



*Epigénesis y Desarrollo diferencial
de la Mente Humana*

*Discurso de Recepción de la
Académica de Número*

Excmo. Sra. D^a. Sylvia Sastre i Riba

y

contestación del

Excmo. Sr. D. Agustín Dosil Maceira

Sesión Pública del 11 de septiembre de 2025

Madrid



*Epigénesis y Desarrollo diferencial
de la Mente Humana*

Excma. Sra. D^a. Sylvia Sastre i Riba

Excelentísimo Sr. Presidente de la Academia de Psicología de España,

Excelentísimas señoras y señores académicos,

Sr. Presidente del Consejo de la Psicología de España,

Queridos colegas y amigos.

Es un alto honor haber sido propuesta como miembro de número de la Academia de Psicología de España, y tomar posesión como tal en este solemne acto. En primer lugar, quiero agradecer el apoyo recibido por los miembros de la Academia para poder llegar a este punto destacado en mi trayectoria académica, y en especial a los académicos: Dr. Agustín Dosil Maceira, quien además contestará generosamente a este discurso, Dr. Miguel Ángel Verdugo Alonso, y permítanme una mención especial a la querida y desaparecida Dra. M^a Teresa Anguera quien, además, pronunció el elogio previo de mi Curriculum Vitae. Gracias por el apoyo al promover mi candidatura.

Quiero felicitar a la Dra. Rosario Ortega Ruiz, de acreditado prestigio en la Psicología española, porque se incorpora también como académica de número en este acto. Felicidades, Charo.

Pertenecer y participar en la Academia de Psicología de España supone una gran satisfacción y, a la vez, un reto. Satisfacción por poder compartir con tantas personas ilustres de la Psicología de España (a muchas de las cuales he estudiado en mi formación universitaria y otras han sido referencia investigadora) el objetivo común de fortalecerla y contribuir a guiarla hacia perspectivas de futuro. Reto porque para ello, es preciso participar activa, racional y responsablemente en el devenir de una entidad de referencia para la Psicología en la que están representados académicos y profesionales destacados que la han fraguado, día a día, a lo largo de su devenir hasta hoy, proyectándola hacia el futuro con propuestas dinámicas y ajustadas a las exigencias de la cambiante realidad social, profesional y académica.

Pero alcanzar este momento reclama recordar a las personas que han contribuido, como plataforma inquebrantable, a que haya sido merecedora de esta distinción responsable: en primer lugar, mis padres (Ramon y Oren-cia) y familia que apostaron por apoyar mi decisión de dirigir mi formación y esfuerzos hacia una profesión que nacía en aquellos momentos, la

Psicología. Gracias, hasta siempre. A mi hijo que, aunque no pudiera acompañarme presencialmente hoy por vivir lejos de España, ha facilitado mi devenir académico colaborando en la libertad de horas de dedicación y desplazamientos que a veces eran incompatibles con la dedicación hacia él, sin un reproche. Gracias, Ignasi, por ser como eres.

Y no puedo dejar de agradecer a mis grandes maestros-as que inspiraron en mí la trayectoria que he ido fraguando con su modelo y enseñanza: al Dr. Antoni Cambrodí, “metge de nens” como le gustaba que se le denominara, al Dr. Joaquim M^a Aragó i Mitjans, al imprescindible tutor Dr. Estanislao Pastor Mallol, a mi querida mentora Mina Verba en el CNRS y ahora también a Christopher Perleth en la universidad de Rostock. También a Pierre Mounoud y Hermine Sinclair en Ginebra. Y, sin duda, a la muy querida y cercana Dra. M^a Teresa Anguera Argilaga con quien, lamentablemente, no puedo compartir este acto como parecía factible hace unos meses. Todos ellos inspiraron en mí el interés hacia la investigación del desarrollo cognitivo temprano y diferencial, e infundaron el valor del esfuerzo necesario para hacerla posible desde perspectivas novedosas, no anquilosadas en postulados establecidos.

No puedo olvidar a compañeros destacados en mi trayectoria: al grupo de investigación EICUR en la Universidad de La Rioja por su estímulo y acompañamiento en los últimos años (Pilar Bretón, Javier Escorza, Lourdes Viana, Roberto Lozano o M^a Luz Urraca), al Dr. Antoni Castelló infatigable compañero de investigación desde la UAB o la Dra. Luz Pérez desde la UCJC, a otros compañeros desde disciplinas como la Neuropediatría (Dra. M^a Luisa Poch, Dr. Manuel Marín Padilla), neurología (Mariano Ota), ingeniería (Dr. Luis M^a López) o la Psicolingüística (Dr. Francisco J. Ruiz de Mendoza) que me han enriquecido interdisciplinariamente y son parte de lo que he sido capaz de ir fraguando. A los mentores del Programa de Enriquecimiento Extracurricular (Pedro, Gemma, Roberto, Gema, Silvia, Clara, Artemes, Irene, etc.) que compartieron con entusiasmo mi tarea haciéndola posible. También quiero mencionar a ACIPE como asociación de investigación que me ha acogido y hecho partícipe de proyectos que trascienden mi día a día académico, proyectándolo.

A todos-as gracias, y pido disculpas a otras personas que dejo de mencionar debido a la necesariamente moderada extensión de esta exposición.

El tema que expongo a continuación pretende recoger las líneas-base de lo que ha sido el eje de mi pensamiento académico y que ha mantenido el esfuerzo investigador hacia el intento de comprender cómo se fragua la mente humana a lo largo del desarrollo, diferencialmente, desde la deficienciación hasta la alta capacidad intelectual, los factores estructurales, funcionales y contextuales implicados en ello, especialmente desde edades tempranas, y su resultado como respuesta para afrontar los retos del día a día en la vida humana. Para ello, he necesitado siempre la colaboración interdisciplinar desde la Neuropediatría (especialmente) o la Lingüística.

Epigénesis y Desarrollo diferencial de la Mente Humana

¿Cómo emerge la mente humana a partir de un cerebro en desarrollo, en un contexto social?
(Quartz y Sejnowski, 1997).

La mente es un constructo básico para explicar la naturaleza del ser humano. Comprender qué le hace único y eficiente, comporta explicar la complejidad de su conducta como uno de los seres vivos en la Tierra que comparte con otras especies información genética común para la vida, pero de las que se diferencia debido a las transformaciones evolutivas a lo largo de la filogénesis que han dado lugar a distintos linajes, y diversas formas de vida mental. La evolución mediante la selección natural explica la diversidad de las formas de vida existente, desde los microorganismos unicelulares, como las bacterias, hasta los organismos multicelulares como las plantas y animales (Castro-Alonso et al., 2024). Un ejemplo de su impacto en la cognición humana es la aparición de las primeras neuronas y circuitos interactivos (*networks*) que han ido dando soporte a la representación mental.

Según los expertos, la clave para entender qué ha hecho diferente al hombre respecto de otros animales y le ha permitido sobrevivir a lo largo de millones de años, a pesar de no ser la especie más rápida, ni la más ágil, ni disponer de cambios de apariencia de camuflaje, ni venenos defensivos, ni ser la más longeva o de mayor tamaño corporal (Sastre-Riba, 2014), reside en un rasgo característico: la capacidad para pensar, reunir o construir conocimiento físico y lógico sobre el mundo, creando representaciones mentales complejas de él, disponer de un complejo sistema comunicativo (el lenguaje) y tener conciencia del pensamiento sobre uno mismo y sobre los demás. Es decir, la mente humana y el órgano físico del que emerge: el cerebro, órgano que

facilita el aprendizaje, la memorizaci3n, el razonamiento e inteligencia y las emociones, permitiendo la adaptaci3n superior, humanizaci3n y cultura.

Desde la neurociencia, la paleoantropologí a y la genética (Miller et al. 2022) la hipótesis más prevalente es la de que la evoluci3n trajo cerebros y mentes en un mundo inicialmente carente de vida inteligente, convirtiéndose en las herramientas de supervivencia por excelencia del ser humano. Durante más de mil millones de años, el proceso evolutivo ha diseñado la especializaci3n sucesiva de este 3rgano, esencia de la naturaleza humana; por lo tanto, la humanidad actual es el resultado de los cambios que se han ido sucediendo en un cerebro (y su mente) que ha sustentado las distintas adaptaciones. Estos cambios se plasman en su volumen respecto al de otras especies y en el linaje del *Homo Sapiens* (DeSilva et al., 2023), pero también en la complejidad de su organizaci3n interna y funcionamiento diferencial que ha ido dando lugar a las características cualitativas, productos de conocimiento, conductas específicas (comer con la mano, control de esfínteres, control de la expresi3n emocional, etc.), arte, cultura y civilizaci3n, es decir, la humanizaci3n como conjunto de rasgos que nos identifican, resultado de la filogénesis de la especie.

En suma, el proceso evolutivo ha ido diseñando una maquinaria neural que ha dado lugar a la mente y a la conducta inteligente como pensamiento adaptativo en respuesta a las demandas del entorno. Comprenderla, reclama saber cómo se ha ido construyendo, desde un abordaje interdisciplinar entre ciencias como: la Biología evolutiva, la Ciencia cognitiva, la Neurociencia, la Psicología, la Paleoantropología, o la Genética, basándose en la anatomía (fósiles), la genética molecular, la arqueología (herramientas y vestigios humanos), o el Arte. Este abordaje permite ir conociendo los grandes procesos que han sucedido para dar lugar al cerebro de hoy y su funcionalidad mental resultado del cambio, especialmente en los últimos 100.000 años (Martín-Loeches et al., 2018).

Por otra parte, la mente inteligente (y los procesos cognitivos que comporta) es un predictor de la salud y bienestar de la persona (Fries y Pietsching, 2022). Los procesos cognitivos son relevantes, desde la pequeña infancia, para el desarrollo y emergencia de competencias, las operaciones mentales que van diferenciando reglas o procedimientos complejos y la autorregulaci3n de la conducta, expresándose en amplias diferencias individuales, entre ellas, la Alta Capacidad Intelectual. De ahí la relevancia en conocer los condicionantes genéticos y neurobiológicos que hacen posible esta

expresión diferencial en covariación con factores moduladores endógenos y exógenos a lo largo del desarrollo, es decir, la ontogénesis. Es preciso también conocer cuáles son los factores y situaciones de adversidad significativa y persistente que generan disrupción en el desarrollo individual, el bienestar personal y la sostenibilidad social.

La aportación interdisciplinar de distintas ciencias como la Genética explica la base biológica predictora de un potencial cognitivo que condiciona una citoarquitectura cerebral potencialmente eficaz; la Neurociencia aporta cada vez más indicadores sobre esta base física: el cerebro y su complejo funcionamiento, o la Psicología aporta explicaciones sobre la multidimensionalidad de los procesos mentales para un funcionamiento mental eficaz y la incidencia en ellos de factores moduladores que covarían con la base neurobiológica, a lo largo del desarrollo, intentando explicar su impacto y consecuencias en cursos diferenciales. La eficacia (mayor o menor) de la respuesta que, como resultado de este proceso, observamos en nuestra conducta, es lo que se denomina inteligencia.

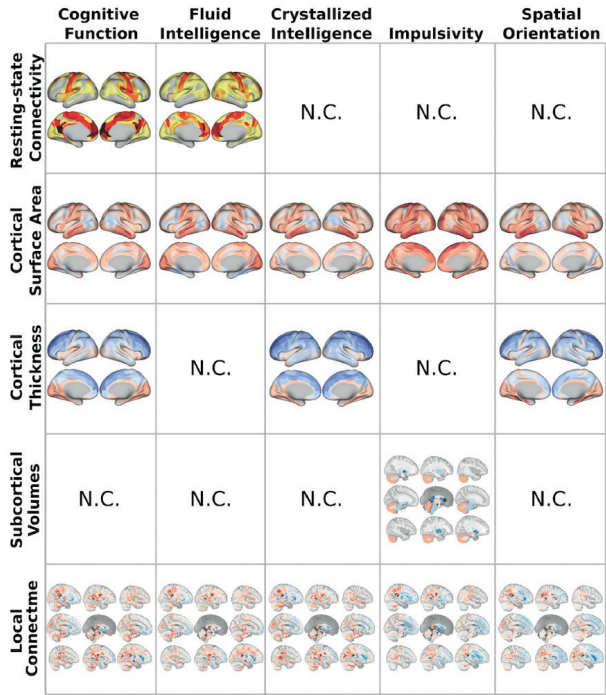
El protagonista es el cerebro y su funcionamiento mental, cómo se configura y transforma dando soporte a la emergencia de competencias, y cómo se expresa más o menos óptimamente el potencial que entraña para los procesos cognitivos y la conducta interactiva y adaptativa.

La Genética (Plomin y von Stumm, 2018) aporta recientes avances en la investigación, logrando identificar secuencias genómicas hereditarias que explican hasta el 20% del 50% de la heredabilidad de la inteligencia abriendo nuevos *insights* en el campo para la ciencia y la sociedad, remarcando, no obstante, la importancia de contemplar la covariación que ejercen en su expresión, factores moduladores personales y del entorno, es decir, la información genética no es inmutable ni suficiente para explicar la variabilidad del desarrollo. Explica la base biológica predictora de la citoarquitectura cerebral potencialmente más o menos eficaz, el aumento lineal de la heredabilidad de la inteligencia desde la infancia (20%) hasta la edad adulta (60%), y estudia el papel del entorno en su expresión (Plomin et al., 2016). En suma, aporta el potencial neurobiológico pero debe apoyarse en otras ciencias para explicar su expresión.

