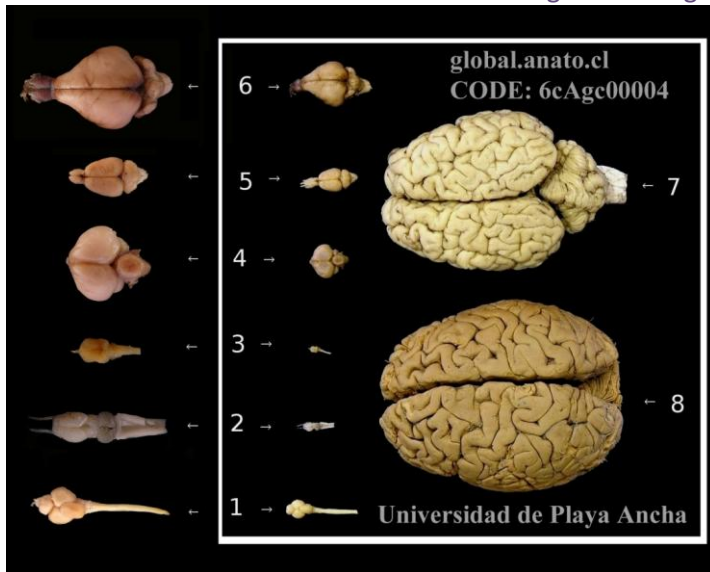
Aunque poseer un sistema nervioso no es en absoluto imprescindible para sobrevivir, como demuestran hongos y bacterias, las ventajas de tenerlo son tan obvias que desde que surgió la primera célula neuroepitelial hace más de 600 millones de años, la selección natural no ha dejado de presionar el desarrollo del mismo a lo largo de la filogenia. Nuestro cerebro representa, por el momento el máximo grado de desarrollo y con él se han alcanzado las más altas cotas de especialización, versatilidad, flexibilidad y creatividad

EL TAMAÑO SI IMPORTA

A mayor tamaño encefálico mejor capacidad para procesar hábilmente la información y, por lo tanto para sobrevivir. Sin embargo el tamaño del encéfalo ha de estar relacionado obviamente con el tamaño del resto del cuerpo y guardar una proporción por eso es más grande y pesado el cerebro de un elefante (en torno a los 4 kilos) que el nuestro (1,3 k de media)

A fines del siglo XIX se estableció una unidad común de comparación denominada **coeficiente de encefalización**, que es el cociente entre el peso medio del encéfalo de una especie determinada (Pa) y el que cabría esperar según su peso medio corporal (Pe) $CE=Pa/Pe$.

Si comparamos utilizando las unidades de medida del CE el cerebro de un elefante y el nuestro observamos que ahora los valores se invierten: el CE del elefante es 1.2. y el nuestro 7.1. Por tanto la evolución ha actuado de manera desigual a lo largo de la filogenia



Encéfalos comparados de jurel, sapo, lagartija, gallina, rata, conejo, bovino, humano

DIFERENTES ESTRATEGIAS EVOLUTIVAS Y CE

Si observamos la naturaleza vemos que existen dos estrategias principales en torno a la inversión parental

Selección r: muchos descendientes y pocos o nulos cuidados postnatales

Selecciónk: pocos descendientes, gran inversión parental en la crianza

Los individuos que han optado por la estrategia r tienen un rápido desarrollo (nacen prácticamente maduros, algunas crías se mantienen en pie y caminan al poco de salir del vientre materno). Esto implica que sus programas conductuales tienen un fuerte determinismo genético. Hay un rápido desarrollo sexual, pero también son menos longevos. Como las crías alcanzan la autonomía muy pronto, hay poco tiempo para aprender y enseñar

La estrategia k, sin embargo favorece desarrollos ontogénicos lentos, cuerpos grandes y longevos y mas episodios reproductivos, pero lo que nos interesa a efectos de desarrollo encefálico es que hay más tiempo de interacción entre crías y adultos, más oportunidades de aprendizaje y por tanto mayor posibilidad de desarrollo del sustrato neural que lo potencie.

FACTORES FISIOLÓGICOS Y CE

La termorregulación permite mantener la temperatura corporal en un valor constante, idóneo para el correcto funcionamiento metabólico del organismo e independiente dentro de unos márgenes amplios de las fluctuaciones ambientales, con lo que se palia en parte el efecto adverso de los cambios de temperatura y se puede acceder a nuevos nichos ecológicos si el ambiente así lo demanda.

Ahora bien, para termo-regularnos necesitamos combustible y esto significa frecuencia y calidad de la ingesta, lo que requiere sustratos neuronales para la búsqueda efectiva de alimentos y además un sustrato nervioso específico para la regulación térmica, el S.N.A.