La Neurociencia explora el cerebro humano en detalle para dar luz sobre la naturaleza y funcionamiento de la mente humana mediante el estudio integrado de las bases neurales de las representaciones mentales involucradas

en procesos cognitivos, emocionales, motivacionales y psicológicos. Aunque los significativos avances del S.XX y S.XXI y la integración de las técnicas de imaginación mental (Rasero et al. 2021) no permitan comprender todavía totalmente el cerebro y su funcionamiento, aportan significativas evidencias de los correlatos anatómicos y neurofuncionales sobre la relación entre actividad cerebral (mente) y conducta inteligente durante la resolución de tareas diversas (abiertas, cerradas, de generación de hipótesis, creativas, de *insight*, etc.). Estas evidencias están basadas en: a) la reactividad del cerebro ante esas tareas (mediante técnicas de imaginación cerebral como el PET, fMRI, etc.) y su conectividad funcional (mediante técnicas como el EEG, MEG, etc.), b) la temporalidad de los procesos cognitivos mediante el estudio de los potenciales evocados que permiten establecer una relación entre el proceso sensorial de captación de un estímulo físico, el tiempo de procesamiento hasta la toma de decisiones y, finalmente, la respuesta motora a ello.

Figura 1
Integración de técnicas de neuroimagen para conocer la habilidad cognitiva (Tomado de Rasero et al., 2021)



La Psicología ofrece un interesante e integrador abordaje interdisciplinar desde el neuroconstructivismo (Astle et al., 2023; Rinaldi et al., 2017; Johnson, 2010; Mareschal et al., 2007) para comprender mejor la naturaleza y funcionamiento del cerebro, los procesos mentales y su resultado inteligente (típico o atípico). El neuroconstructivismo postula que los humanos tenemos, además de un órgano físico especializado, unos estados mentales que emergen a lo largo del desarrollo de la actividad cerebral de las neuronas (unidad básica de funcionamiento), y la creación de complejos circuitos interactivos (*networks*) neuronales y celulares que lo configuran. Estas unidades de funcionamiento mental se basan en complejos *networks*, circuitos especializados combinados que integran funcionalmente otras regiones y hemisferios cerebrales receptoras de la información propioceptiva y del entorno, transformándola o procesándola especializada, dando soporte a la representación mental, a los pensamientos, deseos y creencias, así como a la conducta. La eficacia (mayor o menor) de la respuesta que, como resultado de este proceso, se observa en la conducta adaptativa, interactiva o de aprendizaje, es lo que se denomina *inteligencia*.

En consecuencia, conocer las bases estructurales de la Mente humana (y conducta inteligente) su emergencia, desarrollo y funcionamiento, supone adentrarse en la intrincada red de transformaciones filogenéticas y ontogenéticas habidas y que se van sucediendo. Para ello, en primer lugar, analizaremos la relación entre cerebro, mente e inteligencia para ofrecer una visión general de los correlatos estructurales de la configuración del cerebro, los correlatos funcionales de la mente y su consecuente resultado en la conducta observable más o menos exitosa (inteligencia). A continuación, señalaremos los principales cambios filogenéticos en el cerebro y mente humana con las consecuencias estructurales y funcionales que han supuesto para el ser humano actual. Tras ello se ofrece una breve visión de la epigénesis probabilística del desarrollo ontogenético para, finalmente abordar una de sus expresiones diferenciales: la Alta Capacidad Intelectual (ACI).

1. Bases estructurales y funcionales: cerebro-mente-inteligencia

Cerebro, mente e inteligencia son términos que se utilizan de forma similar dado que se refieren a procesos íntimamente relacionados, aunque tienen significados distintos. No siempre hay una relación directa desde la actividad electroquímica del cerebro hasta el comportamiento observable más o menos exitoso, aunque éste comporte distintos niveles de funcionamiento: el físico (cerebro), el funcional donde se efectúan las operaciones con las

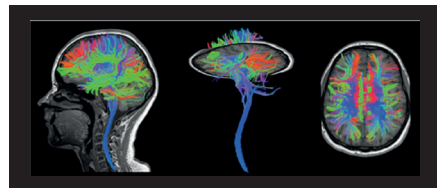
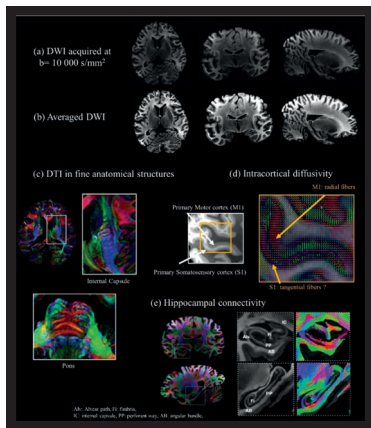
representaciones construidas (mente), y el conductual (inteligencia) como parte más o menos manifiesta de los anteriores.

El Cerebro Humano

El cerebro es el órgano principal del sistema nervioso, encargado de dirigir todo lo que hace nuestro cuerpo, consciente o inconscientemente. Un cerebro adulto está configurado por cerca 100 billones de neuronas interconectadas en un número relativamente pequeño de *networks* funcionales (conectoma) que subyacen a la conducta y cognición humana (Fan et al., 2022; Toga et al. 2012) permitiendo procesos tan importantes como la visión, audición, la memoria, el pensamiento, el aprendizaje, la conciencia y otras propiedades de la mente que se irán describiendo.

Figura 2

Imágenes de MRI del conectoma hemisferial y entre la corteza primaria, somatosensorial e hipocampo (Tomado de Fan et al., 2022)



Su estructura actual es el fruto de la filogénesis de la especie, y de la neurogénesis individual en la que los genes y la experiencia van determinando cómo emerge y se desarrolla a través de sucesivos cambios en los que no sólo se configuran sus células y estructuras básicas, sino también las conexiones entre ellas y su funcionamiento neuroquímico y bioeléctrico, especialmente durante los dos o tres primeros años desde la concepción,

extendiéndose su transformación a lo largo de la vida, en una epigénesis probabilística.

Por lo tanto, el cerebro humano es el soporte físico de la actividad intelectual como capacidad de generar y transformar representaciones. Es un órgano relativamente pequeño altamente especializado y preciso en el que reside toda la información de nuestra identidad como personas (dónde hemos nacido, estatura, nombre, fecha de nacimiento, etc.) y como especie. Un tipo de máquina semiautomática que sigue decisiones jerárquicas guiadas por la experiencia, basadas en sesgos preformados pero también con libre albedrío, como un sistema en el que reside la capacidad para captar sensaciones y darles significado (percepción), procesar relacional y significativamente la información, organizarla, almacenarla y evocarla voluntariamente con el fin de tomar decisiones para actuar y resolver problemas de la vida cotidiana.

En suma, un órgano especializado con unas características estructurales y funcionales para sostener representaciones cada vez más complejas (en forma de estados de activación) y ejecutar cambios en las mismas (modificando dichos estados), condicionadas por sus características físicas y la experiencia.

La Mente humana

La mente organiza numerosas habilidades a lo largo de un pequeño número de dimensiones: sensación corporal, cognición o emoción (Malle, 2021). Representa una experiencia subjetiva (Lisbet, 2006) del estado funcional emergente de la actividad de las neuronas, redes neuronales y células que configuran el cerebro, aunque no sea idéntica a ellas. Influye en la toma de decisiones y acciones, y alberga los procesos intelectuales pero también deseos y creencias. Está, pues, condicionada por la organización cerebral en un feed-back interactivo de influencias entre ellos (Gazzaniga, 2018, 2013).

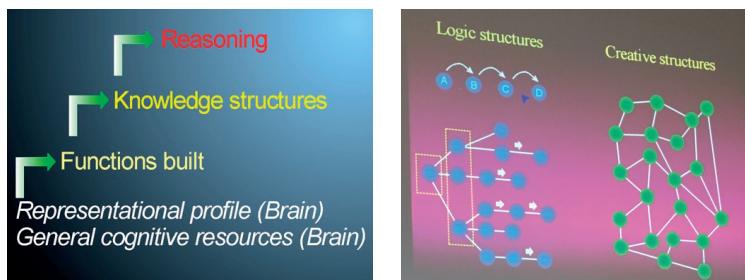
Cerebro y mente interactúan como un sistema dinámico que incluye dos capas: la citoarquitectura (*hardware*) y la mente (*software*), es decir, la actividad mental interactúa con la actividad neuronal y sus redes para producir estados de conciencia en un amplio campo decisional de posibilidades en las que se basa el libre albedrío, la creatividad y el aprendizaje (Fuster, 2014).

Por lo tanto, la actividad mental es el uso de funciones, o combinaciones de recursos elementales que permiten representar algún objeto y operar con dicha representación (Castelló, 2014). Las funciones son una forma de utilizar el cerebro (y el cuerpo) más o menos eficaz sin cambiar sus características estructurales, pero sí potenciándolas ampliamente, partiendo de un número pequeño de recursos básicos. Estas funciones mentales substituyen la interacción física con los objetos y, en general, permitirán anticipar múltiples situaciones y hacer la conducta más eficiente. De este modo, cuando se representa alguna situación, se puede operar con ella sin necesidad de actuar directamente, lo que propicia un notable ahorro de energía y tiempo, además de evitar los riesgos de la acción tentativa en situación real.

La principal ventaja de las funciones es que se pueden construir de manera razonablemente ajustada a los objetos y actividades de cualquier entorno, lo que les aporta la flexibilidad adecuada para negociar la adaptación a los muy variables entornos culturales. Además, construyen perfiles de funcionamiento mental diferencial, más lineales o con mayor interconectividad como se representa en la Figura 3, que explican cómo funcionan unas mentes versus otras.

Figura 3

Desde los recursos cerebrales hasta la actividad cognitiva (Tomado de Castelló-Tarrida, 2014)



En consecuencia, la arquitectura funcional del cerebro, su conectividad y patrones de actividad neuronal fundamentan la mente humana y permiten comprender cómo funciona para dar lugar, desde los inputs sensoriales y su procesamiento a diferentes estructuras de conocimiento, formas resolutivas de tareas diversas y toma de decisiones en la vida cotidiana. Es decir, lo que se suele denominar “Inteligencia”.

La Inteligencia

La inteligencia es el resultado observable del funcionamiento mental del cerebro activo. Su definición, a pesar de su estudio desde finales del S.XIX, no está aún unificada. Ante esta disparidad conceptual, la *American Psychological Association* (1996), difundió una definición comprensiva que sirve de base al neuroconstructivismo como marco teórico en el que se inserta este documento: “Las personas difieren entre sí en su capacidad para comprender ideas complejas, de adaptarse eficazmente al entorno, de aprender de la experiencia, de participar en diversas formas de razonamiento y superar obstáculos mediante la reflexión. Aunque estas diferencias individuales pueden ser sustanciales, nunca son totalmente constantes: el rendimiento intelectual de una persona puede variar en distintas ocasiones, en distintos ámbitos y, según se juzgue, por diferentes criterios. El rendimiento intelectual de una persona varía en función de las ocasiones, los ámbitos y los criterios. Los conceptos de «inteligencia» intentan aclarar y organizar este complejo conjunto de fenómenos” (Neisser et al., 1996).

Por lo tanto, la inteligencia engloba las capacidades mentales esenciales para la supervivencia: captar los estímulos del entorno, procesarlos con significado, almacenarlos y evocar las informaciones representadas para dar una respuesta o construir conocimientos en cualquier contexto ambiental. Tras esta definición aparentemente sencilla subyace la complejidad de la arquitectura cognitiva para hacer posible una adaptación eficaz mediante la activación y regulación de procesos cognitivos básicos como la percepción, el aprendizaje, la memoria, el razonamiento o la resolución de problemas.

Su explicación científica emerge a finales del S.XIX con la primera definición de Taine (1870) como una *energía mental que permite transformar los estímulos en sensaciones y las sensaciones en ideas* (p. 86), subyacente en las definiciones actuales, aunque reformulada. Tras ello, numerosas aportaciones conceptuales como la de Galton (1883) o intentos de medida desde los trabajos pioneros de Binet (1903) o Terman (1916) han marcado una trayectoria que va desde una conceptualización monolítica como capacidad general (factor g) hasta los modelos multidimensionales y computacionales actuales (Sternberg, 2012, Gardner, 2006, etc) que emergieron a partir del modelo complejo aportado por Guilford (1950, 1967) compuesto por distintas dimensiones intelectuales, entre las que incluía habilidades creativas (el pensamiento divergente y la transformación de ideas). Este modelo tuvo un importante

impacto en la visión de la naturaleza de la inteligencia, y en alguna de sus manifestaciones diferenciales como la alta capacidad intelectual.

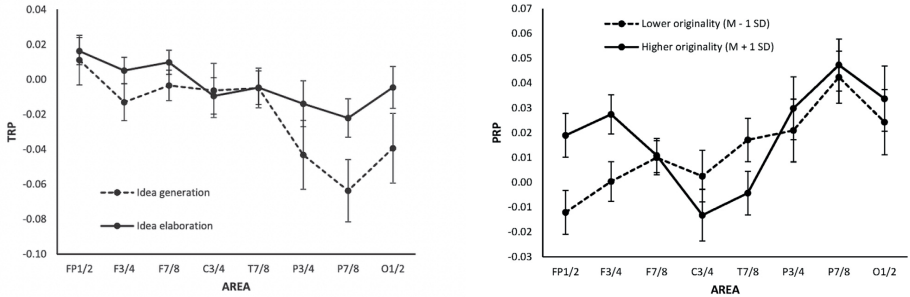
La creación de un instrumento de medida específica de la creatividad, basado en los trabajos de Guilford (1950), el *Torrance Test of Creative Thinking* (TTCT) (1990), fue un paso importante que operativizó su medida, diferenciándola del Cociente Intelectual (C.I.), especialmente interesante para el concepto moderno de Alta Capacidad Intelectual, que la incluye como uno de sus componentes. Actualmente no puede definirse la inteligencia sin incluir en ella la creatividad (y sus componentes: fluidez, flexibilidad, originalidad y elaboración) como la habilidad de producir algo nuevo (original e inesperado), de alta calidad, y apropiado (útil) que reclama el pensamiento divergente y el convergente para combinar nuevas ideas en el mejor resultado (Sternberg, 2007). Algunos de estos componentes se manifiestan tempranamente y otros deben ser desarrollados e incorporados por la persona a lo largo de la vida, mediante parámetros de: intencionalidad, motivación, elección, estrategia y evaluación. Puede estar aplicada tanto a productos artísticos como al proceso científico o la resolución de tareas.

La importancia de la creatividad como forma de funcionamiento cognitivo está corroborada por el interés hacia ella de la neurociencia en los últimos años para explicar la base estructural del proceso creativo (ver una revisión en Beaty, 2020). Se estudia el papel de los lóbulos frontales y áreas posteriores del cerebro (Dietrich, 2004), o de determinadas áreas subcorticales como los ganglios basales, o mayor actividad alfa en el área parieto-temporal, o mayor flujo sanguíneo en el giro postcentral o parahipocampal derecho, etc. Los estudios neuro-funcionales señalan la importancia del córtex parietal en el proceso creativo, el cíngulo en la selección interna de pasos a realizar y de las regiones frontales en las tareas complejas, así como la mayor delgadez de la materia gris cortical en el giro angular derecho relacionada con la producción creativa (Jung et al., 2010). También se postula su relación con un *network* entre el córtex prefrontal medial, el córtex cíngulo posterior, los lóbulos parietales inferiores bilaterales y lóbulos temporales mediales, junto con un papel destacado del hipocampo (Beaty, 2020), discutiéndose su vínculo con otros procesos cognitivos reguladores como los componentes de las funciones ejecutivas (inhibición, flexibilidad y memoria de trabajo). Los resultados aún son heterogéneos e impiden una conclusión robusta al respecto, pero redundan en la idea de que los componentes lógico-deductivos y los creativos de la inteligencia humana son competencias básicas para

la resolución de tareas, aunque con papeles distintos, ambos producto del funcionamiento del cerebro.

Figura 4

Activación del cerebro creativo (Tomado de Rominger et al., 2016)



Entre las teorías neurobiológicas actuales de la inteligencia más relevantes, destacan por sus aportaciones las de: a) la hipótesis de la eficiencia neural (Jung y Haier, 2007) que incorpora propuestas explicativas como la del modelo de plasticidad neural de Garlik (2002); b) la teoría de la integración fronto-parietal (P-FIT) de Jung y Haier (2007); o, c) *the network science theory* (Ma et al., 2017 etc.). Sus resultados se complementan configurando una prometedora aproximación al soporte neurobiológico que permite, potencialmente, una funcionalidad intelectual diferencial de alto nivel, como la Alta Capacidad Intelectual (ACI), o con dificultades como los trastornos de desarrollo.

La teoría de la eficiencia neural destaca por su explicación diferencial, (Langer et al., 2012; Neubauer et al., 2009) en tanto que, a mayor eficacia de los procesos cognitivos, muestra la existencia de menor consumo metabólico en regiones señaladas por su mayor vinculación con la actividad mental como son el córtex fronto-parietal y temporal, así como otras regiones subcorticales como el cuerpo estriado para dar respuestas correctas.

Propone que la inteligencia no es una función de la intensidad del funcionamiento cerebral sino de su eficacia, derivada de la no activación de áreas o regiones irrelevantes para la tarea y de la activación específica de las que lo son para ello, con menor consumo metabólico. Hasta el momento los estudios muestran una correlación negativa entre activación cerebral

y resolución cognitiva (Brancucci, 2012; Neubauer y Fink, 2009), sugiriendo que las personas con mayor capacidad intelectual utilizan los recursos cognitivos con mayor eficiencia, con menor activación de regiones y redes, siendo cerebros más eficientes (Jin et al., 2007). Esto rompe la idea tradicional de la sobreactivación del cerebro en la (ACI), a favor de una activación selectiva y de mayor eficiencia.

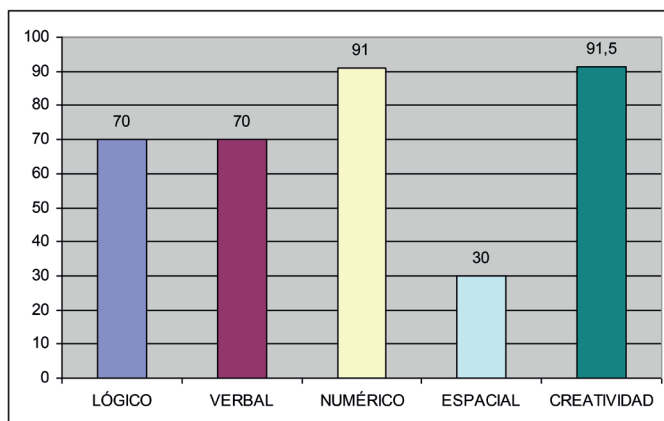
A tenor de las aportaciones actuales, la inteligencia no es un estado sino un concepto dinámico que cambia a lo largo del desarrollo, resultado emergente en función de las transformaciones que acontecen en el cerebro a través de interacciones multidimensionales entre genes, cerebro, cognición, conducta y entorno. Este concepto condiciona la estabilidad de su aproximación métrica y medidas obtenidas, a tenor de los cambios que, en paralelo acontecen, en el cerebro (Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017).

Entre sus rasgos más relevantes destacan:

- 1) Su naturaleza multidimensional, configurada por: a) habilidades implicadas en el funcionamiento lógico-deductivo o convergente de carácter lógico, objetivo, planificador, estructurado y más bien adquisitivo (razonamiento verbal, numérico, espacial, lógico, mecánico, etc.) que permiten el aprendizaje de conocimientos y formas de pensar existentes; y, b) habilidades para el funcionamiento creativo o divergente, más intuitivo y libre, que va más allá de lo lógico-deductivo (Fuster, 2014), aunque se relacionen con él. Esta naturaleza multidimensional, reclama una aproximación métrica más allá del C.I. que permita, además, observar el perfil de su configuración (ver Figura 5).

Figura 5

Perfil intelectual con distintos componentes lógico-deductivos y creatividad



- 2) Es relativamente modificable, a partir de la dotación neurobiológica, por el entorno y sus condicionantes que puede optimizar o inhibir su manifestación.
- 3) Se refleja en la conducta adaptativa de la persona, cotidianamente, según los contextos y características que tenga.
- 4) Se desarrolla y expresa en grandes diferencias individuales debidas al resultado de la epigénesis probabilística a lo largo de la trayectoria vital individual.

Es decir, inteligencia se va construyendo y transformando, permitiendo ir más allá de la percepción directa de estímulos, como reflejan las Figuras 6 y 7.

Figura 6

Lectura con letras desordenadas

Sgeun un estduio de una uivenrsdiad ignlse, no ipmotra el odren en el que las ltears etsan ersciats, la uicna csoa ipormtnate es que la pmrirea y la utlima ltera esetn ecsritas en la psiocion cocrrtea. El rsteo peuden esatr ttaolmntee mal y aun pordas lerelo sin pobrleams. Esto es pquore no lemeos cada ltera por si msima snio la paalbra cmoo un tdoo.

Figura 7

Principio de la forma: ley de cierre



En su funcionamiento reclama, necesariamente, un *input* a partir de la percepción intersensorial, acción y la interacción con los demás y el entorno, procesada por los mecanismos que posee el cerebro (representación, lógica, habilidades de razonamiento, creatividad, etc.) como habilidades superiores que tienen sus raíces en nuestros ancestros simios. Este procesamiento da lugar a un *output* o resultado en forma de resolución o conocimiento.

La neuropsicología está demostrando que hay unos correlatos estructurales y evidencias de conducta sobre la existencia de actividad cognitiva, al

menos, a partir del 6º mes de gestación, que se redescrive en el sucesivo proceso de desarrollo desde entonces y a lo largo de todo el ciclo vital. La progresiva redescrípción de las estructuras de funcionamiento intelectual y sus representaciones resultantes está posibilitada por los cambios neurológicos que, a su vez, están influidos por el devenir intelectual, tal como se explicará más adelante.

En suma, la neurociencia y la psicología aportan diferentes niveles de análisis, desde el molecular hasta el de la conducta, en el intento de comprender el rol del código genético en la configuración del cerebro y de la mente humana, especificando la variedad de procesos que determinan el tipo de desarrollo y eficiencia alcanzados en la adultez. Ambos asumen que la arquitectura funcional del cerebro, su conectividad y patrones de actividad neuronal fundamentan la mente humana y permiten comprender cómo trabaja el cerebro para dar lugar, como resultado, a diferentes formas resolutivas en las tareas de la vida cotidiana.

Consecuentemente, si la inteligencia es el resultado dinámico de la actividad mental del cerebro, puede estar determinada en parte por la función cortical y la interconexión de todas las áreas cerebrales; para conocerla e intervenir en ella es imprescindible acercarse brevemente al cerebro como órgano que permite su expresión y funcionamiento diferencial porque es conocido que todos los cerebros son similares, pero no todos funcionan y aprenden de la misma manera. Integrando las teorías actuales antes descritas, podrían explicarse las diferencias individuales en inteligencia, como la ACI, contemplando la estructura cerebral y su función.

1.1. Una mirada a la citoarquitectura y funcionalidad del Cerebro Humano actual. La huella de la filogénesis

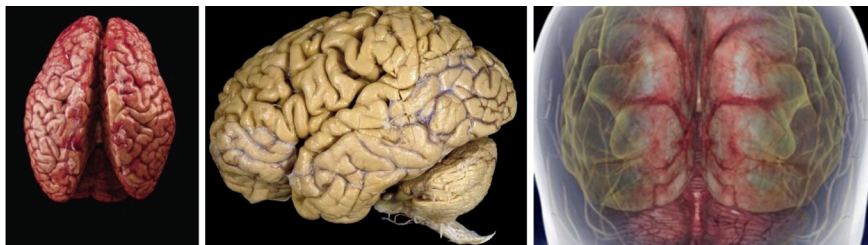
La estructura actual del cerebro humano y su funcionalidad ha ido fraguándose a lo largo de millones de años, con un cambio sustancial hace unos 100.000 años, diferenciándolo de linajes cercanos como el del chimpancé. Se suele denominar cerebro al órgano que comprende tanto al cerebelo como al, propiamente, cerebro como masas de tejido neural intrínsecamente unidas e interconectadas que reciben la denominación genérica de encéfalo.

El encéfalo es la parte del Sistema Nervioso humano que regula nuestra conducta, configurado por el sistema nervioso central (encéfalo) y el sistema nervioso periférico que envía estímulos y recibe las órdenes de aquél

para dar las respuestas necesarias tras su procesamiento. Tiene dos pilares básicos para su funcionamiento: las neuronas y su red de conexiones sinápticas, y la interconectividad de funcionamiento que se extiende desde esa conectividad neuronal: los *networks* que configuran (conectoma) y las conexiones entre estos *networks* y otros distribuidos a lo largo de distintas áreas del cerebro y cerebelo e interhemisferialmente (Santander et al., 2025). En suma, un todo complejo configurado por una intrincada red interactiva que continuamente reconfigura su conectividad dado que es un sistema adaptativo y muy dinámico.

Figura 8

El cerebro humano: visión superior, lateral y dorsal



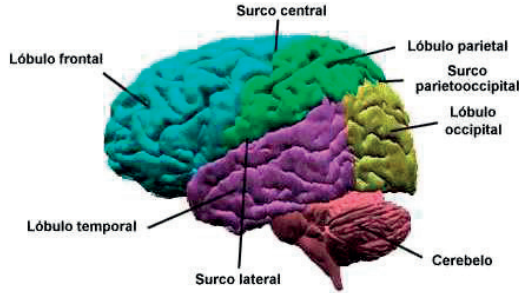
Sin ser exhaustivos en su descripción, el cerebro actual está configurado por dos hemisferios cerebrales (Figura 8) aparentemente simétricos aunque no idénticos, encargados de controlar, cada uno de ellos, uno de los lados de nuestro cuerpo de forma cruzada. Estos hemisferios están unidos por un haz de vías nerviosas denominado *corpo calloso* como vasto sistema de asociación entre ellos.

Aunque el cerebro funciona como un todo tiene unas áreas que están más relacionadas con un tipo u otro de funcionamiento, de manera que, tal como representa la Figura 9, cada hemisferio cerebral se puede subdividir en regiones cuya activación se relaciona con distintos procesos o actividades mentales. Está demostrado que el funcionamiento mental reclama el procesamiento sincrónico y paralelo de numerosos módulos funcionales, muchos inconscientes, coordinados adaptativamente por el córtex frontal con valores selectivos generados en el sistema límbico subcortical. Pero, aunque la neurociencia está avanzando significativamente intentando construir una cartografía que ponga en relación estructura y función e incluyendo las redes corticales que los interrelacionan, el funcionamiento cerebral

es un mundo intrincado de células y conexiones que todavía no se conoce exhaustivamente.

Figura 9

El encéfalo humano



Brevemente, se describen sus grandes áreas o lóbulos, y el funcionamiento habitualmente asociado a cada una de ellos, recordando su conectividad funcional (Laureys et al., 2024).

El cerebelo es la parte más “primitiva” del cerebro humano, aún poco conocida. Está relacionado con el control de las funciones vitales básicas (respiración, movimiento, etc.), las emociones primarias de defensa o huida pero también con la modulación del movimiento y con la mayoría de procesos cognitivos superiores, lenguaje y regulación emocional.