Además, y en relación al epígrafe de más arriba, los animales homeotermos cuando nacen no tienen totalmente desarrollada su capacidad termorreguladora y necesitan que los progenitores mantengan su temperatura constante, con lo que la homotermia conllevó también el desarrollo del comportamiento parental

Las aves al igual que los mamíferos tienen encéfalos más grandes si nacen poco desarrolladas y necesitan más cuidados parentales (aves matriciales). Por tanto procesos fisiológicos básicos como la termorregulación pueden haber contribuido a potenciar el desarrollo encefálico

Por otra parte no todo son ventajas. No hay que olvidar que un cerebro grande consume más energía (en un mamífero adulto cerca del 20% y cerca del 60% en una cría, con lo que ello supone de esfuerzo para la madre o los cuidadores) por lo que la selección favorecerá cerebros grandes solo en el caso de que realmente sean necesarios

FACTORES ECOLÓGICOS Y CE

La plasticidad conductual que otorga un mayor cerebro contribuye a que Las especies con CE grandes presenten una mayor ocupación de nuevos nichos ecológicos que las especies con CE pequeños.

La **vida arborícola** es más complicada que la realizada en tierra. En la mayoría de los primates ello ha supuesto una presión selectiva que ha favorecido por poner unos ejemplos representativos el mayor desarrollo de la visión binocular para poder calcular los saltos o el desarrollo de las extremidades superiores para poder asir bien las ramas, desarrollo que necesariamente tuvo lugar filogenéticamente antes de que nuestra especie pudiera permitirse la proeza de fabricar herramientas, tocar el piano o escribir en un teclado.

El hecho de que en los primates tengan mucha importancia el aprendizaje y la experiencia hacen que la **longevidad** pueda ser una variable involucrada directa o indirectamente con el desarrollo del encéfalo. Si bien ser longevo no correlaciona directamente con un mayor desarrollo encefálico. Harriet, la tortuga que trajo Darwin de su viaje a las islas Galapago, vivió hasta 2006 y como el resto de sus compañeras de especie posee uno de los CE más bajos entre los reptiles. Sin embargo si se dan juntas en una especie longevidad, capacidad de enseñar y aprender y vida en grupo tenemos una potente mezcla de ingredientes para el desarrollo encefálico

Los hábitos alimenticios también ejercen una presión selectiva directa sobre el tamaño del encéfalo. Los primates que comen hojas (folívoros) tienen encéfalos más pequeños que los que comen fruta (frugívoros). Posiblemente ello sea debido a que comer fruta es más complicado que alimentarse de hojas (periodos variados de maduración, colores y olores que informan de la calidad o el peligro, distintas estrategias de recolección etc...)

Las **interacciones ecológicas entre distintas especies** también han ejercido una presión selectiva en el desarrollo del encéfalo. Podríamos poner infinidad de ejemplos en este sentido, pero pondremos uno solo muy común: el desarrollo de mejores habilidades de huida en una presa ejerce una presión selectiva sobre los mecanismos sensorio-motores del depredador (y viceversa).

FACTORES ETOLÓGICOS Y CE

La mayoría de los primates establecen complejas interacciones sociales y esa circunstancia correlaciona positivamente con el incremento del desarrollo encefálico.

El **tamaño del grupo** predice hasta el 46% del incremento del tamaño de la corteza. Vivir en grupos numerosos conlleva una mayor complejidad en las interacciones y el reconocimiento del rostro de miembros del propio grupo conlleva el desarrollo de las áreas visuales y memorísticas entre otras.

Por su parte **el juego** es una de las mejores estrategias de aprendizaje social y de desarrollo de habilidades y en las especies de primates es esencial

En los cetáceos también parece que es la vida “en sociedad” la que ha provocado un mayor crecimiento encefálico, ya que ni la presión de la vida acuática, ni la eco-localización que comparten con los murciélagos, por ejemplo, ni la capacidad para seguir complicadas rutas migratorias parecen ser conductas implicadas en este desarrollo ya que las comparten con otros mamíferos cuyo desarrollo encefálico es mucho menos notorio.

LA INTELIGENCIA

Aunque la inteligencia es un concepto escurridizo y difícil de medir en otras especies, podemos proponer una definición amplia y señalar que es la capacidad que permite el grado de flexibilidad mental o conductual necesario para dar soluciones nuevas y adaptativas a cada problema que el medio plantea.

La inteligencia correlaciona con el tamaño del encéfalo y más concretamente con el número de neuronas y sinapsis, con la velocidad de conducción del impulso nervioso y con las especializaciones funcionales de la corteza prefrontal.

Debemos destacar que en la filogenia hay diversos ejemplos de inteligencia considerable en muchas especies. Además de los primates y los cetáceos, y algunos mamíferos superiores como perros o lobos, entre las aves los loros y guacamayos tienen un gran desarrollo encefálico. También los corvidos destacan por la habilidad en la fabricación de herramientas, la capacidad de planificar acciones y su gran flexibilidad conductual. Aunque en nuestra especie la inteligencia parece haber alcanzado un techo la naturaleza nos enseña que no somos únicos y nos provoca sentimientos de asombro y humildad.