Situado en la parte posterior del encéfalo, es su componente más arcaico, presente en todos los vertebrados aunque reducido en peces, reptiles y pájaros, pero alcanza la máxima dimensión en primates y en el hombre. Algunos expertos indican que su papel podría ser crucial para explicar qué nos hace humanos modernos (Martín-Loeches et al., 2018).

Lóbulos frontales: están relacionados con la cognición, planificación, la resolución de problemas (córtex prefrontal dorsolateral), modulación de emociones (córtex orbitofrontal), así como con dirigir la contracción voluntaria de los músculos para el movimiento y el control de los procesos cognitivos y emocionales mediante las funciones ejecutivas; su zona izquierda está asociada a la conversión de los pensamientos en palabras, siendo una de las regiones para la producción del lenguaje.

Lóbulos parietales: están relacionados con la recepción de las sensaciones del gusto, tacto, presión, temperatura y dolor, asociándolas para darles significado; se relacionan también con la orientación espacio-temporal y el movimiento.

Lóbulos occipitales: están relacionados con la visión, su función principal es la de recibir y procesar la información visual decodificándola para analizar la forma, tamaño, color y movimiento de lo que vemos.

Lóbulos temporales: relacionados con la audición, son los encargados de recibir y procesar la información auditiva, permitiendo reconocer, identificar y denominar los objetos. Consecuentemente, se asocian con la comprensión del lenguaje hablado y la memoria.

Sistema límbico. Está formado por el tálamo, hipotálamo, hipocampo, amígdala, ínsula, cuerpo calloso, septum y mesencéfalo. Está relacionado con la percepción olfativa y, debido a sus conexiones con la corteza cerebral, se estima que está encargado especialmente de las emociones pero también influye en la memoria, la atención y el aprendizaje.

Su maduración ontogenética, sigue los momentos seguidos en su configuración durante la filogénesis, de manera que procede desde la parte posterior del encéfalo (cerebelo) hasta la anterior (lóbulo frontal) y desde las zonas centrales del tejido cerebral hacia la periferia (corteza cerebral).

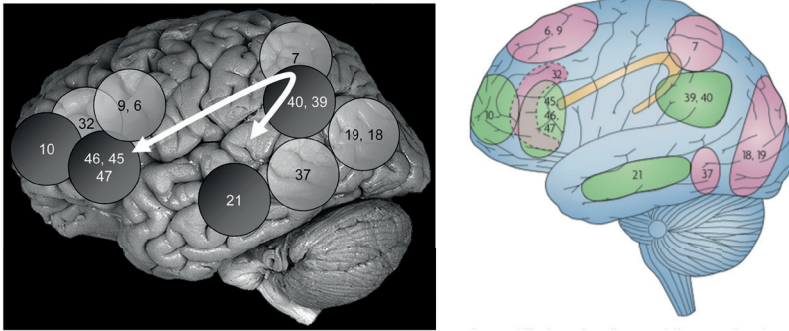
Estas grandes áreas se apoyan en otras regiones que no se precisan por la extensión de este trabajo, como el córtex cingulado, el fascículo arqueado o el cuerpo calloso. Todas asistidas por los neurotransmisores y energía (oxígeno, glucosa) para su actividad bioeléctrica.

La investigación intenta dar respuesta a la pregunta de cómo y dónde emerge la mente y la conducta inteligente a partir de este órgano físico, relacionando la actividad de zonas cerebrales con la competencia intelectual. Entre las existentes, la teoría de la integración fronto-parietal (P-FIT) antes señalada (Jung y Haier, 2007), destaca la existencia de un *network* que incluye áreas en el córtex prefrontal, lóbulo parietal, córtex anterior cingulado y regiones específicas en los lóbulos temporal y occipital con el córtex cingulado y en la que la participación del lóbulo temporal y del occipital depende del tipo de tarea (modalidad auditiva o visual, respectivamente). Sus ideas básicas son: 1) dado que los humanos, para su funcionamiento cognitivo, captan estímulos visuales o auditivos (habitualmente combinados), los lóbulos temporal y occipital son básicos al inicio del procesamiento de la información; 2) este procesamiento

sensorio-perceptual básico es enviado hacia el córtex parietal; 3) este último interactúa con regiones frontales que ensayan diversas soluciones o respuestas a la tarea; 4) tras ello, el fascículo anterior arqueado limita la selección de la respuesta e inhibe otras posibles; 5) este proceso depende de la necesaria sustancia blanca para facilitar una transmisión eficaz, desde zonas posteriores a las anteriores del lóbulo frontal. En este proceso participan también otras zonas cerebrales como el ganglio basal, tálamo, hipocampo o el cerebelo.

Figura 10

Áreas vinculadas con la actividad cognitiva según la Teoría de la integración frontoparietal P-FIT (Tomado de Jung y Haier, 2007)



Nota. Dónde: *Córtex prefrontal dorsolateral(10, 6, 9),*C. Dorsolateral-Orbitofrontal, *Área de Brodman (Bas 45, 46, 47)*L.Parietal: 39, 40, 7*C.anterior cingulado32*L.Temporal 21*Hipocampo, córtex auditivo,*Fascículo arqueado (flecha en amarillo). Figura coloreada: en verde: relación predominante H.izquierdo/ en rosa: relación predominante H.derecho.

Por lo tanto, el lóbulo frontal ejerce un rol regulador que facilita los procesos cognitivos superiores mediante su asociación con las funciones ejecutivas que, en interconexión con otras áreas cerebrales, regulan los procesos cognitivos para la consecución de un fin.

Las funciones ejecutivas (FE) son un conjunto de procesos mentales *top-down* reguladores que coordinan pensamientos y acciones dirigidas a un objetivo (Diamond, 2020). Tienen tres componentes-base relacionados, aunque independientes: la inhibición de respuestas prepotentes o información irrelevante; la flexibilidad, y la memoria de trabajo (verbal y visuo-espacial). Juegan un papel relevante en la vida cotidiana, el razonamiento complejo,

la planificación o la toma de decisiones así como en la motivación hacia el rendimiento académico. Se distinguen dos tipos: las FE frías (*cool*) relacionadas con procesos cognitivos aplicados a la resolución de tareas, y las FE calientes (*hot*) relacionadas con el control afectivo y emocional en la toma de decisiones y regulación conductual. Actualmente se consideran endofenotipos o mecanismos intermediarios entre la base biológica y su expresión fenotípica modulada por factores personales y exógenos (Sastre-Riba, 2024).

Sus correlatos neurobiológicos sugieren un *network* fronto-parietal-temporal complejo e integrado, en el que se activa el córtex prefrontal dorsolateral (FE frías) y orbitofrontal (FE calientes), la ínsula anterior, el córtex cingulado anterior y el surco intraparietal. Se desarrollan, a la par que la maduración neurológica de las áreas cerebrales relacionadas y la experiencia, desde los 5 meses de vida (Diamond, 2020) con un pico madurativo hasta los 5 años, y otro durante la adolescencia (especialmente del córtex orbitofrontal). Su activación y eficacia está modulada por factores personales o sociales y su papel regulador está relacionado con la metacognición. En suma, son los cimientos sobre los que se construyen otros procesos cognitivos como el razonamiento, creatividad, aprendizaje o la resolución de problemas.

La metacognición es un proceso cognitivo superior autorreflexivo vinculado a la resolución de tareas (Roebers, 2017) que comporta habilidades declarativas (conciencia de recursos o conocimientos) y procedurales (regulación de recursos) durante el aprendizaje y resolución de problemas. Se integra con las FE en la gestión de recursos intelectuales e influye en el rendimiento académico desde la infancia. Los circuitos neurológicos subyacentes son similares a los de las FE, convergen en el córtex anterior cingulado y el córtex prefrontal (CPF) para el procesamiento de la información metacognitiva, la región orbitofrontal del CPF se relaciona con juicios prospectivos como la facilidad del aprendizaje y la sensación de saber; en cambio, el córtex prefrontal dorsolateral lo hace con la monitorización retrospectiva o confianza en lo realizado. Se desarrolla desde la primera infancia hasta la adolescencia, pasando de implícita a explícita, mejorando la monitorización de la acción y el aprendizaje.

Ambos procesos reguladores interactúan (Sastre-Riba, 2024), explicando diferencias entre niveles cognitivos y entre el potencial intelectual y su expresión en el rendimiento académico y otras tareas.

2. Cómo emerge la mente humana. Filogénesis y Epigénesis

La mente humana, y el cerebro que la posibilita, es el resultado del largo proceso filogenético de la especie humana y del desarrollo ontogenético de cada persona a lo largo de su trayectoria vital, desde una epigénesis probabilística que se describen a continuación.

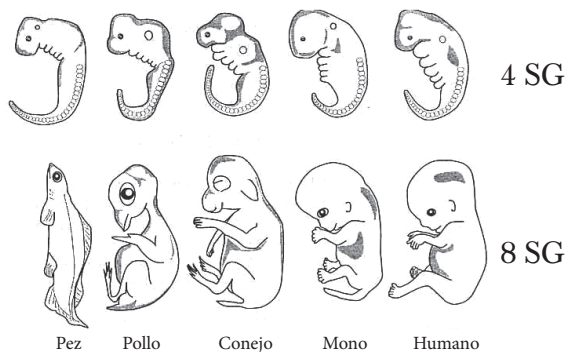
2.1. Filogénesis: orígenes y evolución del cerebro, mente y cognición humana

El ser humano actual es un *Homo Sapiens*, con unas características que le distinguen de otros animales: la sofisticación tecnológica, la capacidad de introspección, la creación y uso de representaciones mentales, el lenguaje, o producciones como la cultura, la organización social, la música, el arte o la religión. Para comprender sus diferencias hay que mirar hacia atrás en el marco evolutivo de la especie durante el cual ha ido pasando desde los instintos como mediadores para la supervivencia a una compleja forma de adaptación mediada por la mente y su capacidad de procesamiento interiorizada. El ser humano, pues, es una entidad biológica con una conducta directamente vinculada con el cerebro cuyos cambios han ido comportando modificaciones en el comportamiento dando lugar a la progresiva humanización. A su vez, estas manifestaciones emergentes han ido condicionando nuevas transformaciones cerebrales que los expertos pueden conocer a través de la anatomía (fósiles), genética molecular, arqueología (herramientas) y arte.

La información básica para la vida es compartida en gran medida entre las especies, prueba de ello es la dificultad en distinguir un embrión humano de 4 y 8 semanas de gestación (SG), del de otros animales como puede observarse en la Figura 11. Si al inicio hay una semejanza sorprendente, a lo largo del curso evolutivo se va manifestando la especialización que particulariza las adaptaciones de cada especie y que es factible observar en la embriogénesis de sus individuos. En el caso de los seres humanos, la mayor especialización es el poseer un cerebro más grande que el de otras especies pero, sobre todo, más complejo y con un funcionamiento diferencial, tal como se explica.

Figura 11

Similitud entre embriones de distintas especies animales vertebradas (4 y 8 Semanas de Gestación)



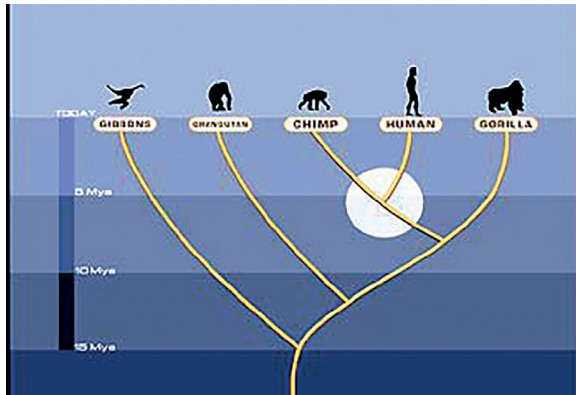
El hombre es el resultado de la filogénesis, a lo largo de la cual se ha ido humanizando con la construcción de la mente humana, y es el resultado de la ontogénesis individual de cada uno de sus miembros. Es decir, la embriogénesis humana actual responde a la filogénesis de la especie y sus condicionantes mayores: el tamaño y complejidad del cerebro, y la bipedación con la consecuente estrechez de la pelvis que condiciona la inmadurez del cerebro al nacer, dejando un largo período de maduración postnatal que supone una infancia prolongada, nuevo instrumento adaptativo para la humanización de las crías porque su inmadurez cerebral al nacer permite la modulación y adquisición flexible de las conductas y competencias humanas, desde el control de esfínteres a la marcha o la adquisición del lenguaje y conocimientos culturales.

La historia de nuestra especie está asociada a la de la vida en la Tierra. Las primitivas formas de vida (hace unos 3,5 billones de años), dieron lugar a otras especies en la eclosión de la época Cámbrica durante la que, progresivamente, aparecieron los cordados hacia criaturas vertebradas como los artrópodos (por ejemplo, el Trilobites) que, en la escala del tiempo geológico, vieron emerger hace unos 260 millones a los mamíferos de los que forma parte el hombre como linaje descendiente de los primates aparecidos en el Mesozoico, de los que se diferenció. El chimpancé *Pan Paniscus* es su pariente más próximo, compartiendo con él el 99% del ADN y una distancia de unos 4-8 millones de años a nivel evolutivo (Fukuda et al., 2013). Las razones de esta separación responden a factores biológicos y culturales: la

habilidad de las familias de Homos para transmitir informaciones aprendidas de una generación a otra, la enseñanza, aprendizaje, etc., factores genéticos y culturales que dan respuesta a la rápida evolución de la sociedad humana, y no entre los chimpancés.

Figura 12

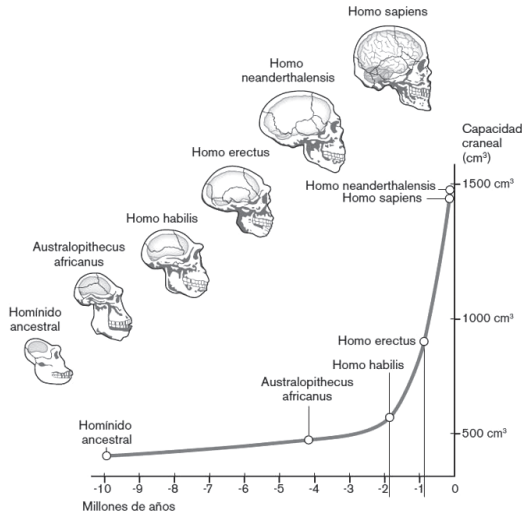
Procedencia del hombre



Desde el primer homínido, el *Ardipithecus ramidus* (4,4-6 millones de años), ya bípedo, aparecieron diversas familias de ancestros del hombre actual: el *Australopithecus anamensis* (4,2 millones años), el *A. Afrensis* (3,6 millones años, cuyos cráneos revelan que poseían un volumen cerebral equivalente al 44% del actual, pero ya distanciado del de los chimpancés, con un incremento especialmente en la zona frontal y parietal, directamente relacionado con la “humanidad” por ser regiones ejecutivas y estratégicas relacionadas con la planificación y secuenciación), el *Homo rudolfensis* (2,5 millones años), el *Homo habilis* (2,2 millones años), el *Homo ergaster/Homo erectus* (1,9 millones de años), *H. Heidelbergensis/sapiens* (más de 600.000 años) y el *Homo sapiens sapiens* (unos 200.000 años). En consecuencia, la mayoría de la humanidad procede de poblaciones de *H. erectus* que convivieron con los *Neandertales* grupo reemplazado por otras familias, quizás debido a su tecnología superior, cultura y lenguaje.

Figura 13

Evolución de algunos grupos humanos hasta el Homo sapiens, y su volumen craneal



El primer “humano verdadero” (Gardenfors, 2006; Carroll, 2003) se estima que fue el *Homo habilis*, proveniente del *Homo erectus*, hace unos 2,2 millones años (ver Figura 13). El *H. Habilis* dio lugar al *H. sapiens sapiens* hace unos 200.000 años, reemplazando al resto de ancestros. Cada linaje se diferencia por un volumen craneal diferente que refleja adaptaciones evolutivas importantes.

A lo largo de esta larga trayectoria, el hombre no sólo aumentó sustancialmente el volumen craneal sino la especialización de su uso en la adaptación al entorno, en una progresión que fue aportando indicadores de las ganancias, desde el Paleolítico hasta el Neolítico (10.000 AC-4.000 AC), momento en el que la evolución no da indicios de estar basada en cambios o mutaciones fisiológicas, sino en otra revolución, esta vez incitada por la humanidad: la emergencia de la agricultura (9000AC-5000AC) y los primeros asentamientos como el de Jarmo en el actual Iraq. Se inicia la cultura y civilización humanas.

Figura 14

Restos arqueológicos del asentamiento de Jarmo (Irak)



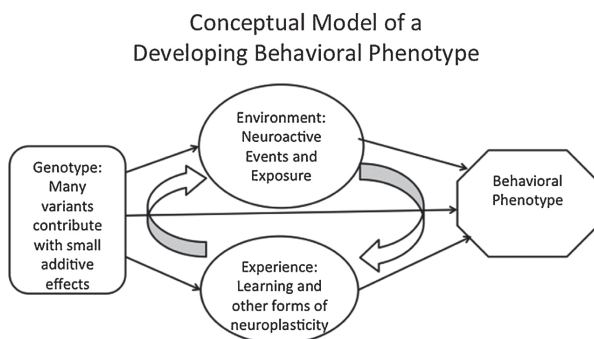
Así pues, a lo largo de la filogénesis nuestra especie se ha diferenciado respecto a otras y ha basado su supervivencia, no en sus rasgos físicos más o menos adaptados a las características del entorno, sino en la sucesiva especialización del cerebro que se ha ido modificando para dar respuesta y soporte estructural a las competencias que han permitido su humanización, el desarrollo de la cultura y civilización humanas, especialmente en los últimos 12.000 años, base de la organización y forma de vida moderna. Logros como la bipedestación y el pensamiento han supuesto verdaderas revoluciones para el rediseño del cuerpo y la liberación de las manos, y la creación de representaciones mentales que supone una forma de funcionamiento mental interiorizado en lugar de depender de la experiencia directa, además de la emergencia del lenguaje como sistema de comunicación compleja y como símbolo para el pensamiento interiorizado.

La evolución biológica ha realizado un importante trabajo en la configuración de las bases neurológicas cerebrales necesarias para el funcionamiento mental y cognitivo a través de mutaciones del cerebro para ajustarlo a las demandas invariantes del entorno, pero la cultura fraguada ha influido en ello. La variación en el fenotipo combinada con la selección natural ha propiciado, a lo largo de milenios, que aquellos cerebros que podían representar u operar con aspectos del entorno que suponían alguna ventaja adaptativa, dispusieran de una mayor probabilidad de transmisión, en la medida en que dichas personas materializaban estas ventajas en términos de supervivencia o de mejoras en las opciones de reproducción. De este modo,

los cerebros han ido adquiriendo una serie de características estructurales y funcionales que dan soporte a la representación de ciertas propiedades, dejando otras. Por ejemplo, los seres humanos somos bastante eficientes representando propiedades del espacio circundante y los objetos en él a través de la visión (es decir, a partir de la luz reflejada o emitida); en cambio hemos perdido hasta cerca de un 30% de la capacidad olfativa.

Figura 15

Influencia del fenotipo en la emergencia de nuevas conductas (Tomado de Jernigan et al. (2016))



En suma, el cerebro humano y su funcionamiento es el fruto de las mutaciones y grandes adaptaciones realizadas a lo largo del amplio marco temporal de la filogénesis, pero también de cambios en el desarrollo ontogenético de cada una de las personas de la especie, basados en logros conseguidos filogenéticamente, pero en una redescripción personal diferencial en un curso de epigénesis probabilística que explicaremos más adelante.

Los estudios sobre la evolución de la cognición humana a partir de sus vestigios fosilizados, permiten conocer la apariencia, tamaño y prominencia de los surcos en diferentes partes del cerebro pudiendo correlacionarlos con la complejidad emergente de la cognición. Cambios a distintos niveles de organización neural que incluyen mayor tamaño, especialmente del lóbulo frontal, asimetrías, patrones de desarrollo, distribución del tipo de células neurales, histología y expresión genética con sus impactos consecuentes en la conducta inteligente.

Entre los cambios más destacados en la organización neural, se señalan (Miller et al., 2022):

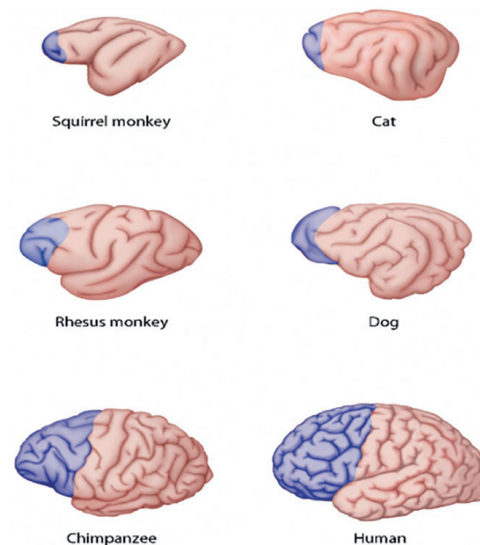
1. Evidencias macroscópicas:

- a) Aumento de la corteza cerebral no genérica sino, especialmente, del lóbulo frontal (específicamente del córtex prefrontal dorsolateral), abultamiento del lóbulo parietal y un cerebelo agrandado y redondeado. Están relacionados con las funciones cognitivas superiores, más nuevas, como el pensamiento abstracto-relacional, la toma de decisiones, la metacognición o la creatividad, y las funciones ejecutivas y sus componentes (inhibición, flexibilidad y memoria de trabajo) que han ido permitiendo una respuesta no inmediata a estímulos del entorno y mayor flexibilidad de la conducta para seleccionar alternativas nuevas de respuesta.

En suma, una encefalización progresiva del cerebro, mayor respecto a otras especies animales (ver Figura 16) y entre los de la propia especie (ver Figura 17).

Figura 16

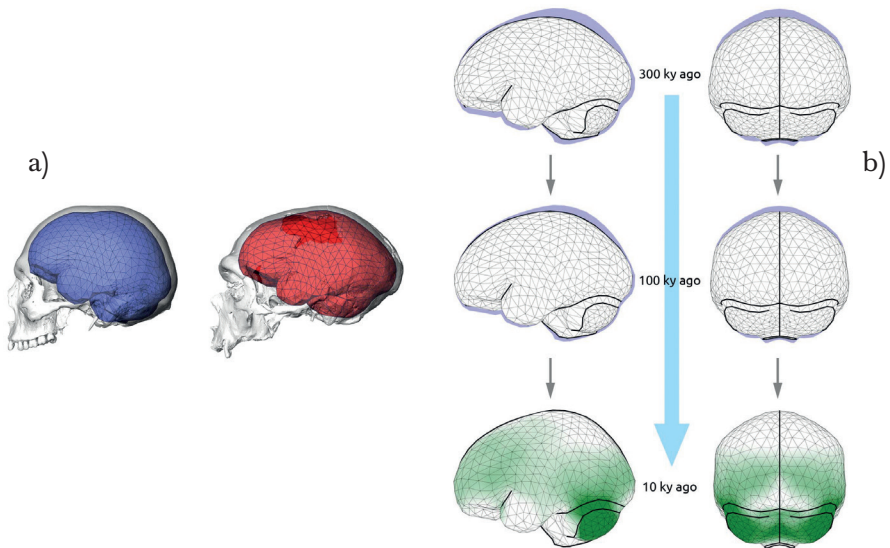
Expansión del lóbulo frontal, comparativamente entre el cerebro humano y el de otros mamíferos



Se estima que el tamaño del cerebro humano es 2,75 veces más grande que el del chimpancé, pero también ha cambiado respecto a los propios linajes de homínidos como se aprecia en la Figura 17.

Figura 17

a) *Diferencias en el tamaño cerebral entre un humano actual (izquierda, en azul) y un Neanderthal (en rojo)* (Tomado de Neubauer et al. 2018, b) *Cambios evolutivos del tamaño cerebral en fósiles de H. sapiens* (Tomado de Semendeferi et al., 2002)



b) Modificación de otras áreas: un lóbulo occipital menor (Sherwood et al., 2008), aumento del lóbulo temporal (relacionado con el lenguaje, representación espacial de objetos físicos y la facilidad en el uso y creación de instrumentos), y del lóbulo parietal posterior y premotor ventral, relacionados con la manipulación de objetos. Aumento también del hemisferio lateral cerebeloso relacionado con la planificación del movimientos complejos, discriminación sensorial, cambio atencional y aprendizaje procedural (Sherwood, 2008).

c) Asimetrías cerebrales. El lóbulo frontal derecho se extiende a lo largo y ancho más que el izquierdo, y lo mismo sucede con el lóbulo occipital izquierdo que muestra mayor volumen, lo cual está asociado a mejoras

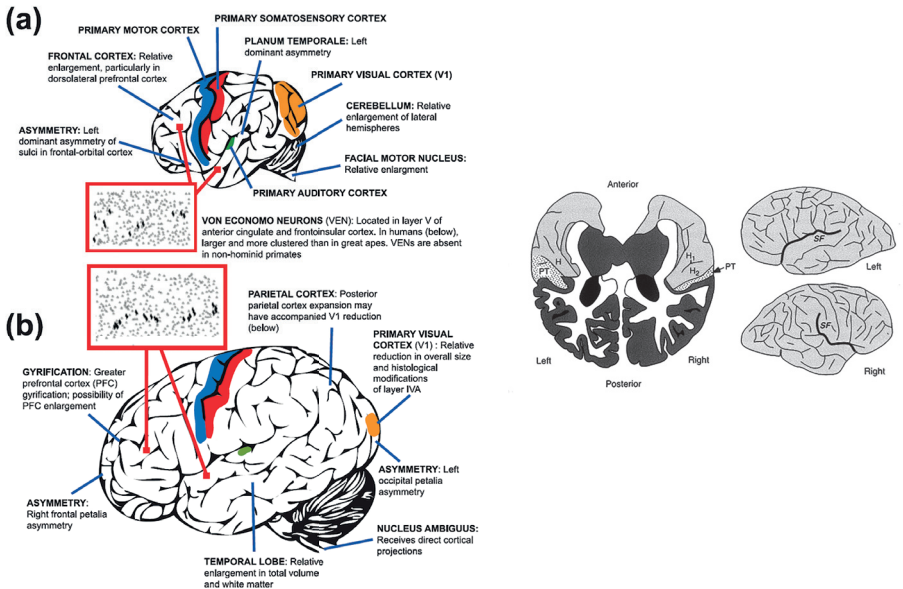
cognitivas (Martín-Loeches et al., 2018) y el lenguaje. En consecuencia, el *Homo sapiens* es una expresión de un simio asimétrico que se refleja en la mayoría de dominancia diestra entre los humanos actuales (Ver Figura 18), con predominancia de funcionamiento del hemisferio izquierdo, más analítico, lógico y secuencial que el derecho, y relacionado con el lenguaje.

- d) Mayor profundidad de los surcos terciarios que aparecen más tardíamente en el desarrollo fetal actual, relacionados con el córtex asociativo en la corteza frontal lateral (Miller et al., 2022; Voorhies et al., 2021).
- e) Maduración cerebral progresivamente más lenta, lo cual favorecería la enculturación y humanización.

La Figura 18 resume algunos de los cambios neuroanatómicos señalados.