EL ENCEFALO DE LOS HOMINIDOS

Los humanos tenemos el índice de encefalización más alto de todos los mamíferos (>7). Somos primates, catirinos (Del gr. *katá*, hacia abajo, y *rhinos*, nariz), hominoideos, taxón o categoría que compartimos con los llamados simios antropomorfos o antropoides (gibones, rangutanes, gorilas, chimpancés y bonobos).

Durante su desarrollo evolutivo, los primates consiguieron ciertos rasgos especiales: buena visión, manos para sujetar firmemente objetos y un cerebro más grande.

Los primeros homínidos surgieron hace 24 millones de años. Según los análisis genéticos, el último ancestro común entre el ser humano y el chimpancé, nuestro primo más cercano, existió hace 6 o 7 millones de años, tras lo cual nuestra línea evolutiva se diversificó.

Los restos fósiles más antiguos tras esta separación (3.9/2.8 millones de años) pertenecen a la especie **Australopithecus afarensis**. Con un marcado dimorfismo sexual y un encéfalo entre 3

y 4 veces menor que el nuestro, vivía en los bosques y su alimentación era similar a la de los chimpancés salvo que incorporaban raíces a su dieta. La diferencia más notable, no obstante, era su postura bípeda, ya que por presiones ecológicas tuvieron que adaptarse a vivir en el suelo, si bien el bipedismo no parece influir directamente sobre el desarrollo del encéfalo, que en el *Afarensis* es muy parecido al del chimpancé.

El primer representante del género *Homo*, apareció hace 1,9 a 1.6 millones de años, poco después del inicio de las glaciaciones. Se le puso el nombre de *Homo Habilis*, puesto que sus restos aparecen asociados a una cuantiosa industria lítica. La aparición del *habilis* se asocia con la desaparición del género *Australopithecus* y representa la primera especie de un nuevo género, alguna de cuyas especies, distintas a la nuestra, perdurarán en la Tierra más de un millón de años.

Aquí podemos ver los cambios en el volumen encefálico de diferentes homínidos, que también estuvieron acompañados de cambios morfológicos que progresivamente dieron al cráneo y a la cabeza una forma más humana.

	Peso promedio del encéfalo	Índice de encefalización
<i>Australopithecus afarensis</i>	426 g	1,23
<i>Australopithecus africanus</i>	436 g	1,3
<i>Paranthropus robustus</i>	523 g	1,54
<i>Paranthropus boisei</i>	508 g	1,34
<i>Homo habilis / Homo rudolfensis</i>	619 g	1,67
<i>Homo ergaster</i>	805 g	1,72

Después del *Homo habilis* podemos encontrar las especies de *Homo ergaster* y *Homo erectus* en las que se aprecia un desarrollo encefálico (y por tanto conductual) mayor. Veamos estos cambios de una forma más detallada

CAMBIOS EN LA ONTOGENIA

La neotenia, es la conservación de características inmaduras en el estado adulto. En nuestros ancestros propició:

- El mantenimiento de una configuración craneal juvenil durante más tiempo, permitiendo el desarrollo postnatal del encéfalo.
- Periodos más largos de proliferación celular llevando a un mayor desarrollo de la neocorteza
- Plasticidad neuronal: mantenimiento durante más tiempo de la capacidad del SN para modificar su funcionamiento y morfología ante cambios ambientales

CAMBIOS EN EL SISTEMA DIGESTIVO Y LA ALIMENTACIÓN

En el *H. ergaster* se produce un cambio en su sistema digestivo ligado a una modificación del tipo de dieta (incorporación de proteínas de origen animal). La calidad de la dieta está relacionada con la eficacia energética y a través de esta con el desarrollo encefálico. Parece ser

que este cambio en la dieta no fue acompañado de una dentición más eficaz, pero no hacía falta ya que esta especie y posteriores fueron capaces de elaborar herramientas. Los chimpancés actuales también lo son en cierto sentido. Sin embargo en las especies del género homo se aprecia planificación y la actitud de intervenir con anticipación y propósito en su medio ambiente con el fin de paliar sus carencias anatómicas. La utilización de herramientas por parte de los chimpancés es más “sobre la marcha”. Además de una mayor capacidad de abstracción se observa en el género Homo un mayor control de la motricidad fina por parte de los ganglios basales.