Figura 18

Cambios neuroanatómicos en el hombre moderno (a), las neuronas. Von Economo se señalan como espinas entre las neuronas piramidales como triángulos (b). (Tomado de Sherwood et al., 2008) y asimetrías hemisferiales



2. Evidencias microscópicas en la reorganización de la morfología neuronal y bioquímica (Martin-Loeches, 2018; Sherwood, 2008), entre ellas:

- a) Reducción de la materia gris de la corteza cerebral (Jernigan, 2016) que refleja la menor cantidad de tejido neural inmaduro no mielinizado, y especialización bioquímica y morfológica de algunas neuronas como las de von Economo que facilitan la conexión con el área frontal y sistema límbico para una respuesta emocional más racional.
- b) Sistemas de neurotransmisores que facilitan las sinapsis del córtex, relacionados con la modulación de la atención, memoria de trabajo, activación y motivación.
- c) Cambios en los patrones bioquímicos para la captación de glutamato y la producción de energía para compensar el mayor coste energético de este cerebro más capaz.
- d) Participación de dos genes (UBR4 y PHLPP1) para una mayor neurogénesis y mielinización cerebral con sus implicaciones en la arquitectura neural y eficiencia de funcionamiento cognitivo. Se ha encontrado también relación entre genes relacionados con la señalización de la plasticidad y aumento de las células gliales facilitadoras de las sinapsis.

El cambio se basa, sobre todo, en la reorganización de la funcionalidad cerebral; la base de las capacidades mentales humanas es la función neural y su organización en estructuras neurológicas jerarquizadas de manera que nuevas habilidades cognitivas emergen mediante la evolución funcional de otras innatas, la mayor capacidad neurológica de nuestro cerebro (mayor superficie funcional, capacidad sináptica y velocidad de transmisión) y la influencia constante y esencial de los nichos humanos (culturales y cognitivos). Con ello han ido esculpiendo la mente humana emergiendo procesos cognitivos como la atención, funciones ejecutivas o lenguaje, que se reflejan en un proceso ontogénético de desarrollo postnatal único, con un rápido crecimiento cerebral, maduración y amplia sinaptogénesis especialmente durante el primer año de vida que abre una ventana sensitiva para la emergencia de competencias humanas.

Así pues, la neuroevolución del linaje humano, la evolución neurológica, los cambios de funcionalidad cerebral y la cultura como nueva selección natural que supera la capacidad de adaptación producida por la presión ecológica, han sido los factores básicos para la evolución cognitiva y la emergencia de la mente humana actual.

Cerebro y mente humana: desde el instinto hasta la conciencia

Como resultado de la evolución descrita se producen grandes cambios en la conducta de la especie que bascula desde la conducta instintiva hacia la planificada, la representación mental y su acceso directo a ella, junto con la creación de la conciencia propia (Gazzaniga, 2018) y la de los demás, así como la regulación de procesos cognitivos y de comportamiento que han creado una conducta autodirigida y diferida con capacidad de anticipación y evocación, es decir, la planificación de la conducta humana; de ellas se derivan las ganancias posteriores. Es difícil saber cuándo comienza el mundo interior durante la evolución, pero no hay duda que su aparición está conectada con el desarrollo de la corteza cerebral, presente en los mamíferos (en mayor o menor medida) pero no entre los peces y reptiles.

Entre otros cambios, se ha ido modificando:

- a) Sensación y percepción. Algunos mamíferos no tienen una conducta fruto de la representación sino que es el resultado de la respuesta inmediata y prefijada a sensaciones. Los mamíferos superiores coordinan las distintas sensaciones y, además, en los hombres la corteza secundaria es mayor, lo cual implica más coordinación intersensorial de la que disponen los fetos y recién nacidos, apoyada por las áreas asociativas del lóbulo frontal, que permiten el razonamiento causal del mundo: prever las causas y consecuencias de las acciones propias y de los demás.
- b) Conciencia de sí mismos y de los otros. Los primates (ver Figura 19) y otros mamíferos tienen una débil conciencia de los demás y empatía (Povinelli et al., 2003). En los humanos están relacionadas con el evolucionado lóbulo frontal, base necesaria para la conciencia social tan importante para la inteligencia social o maquiavélica que optimiza la conducta resolutive. La conciencia propia se desarrolla en los bebés a partir del segundo año de vida y con mayor complejidad a lo largo de la edad pre-escolar. Tiene importancia para la atención compartida, imitación, pantomima, cooperación, decepción y mutua comunicación de intenciones. Pueden llevar al altruismo, cuidado, reciprocidad, o cooperación, pero también ser negativas: autocentración, manipulación, etc.

Figura 19

Reconocimiento de chimpancés en el espejo

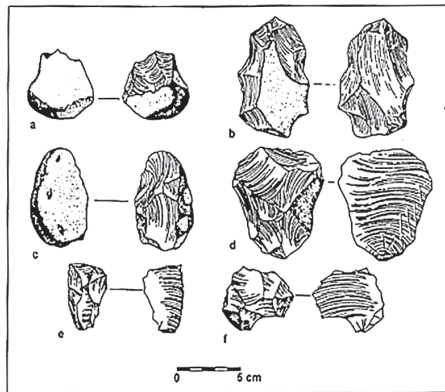


- c) Simulación. Comporta la representación de la realidad diferida y se relaciona con el juego, observado en los primates pero sin el grado de simbolismo alcanzado en los humanos. En estos, se inicia a los 13 meses de vida hasta 2 años y luego se amplía simulando más creativamente, variando el guión y creando cosas nuevas, hasta la introducción de las reglas en él. Gorilas, chimpancés y bonobos simulan pero no inventan nuevos juegos y reglas, su juego es similar al humano de la segunda mitad del segundo año de vida llegando hasta el uso del objeto sustituto.
- d) Intencionalidad. Otorga una orientación hacia un fin, dirigiendo el pensamiento y la conducta. Está relacionada con la emergencia y maduración del córtex prefrontal dorsolateral. En el hombre la intencionalidad se orienta hacia una meta no existente, mientras que en el animal hacia algo real.
- e) Imitación. Los simios y otros animales imitan como una copia mimética (por ejemplo, el loro imita el habla humana pero no la entiende) sin la complejidad y generatividad que alcanza la humana.
- f) Uso y construcción de herramientas. La fabricación de herramientas es el resultado de la ideación y de la imitación desde los vestigios de herramientas de piedra del *Homo habilis* (2400 millones de años) como muestra la Figura 20, hasta las más avanzadas del *Homo erectus* logrando herramientas simétricas que hace suponer que seguía un modelo que guiara el proceso, y el *Homo sapiens*, constructor preciso y estético con intencionalidad estandarizada (Bradshaw, 1997). Numerosas zonas cerebrales

contribuyen a hacerlo posible: el córtex prefrontal (rol supervisor y ejecutivo), el área premotora (selecciona secuencias de movimiento apropiadas), los ganglios basales colaboran, el cerebelo coordina los músculos individuales; de hecho, la lesión en estas regiones conduce a desórdenes motores. Finalmente, la acción voluntaria reclama una acción distribuida entre el lóbulo parietal (aspectos espaciotemporales de elaboración) y anterior (*córtex* frontal y prefrontal). El arte, el lenguaje, la praxis y la conducta de uso y construcción de instrumentos requiere espacio computacional y el cerebro es un órgano expansivo para ello.

Figura 20

Ejemplos de los instrumentos construidos por el hombre más antiguos conocidos (Gona-Etiopía-, 2,5 millones de años) (Tomado de Bradshaw, 1997)



Ejemplos de los instrumentos de Gona (Etiopía), los más antiguos conocidos (2,5 millones de años). [Tomado de Semeu, Renne, Harris et al., 1997]

g) Planificación. Comprende secuencias avanzadas de acciones; el hombre parece ser el único ser capaz de planear para necesidades futuras. Por ejemplo, los chimpancés cada noche construyen su campamento para dormir (Gardenfors, 2006).

Estas ganancias se sintetizan en la principal forma de la evolución de la mente humana: la construcción de la representación simbólica. Esto supone un sistema complejo de memoria con acceso y recuerdo voluntarios, la creación de un léxico lingüístico que va dando lugar al lenguaje, y los sistemas

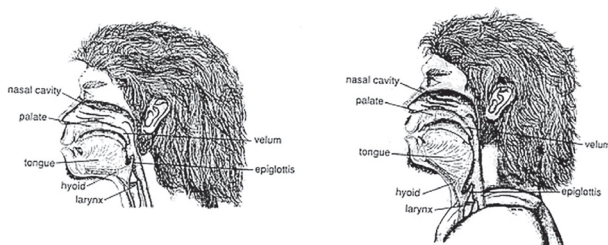
externos de representación simbólica que han supuesto tres grandes transiciones cognitivas (Donald, 1993):

1. A partir de la capacidad en evolución de construir memorias interiores (es decir, representación de la realidad) los *Australopithecines* iniciaron el gran cambio en el Mioceno con la adopción de la marcha bípeda, perfeccionada hace 1,5 millones de años por el *Homo erectus* hacia el *Homo sapiens* (300.000 años). Con ella, el *Homo erectus* inició el aumento sustancial del cerebro especialmente en el córtex, hipocampo y cerebelo con la creación de artefactos evidenciados por los utensilios encontrados y estrategias de caza en colaboración. Supuso también el uso del cuerpo mediante el mimetismo, de representación multimodal. Esta adaptación motora sirvió de comunicación y transmisión de habilidades a otros seres (por ejemplo, en la construcción de utensilios), constituyendo una primera representación motora y sensorial que se observa en el ser humano actual durante los primeros meses de vida, como forma de interiorizar la realidad y recordarla.

2. Desde estas habilidades, en evolución sucesiva, el *Homo sapiens* inicia una nueva transformación: el cambio en el descenso de la laringe que va a permitir el lenguaje (hace unos 45.000 años) durante el Paleolítico. Los sonidos pronunciados y la creciente dotación de significado es recordado y compartido por otros del mismo grupo, mejorando la comunicación entre ellos mediante la invención del símbolo lingüístico. Se inicia así la tradición de transmisión narrativa y el uso interno de estas palabras para pensar con ellas, de nuevo un hecho observado en el desarrollo del segundo año de vida del niño al pasar de un código representativo icónico (en imágenes) al simbólico (con la palabra).

Figura 21

Descenso de la laringe como adaptación para el lenguaje



3. La tercera transición humana no es genética. Los cambios cognitivos acontecidos facultaron la creación de sistemas externos de memoria que trascendieron y aumentaron los anteriormente creados en el Paleolítico superior, invención de los primeros símbolos persistentes: pinturas y grafismos, así como de productos culturales que son almacenados reclamando nueva especialización cerebral, categorizándolos de manera que la memoria biológica se convierte en una memoria externa culturalizada, creando un nuevo tipo de recuerdo y procesamiento.

Actualmente, la gran información disponible y forma de vida moderna exceden la capacidad de nuestros cerebros y el hombre ha creado otros medios externos de almacenamiento masivo reclamando la participación de zonas cerebrales todavía poco conocidas. ¿Estamos frente a una nueva revolución filogenética?, ¿o ante cerebros caducos? Este es el reto del nuevo paso filogenético tras más de 10.000 años sin cambios físicos apreciables.

Un cerebro actual que hace frente a la era digital (Martínez et al., 2025) con la emergencia de la inteligencia artificial (IA) creada por el hombre como soporte externo y multiplicación de las capacidades de su inteligencia natural (IN). Como apoyo de la IN tiene el potencial de transformar la humanidad, permitiendo superar limitaciones cognitivas y resolver problemas complejos, pero generando un gran reto: el de su cuestión ética y equitativa (Genser et al., 2024). En su estado actual, IN e IA comparten capacidades para aprender, adaptarse y tomar decisiones pero, además, la IN está marcada por la conciencia, la emoción, la creatividad y la comprensión profunda que la IA aún no puede replicar de manera auténtica, aunque puede generar una nueva era de consecuencias imprevisibles avanzando hacia el transhumanismo o posthumanismo (Cortina et al., 2016).

En suma, la persona humana es el resultado de esas transformaciones filogenéticas que han fraguado la emergencia de la mente humana con las adaptaciones neurobiológicas subyacentes que prescriben y se reflejan en un curso ontogenético de desarrollo y maduración cerebral que, aunque guiado, es propio de cada individuo en una epigénesis probabilística, no determinística.

2.2. Epigénesis: desde la genética hasta la expresión diferencial de un cerebro en desarrollo. La epigénesis probabilística

El cerebro es un órgano adaptativo que se transforma desde el inicio de su configuración hasta el final de la vida, en el que los cambios estructurales se acompañan de cambios funcionales visibles mediante imaginería cerebral. Los marcadores neurobiológicos asociados a las diferencias intelectuales (volumen, delgadez cortical, integridad del tracto de la sustancia blanca y mayor eficiencia de funcionamiento) indican como, a medida que maduran circuitos y zonas cerebrales, se produce la emergencia de competencias observables en la persona.

Es un proceso en el que los genes (genotipo) guían el desarrollo, no de forma inmutable sino modulados en su expresión por la covariación probabilística de factores endógenos (rasgos individuales) y exógenos (características y calidad del entorno) que impactan en los cerebros desde la temprana infancia (incluso prenatalmente) trazando trayectorias y expresiones diferenciales del potencial neurobiológico (fenotipo). El desarrollo cognitivo se caracteriza por la progresiva especialización y eficiencia en la capacidad representativa del niño y el uso más efectivo del cerebro a través de procesos dependientes del contexto.

Neuroconstructivismo y epigénesis probabilística

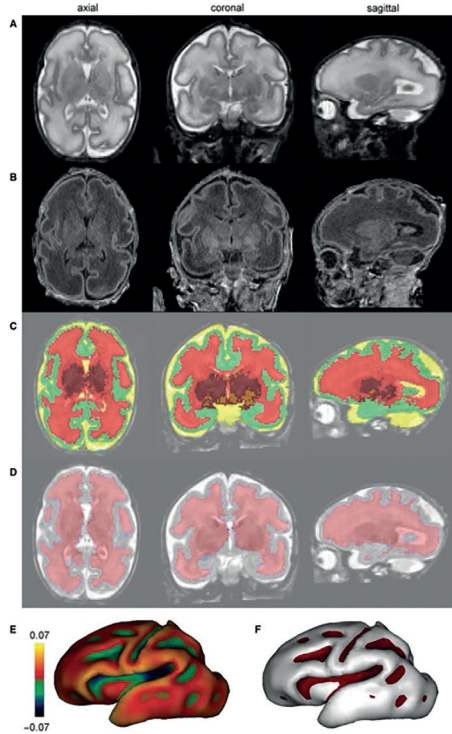
La perspectiva interdisciplinar del neuroconstructivismo cambia los campos de la psicología cognitiva y la neurociencia explicando que la cognición o la conducta son el resultado de las interacciones dinámicas que suceden a lo largo del desarrollo, es decir, el cerebro se construye progresivamente mediante su autoorganización antes descrita mientras la persona interactúa con su entorno. Es una epigénesis probabilística fundamental para explicar el desarrollo diferencial de la inteligencia considerando: 1. El rol crucial de la conectividad entre regiones cerebrales. 2. Los *networks* o redes neuronales se reorganizan en función de la experiencia. 3. Los procesos cognitivos son operativos cuando los correspondientes circuitos cerebrales maduran (Astle et al., 2023).

El neuroconstructivismo surge gracias a los avances en la investigación del desarrollo cognitivo y cerebral de los niños pequeños. Por una parte, el progreso de los métodos sofisticados de imaginería cerebral no invasiva como la fMRI, la tomografía por emisión de positrones, ERP, MEG o NIRS

permiten obtener imágenes sobre la maduración (ver Figura 21) y activación cerebral prenatal y postnatalmente durante la respuesta a estímulos o resolución de tareas.

Figura 21

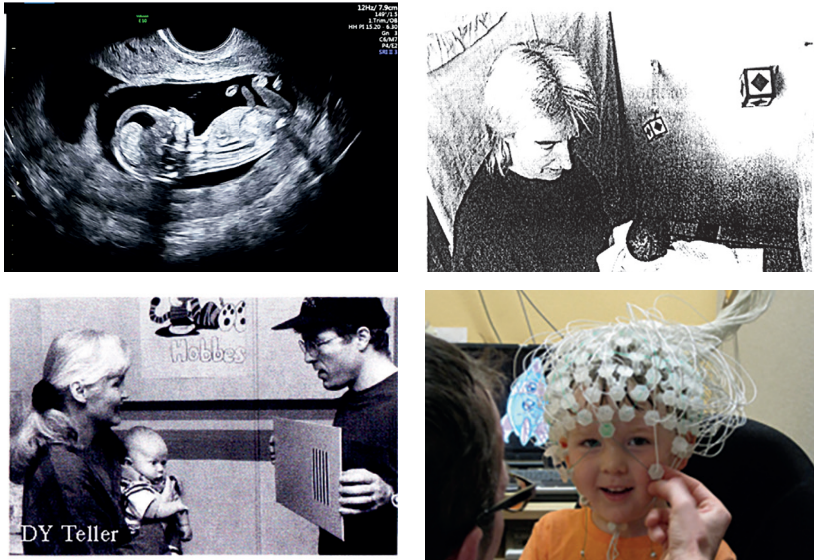
Volumen cerebral al nacer y mielinización (Tomado de Dubois et al., 2008)



Por otra parte, los nuevos métodos y técnicas de estudio de las competencias tempranas de fetos y bebés, como la cardiotocografía, actogramas, ecografía en tiempo real, MRI, habituación, fijación o preferencia visual, perfeccionan la investigación de la emergencia de sus habilidades en diferentes dominios, desconocidas hasta hace poco.

Figura 23

Técnicas de estudio de fetos, recién nacidos y primera infancia



Los modelos computacionales permiten conocer mejor las limitaciones y condicionantes para la resolución de tareas, avanzando en la caracterización de las interacciones entre genes-entorno, factores moduladores y su impacto en el desarrollo.

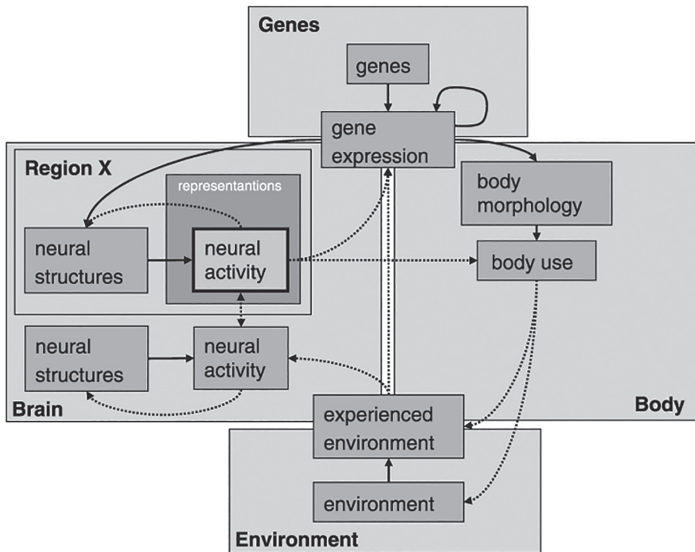
Todo ello posibilita comprender cómo el cerebro en desarrollo y la experiencia de la persona en el entorno son interdependientes, condicionándose mutuamente. Es decir, cómo el *hardware* condiciona el *software*, y cómo éste modifica al *hardware* de base, indicando que no pueden ser tenidos en cuenta independientemente como hasta ahora, remarcando la importancia del desarrollo cerebral para el desarrollo cognitivo, adoptando una postura no reduccionista, y advirtiendo que el desarrollo en su resultado adulto no es fruto de un marco simple, sino de las variaciones en los *constraints* o moduladores que han operado en diferentes momentos del ciclo vital.

Esta explicación rompe la postura tradicional de un desarrollo de curso lineal, universal, determinado innata o ambientalmente, y sin tener en cuenta la interactividad ente la base física estructural del cerebro en transformación y la función en la conducta cognitiva. Es una explicación especialmente

interesante por su interdisciplinariedad, la confluencia entre lo estructural y funcional en una epigenesis probabilística que va desde el dominio general hacia la especialización, y los mecanismos que lo explican. La Figura 24 recoge sus elementos más relevantes.

Figura 24

Interacciones múltiples entre los constraints que modulan la construcción de representaciones mentales (Tomado de Westermann et al., 2007)



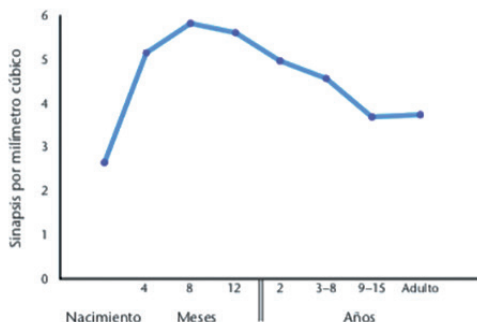
El neuroconstructivismo (Astley et al., 2023; Shonkoff, 2020; Rinaldi y Karmiloff-Smith, 2017) explica la emergencia y desarrollo de la mente humana como:

1. Los cerebros se construyen a lo largo del desarrollo hacia una especialización interactiva en la que numerosas áreas corticales comienzan con unas funciones pobremente definidas que van convirtiéndose en dominios específicos mediante un proceso de competencia neuronal y gradual especialización, localización y maduración de la función. Esta progresiva especialización es evidente observando la mayor arborización dendrítica en los primeros años de vida y la poda sucesiva, especialmente visible en la

adolescencia, indicadores del incremento de la conectividad cerebral (ver Figura 25) con los cambios consecuentes en la ratio entre sustancia gris y blanca.

Figura 25

Cambios en la densidad sináptica de la corteza (Tomado de Huttenlocher, 1990)



El desarrollo de la inteligencia sigue un proceso similar a la especialización neurológica, lo que facilita comprender qué explica su funcionamiento y manifestación diferencial, por ejemplo, en la ACI. Por lo tanto, detectar cambios en el volumen de la sustancia gris o blanca, o la delgadez cortical en los primeros años de vida permite apresar las diferencias que se van produciendo en un desarrollo armónico (típico) o no, así como el conocimiento de las zonas cerebrales en expansión postnatalmente como el córtex frontal o el anterior cingulado.

2. El desarrollo de las representaciones cada vez más complejas está limitado por factores intrínsecos y extrínsecos al organismo incluyendo: a) la epigénesis probabilística de las interacciones entre la expresión genética y la experiencia; b) el constructivismo neural que comporta contemplar el rol de la experiencia en el desarrollo del cerebro, d) el *embodiment* o la importancia del cuerpo y su funcionalidad en tanto que la exploración proactiva y la acción sobre el entorno tienen un rol prioritario en el desarrollo cognitivo, e) el rol de la socialización en el desarrollo infantil, especialmente en las primeras edades. Estos factores suponen diferentes niveles de *constraints* (o limitaciones genéticas, celulares, conducta y entorno) que influyen en el desarrollo del funcionamiento intelectual, facilitándolo.

Estos postulados dan soporte a la definición de inteligencia, antes propuesta, como una propiedad emergente originada por las múltiples interacciones entre los *constraints* impuestos por los genes, el cerebro, la cognición y el entorno, es decir, dinámica.

2.2.1. El desarrollo cognitivo a partir de un cerebro en desarrollo

Comprender el desarrollo cognitivo desde estas bases y responder a la pregunta ¿cómo puede un cerebro en desarrollo ser capaz de pensar? supone contemplar cuestiones relevantes como:

Agentes. El agente del desarrollo es, por excelencia, cada persona pero dado que se concibe y se transforma en un contexto físico y humano interactivo, la interacción con los padres, cuidadores, familia o entorno son un ingrediente esencial que impacta en su expresión genética.

Qué se desarrolla. Cambian y maduran las bases cerebrales, a partir de las que el desarrollo cognitivo supone la eficiencia progresiva de las representaciones a través de procesos dependientes de la experiencia. El proceso es único para cada persona porque los moduladores que impactan en la expresión genética son específicos para cada uno, un cambio en una representación comporta el cambio en otras.

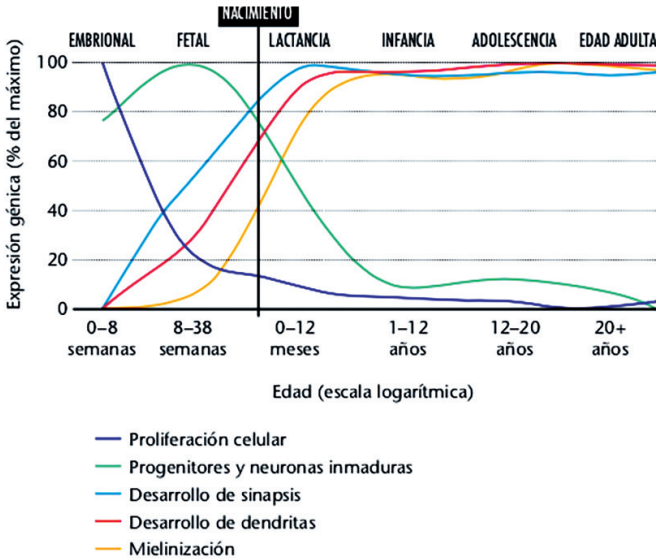
Las representaciones mentales son patrones de activación neural que dan soporte a la conducta adaptativa. La eficiencia representativa se consigue por la redesccripción progresiva de estructuras corticales, por lo que, entender la inteligencia implica comprender los cambios en el soporte neural. De ahí que los cerebros de las personas con mayor capacidad intelectual sean más eficientes funcionalmente utilizando menos recursos neurales (hipótesis de la eficiencia neural) aplicable, como veremos, a la ACI.

Direccionalidad y temporalidad. El cerebro madura, poniendo en marcha circuitos que siguen una secuencia que reproduce la seguida en la configuración filogenética del cerebro: desde las zonas posteriores (cerebelo y lóbulo occipital) hacia las anteriores (lóbulo frontal) y desde el centro del tejido cerebral hacia la periferia (corteza cerebral). Esto requiere la articulación en el espacio y el tiempo de los procesos moleculares y celulares que construyen la estructura del sistema nervioso central, es decir, el desarrollo típico depende del despliegue del código genético y del equilibrio de su expresión en cantidad, tiempo y espacio (Martínez-Morga et al., 2016).

Esta secuencia se inicia desde las primeras semanas de gestación y se prolonga a lo largo de toda la vida siguiendo unas fases marcadas genéticamente para nuestra especie que se resumen en la Figura 26. En cada una de ellas se configuran las células neuronales, migran, se organizan y mielinizan para dar como resultado un cerebro al nacer potencialmente capaz de organizar los estados de conducta (funciones vitales, estados de vigilia-sueño) y las competencias cognitivas tempranas, en un curso madurativo que se completa a lo largo de la infancia, adolescencia y continúa cambiando en la adultez.