CAMBIOS EN LA REPRODUCCIÓN

Las mujeres maduran sexualmente antes y el periodo entre un nacimiento y otro es más corto que en el resto de primates antropoides. Probablemente estas circunstancias ya se dieran primeros representantes del género Homo lo cual explicaría su rápido crecimiento y expansión demográfica. No obstante pensemos en la dificultad de sacar adelante a crías con grandes encefalos, que venían al mundo con características inmaduras y que consumían muchos recursos, cuando además los partos se pueden producir sin apenas espaciamiento. Estas circunstancias hacen necesaria la consolidación de un entorno social. Como sabemos en las sociedades poligínicas el macho apenas colabora en la crianza y el dimorfismo sexual es muy marcado. En el género homo se produce una disminución del marcado dimorfismo sexual que presentaban los australopitecinos. La aparición de la monogamia contribuyó además de lo expuesto al desarrollo de vínculos afectivos en la pareja y por tanto a una mayor receptividad sexual de la mujer en comparación con las hembras de otras especies (subieron los niveles de determinadas hormonas como la oxitocina o la vasopresina). Esta es una característica diferencial de nuestra especie, ya que en el resto de grandes simios los machos no se implican en el cuidado de la descendencia como lo hacen los humanos.

INTERACCIÓN SOCIAL

Sean las que sean las circunstancias que llevarosna nuestros antepasados a vivir en grupos el hecho es que la vida en grupo supone grandes ventajas (defensa, protección, colaboración) pero también es mucho más compleja: hay que establecer alianzas, a veces hay que engañar, pero también detectar posibles engaños, distinguir a los miembros del grupo de los que no lo son y controlar sus estados de ánimo entre otras cosas.

Todas estas habilidades correlacionan positivamente con la aptitud inclusiva, de ahí que la selección natural ejerza una presión selectiva para mejorarlas y promueven el desarrollo de áreas corticales (por ejemplo la corteza cingulada anterior y parte del lóbulo frontal, que intervienen en el autocontrol y la conciencia social, dos habilidades fundamentales para sacar adelante nuestros genes).

LENGUAJE

Para manejarnos en un grupo numeroso necesitamos comunicarnos y la presión selectiva también fomentó el desarrollo de la comunicación. Todos los simios antropoides se sirven de vocalizaciones que expresan estados afectivos para comunicarse con otros individuos de su especie. Las asimetrías corticales asociadas con el lenguaje se encuentran ya, aunque en menor medida, en gorilas y chimpancés, lo cual indica que el sustrato neural del lenguaje es herencia de un antecesor común de los antropoides y los humanos.

En chimpancés el área cerebral equivalente a nuestro área de Broca (encargada de los mecanismos motores del lenguaje) parece estar involucrada en la interpretación de los gestos con que habitualmente se comunican estos primates y el área equivalente al área de Wernicke, asociada en nuestra especie con la comprensión del lenguaje se vincula en los chimpancés con la comunicación por medio de sonidos.

No sabemos si los individuos del género *Homo* anteriores al *Homo sapiens* hablaban o no, aunque parece que la reorganización encefálica detectada en esta especie afectó al área de Broca. Sin embargo, el análisis del canal por el que sale el nervio hipogloso del cráneo ha puesto de manifiesto que ese canal no adquiere las dimensiones actuales hasta hace tan solo 300.000 años y parece ser que hasta épocas recientes no había un control adecuado del diafragma y los músculos torácicos todo lo cual indicaría que es poco probable que esos homínidos dispusieran de un lenguaje similar al nuestro, si bien estos resultados no son concluyentes y algunos de ellos son discutidas por la comunidad científica.

La capacidad humana para el lenguaje es innata y se puede decir que supone un auténtico “salto cuántico” que nos separa del resto de especies animales. Algunos lingüistas como Noam Chomsky han propuesto que el lenguaje estaría determinado genéticamente y organizado en circuitos cerebrales en lo que él llama una gramática universal, si bien estas ideas también son controvertidas

CULTURA

El lenguaje está estrechamente asociado a ese otro tipo de herencia no genética que llamamos cultura y que recoge todo el conocimiento acumulado que la experiencia, la observación, el arte y la tecnología han ido aportando a la humanidad a lo largo de los poco más de 100.000 años de existencia de nuestra especie.

La Capilla Sixtina, la teoría de la Relatividad, la música de Bach o los diálogos de Platón son consecuencia en buena parte de la historia filogenética que hemos narrado aquí. Pero no podemos olvidar que nuestro grandioso encéfalo surgió hace miles de años y muchos comportamientos que eran evolutivos hace milenios son problemáticos hoy en día, allí están las consecuencias del territorialismo o la agresividad desde el genocidio nazi hasta los actuales atentados terroristas. Sin embargo en cierto sentido somos una de las especies más flexibles y menos determinadas genéticamente. La plasticidad de nuestro órgano rey hace posible que por medio de la educación, por ejemplo podamos superar nuestros atavismos ¿podremos encauzar nuestro lado más oscuro? La selección natural, tiene en este sentido la última palabra.