Figura 26

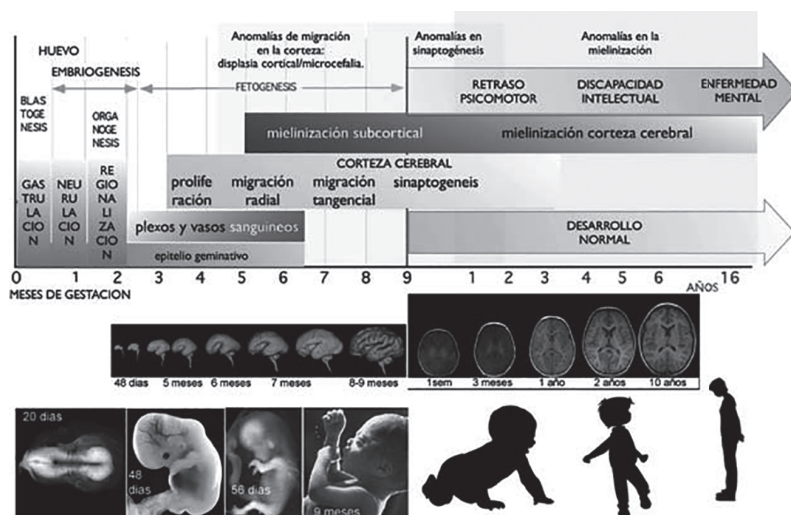
Secuencia en la neurogénesis del cerebro



En la Figura 27 se representa un cronograma del desarrollo prenatal y postnatal del cerebro con fases diferenciadas que indican la lectura secuencial del código genético, equilibradamente, y los cambios que comporta.

Figura 27

Cronograma del desarrollo cerebral pre y postnatal (Tomado de Martínez-Morga et al., 2016), y evidencias morfológicas



Puede observarse también la reconstrucción del cerebro en distintos momentos de su configuración prenatal, imágenes de embriones, fetos y niños en distintos momentos de desarrollo y cortes de tejido neural de distintas edades. Todos ellos reflejan la sucesión de cambios que va diferenciando y haciendo única a la persona en un proceso que culminará con la maduración funcional del cerebro. El desarrollo neurológico, entendido como el proceso que culmina con la madurez funcional del cerebro, tiene una trayectoria desde la emergencia prenatal, el final de la mielinización en la pubertad hasta la sináptica (Fleming et al., 2024) adolescente y envejecimiento.

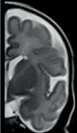
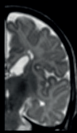
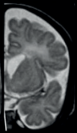
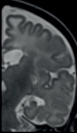
Un mediador importante en este desarrollo es el control de los recursos cognitivos emergentes relacionado con la maduración y actividad del córtex prefrontal (CPD) asociado con el funcionamiento ejecutivo y sus componentes: inhibición, flexibilidad y memoria de trabajo y que comienza su maduración hacia los 5 meses de edad en su región dorsolateral y es una de las últimas regiones cerebrales en desarrollarse (Kolk and Rakic, 2022). Por lo tanto, marca el progreso cognitivo y marca una segunda ventana sensitiva de desarrollo en la adolescencia vinculada a la maduración de su región

orbitofrontal relacionada con la regulación ejecutiva de las emociones y de la conducta que explica conductas en ella como la toma de riesgos.

El desarrollo cognitivo, pues, tiene un despliegue temporal en el que los expertos han sustituido la existencia de períodos críticos por la de ventanas sensitivas para la emergencia de habilidades cuando el cerebro está más preparado para ello. Estas ventanas sensitivas son dos: la de 0 a 3 años, y la adolescencia.

Conectividad. La unidad básica de funcionamiento del cerebro es la neurona, pero un conjunto de neuronas no define la función cerebral dado que depende de la comunicación entre neuronas organizadas en circuitos que configuran unidades de funcionamiento emergentes, desde los locales a otros más amplios, interconectando zonas cerebrales en una extraordinaria y complicada red (el conectoma) (Yuste et al., 2024) que, mediante su actividad coordinada y recurrente permite explicar la percepción, acción o cognición humanas (Fan et al., 2022; Rasero et al., 2021) y su expresión/funcionamiento diferencial.

Figura 28
Conectividad cerebral en el feto 24-42 SG (Kostovic et al. 2021)

Selective (?) radial vulnerability of cerebral compartments				
	Deep periventricular	Intermediate		Distal (superficial)
Compartments (where?)	WM segment I (periventricular pathways) Limbic pathways	WM segment II (crossroads and sagittal crest)	WM segment III (corium hemispheric)	WM segment IV and V (gray and cortical white matter) Transient subplate (SP transient)
Axonal pathways classes (what?)	Callosal, associative (FOP), motor (corticostriatal and corticopontine), limbic	Sensory (thalamocortical) Motor (pyramidal)	Long associative (FSL, FAL, etc.) Sensory Motor	Short cortico-cortical (L2/3/4)
Schematic representation of pathways (connectivity)				
Representative MR lesions and structural reorganisation				
Deficit (outcome)	Behavioral Cognitive Motor	Motor & Sensory Cognitive	Cognitive Motor & Sensory	Motor & Sensory Cognitive
Predominant period of vulnerability (when?)	Extremely preterm (PT)	Very preterm (PT)	Preterm (PT)	Term (T)

En la Figura 28 se observan las fibras conectoras en distintas regiones cerebrales e indicadores de disfunciones tempranas. Muestra que las redes neuronales maximizan tempranamente la eficiencia del cerebro para procesar la información, es decir, las habilidades cognitivas no son modulares de un área específica del cerebro sino que comportan operaciones complejas entre distintas y separadas regiones cerebrales. Por lo tanto, el conectoma ofrece un marco que permite comenzar a explicar la organización de circuitos neuronales como puente entre la función aislada de una neurona y la potencia del conjunto.

A partir de estas evidencias, la teoría de la ciencia de redes (o *network science theory*) ha contribuido a comprender los mecanismos neurobiológicos diferenciales de la inteligencia mostrando los atributos topológicos y dinámicos de estas redes neurales que dan soporte a la inteligencia general y habilidades específicas (Kuhn et al., 2021, Avery et al., 2020, etc), creatividad (Beaty et al., 2020) o procesamiento de la información (He et al., 2021) sugiriendo que la flexibilidad y adaptación en el intercambio y procesamiento de la información sustenta las actividades intelectuales (Barbey, 2018). Esta flexibilidad de las redes da soporte a un rápido intercambio con otras capturando diferencias individuales de procesamiento. Las técnicas de imaginería mental permiten desarrollar modelos basados en el conectoma funcional, similar a una huella digital del cerebro que muestra el patrón individualizado de conectividad predictivo de las diferencias intelectuales (Jiang et al., 2020, las funciones ejecutivas (Avery et al., 2020) o la creatividad (Beaty, 2020), sugiriendo la existencia de patrones de conectividad propios de la alta capacidad intelectual.

Actualmente, los avances en la tecnología permiten conocer la conectividad desde etapas prenatales como muestra la Figura 29.

Figura 29

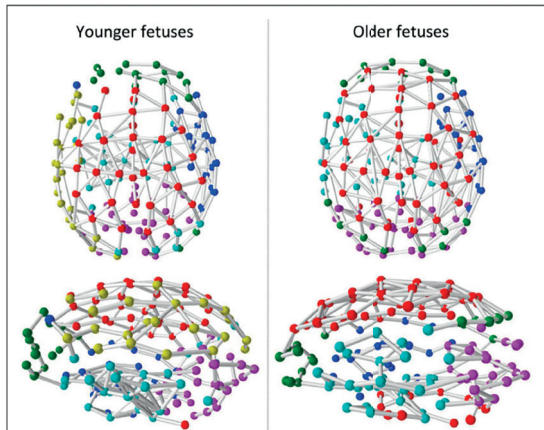
MRI para estudiar la conectividad del feto (Kostovic et al. 2021; Heuvel et al. 2016)



Con las evidencias tecnológicas, se comienza a establecer el patrón de conectividad que permite estimar las competencias en el feto y el inicio de su actividad cognitiva basada en la recepción de estímulos visuales, auditivos, propioceptivos o de gusto, su procesamiento y habituación diferencial a ellos, como refleja la Figura 30.

Figura 30

Networks funcionales de fetos de 27,6SG y 34,4 SG (Tomado de Kostovic et al., 2021)
Neuroplasticidad y poda neuronal

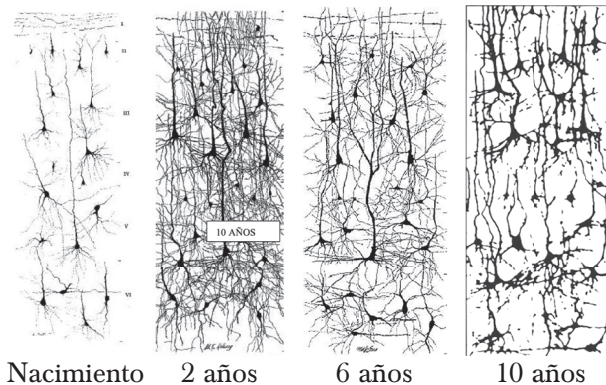


La neuroplasticidad es el proceso que permite en el cerebro cambios adaptativos estructurales y funcionales. Permite que modifique sus circuitos funcionales a lo largo de la vida; gracias a ella el cerebro es plástico y puede adaptar su estructura y funcionamiento a los requerimientos del entorno. Con ella, las neuronas aumentan sus conexiones con otras neuronas y las hacen estables como consecuencia de la experiencia, la estimulación sensorial y cognitiva o el aprendizaje (Innocenti, 2022); pero también pueden debilitarlas por falta de uso o una lesión.

El mayor componente de la maduración del cerebro y del córtex prefrontal dorsolateral en especial (CPDL), es la eliminación de las conexiones excesivas mediante la poda sináptica (Leland et al., 2024; Kolk and Rakic, 2022). A lo largo de la primera infancia hay una rápida expansión de córtex frontal que duplica la de otras áreas corticales como el lóbulo occipital debida al proceso de sinaptogénesis iniciado en el período prenatal hasta los 3-5 años de vida. Esta expansión se frena mediante la poda sináptica (Fleming, 2024) influyendo en la delgadez de la corteza cerebral que sirve como indicador de la densidad sináptica y los efectos de la poda. El proceso permite una mejor eficiencia en el procesamiento de la información, la transferencia y conectividad hacia otros circuitos y la habilidad del córtex frontal (especialmente) para organizar las respuestas cognitivas y la conducta. La Figura 31 muestra imágenes de la arborización dendrítica y la poda sináptica en distintas edades.

Figura 31

Arborización dendrítica al nacer y hasta los 10 años



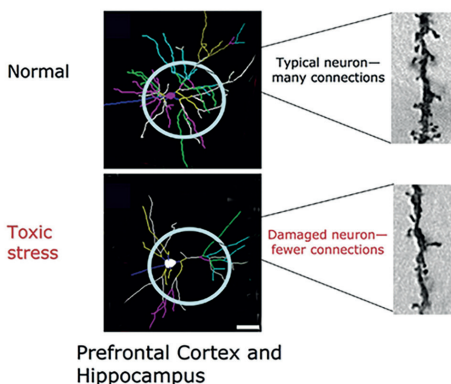
En este proceso, cada experiencia activa algunos circuitos neurales y deja otros. Los circuitos neurales utilizados una y otra vez se refuerzan, mientras que los no utilizados desaparecen como efecto de la poda o “pruning”. Es la especialización del funcionamiento mental.

Interacción positiva con el entorno humano. El cerebro humano es social y plástico, para su funcionamiento eficaz precisa no solo la base y componentes neurobiológicos sino también estímulos y un entorno social positivo de relaciones humanas. Esto comporta la necesidad de tener una cantidad de estímulos suficiente para que emerjan las competencias, pero también una calidad ya que, en función de ella, su despliegue será más o menos óptimo (Sastre-Riba, 2005; Mounoud et al. 2001). Pero además necesita un contexto de relaciones humanas interactivas positivas (Shonkoff et al., 2020). Tanto si fallan los estímulos en cantidad y calidad, como si se enfrenta a interacciones no positivas, el ser humano a veces afronta situaciones denominadas adversas que, si son persistentes y según su intensidad, pueden impactar negativamente en el desarrollo de competencias y en la citoarquitectura cerebral, más cuanto más temprana sea la edad de la persona. En la Figura 32 se muestra el impacto de una situación adversa persistente en un niño institucionalizado y efectos en la pobre arborización dendrítica, comparativamente con la de un niño de la misma edad (5 años).

Figura 32

Diferencias en la arborización dendrítica de una neurona del córtex prefrontal: niño con desarrollo típico vs otro en situación de adversidad (Tomado de Shonkoff, 2016)

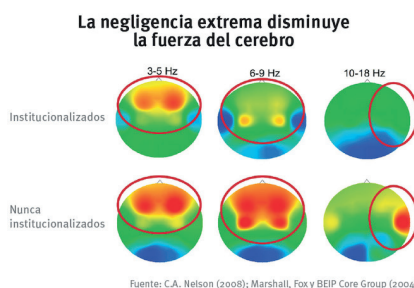
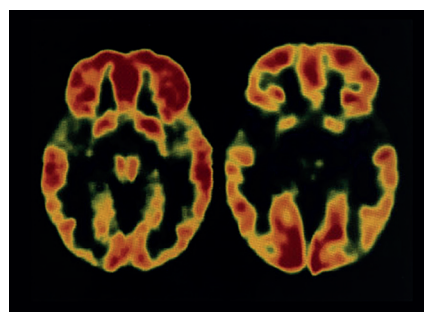
Persistent Stress Changes Brain Architecture



Puede observarse la menor arborización en la neurona del niño institucionalizado y con cuidados negligentes; teniendo en cuenta lo explicado respecto a la funcionalidad del cerebro es fácil deducir las consecuencias negativas que comporta para la activación, conectividad y funcionamiento cerebral como soporte de las funciones cognitivas y emocionales de una persona en desarrollo. Otra imagen que abunda en esta observación es la de la Figura 33.

Figura 33

Impacto de la situación adversa de negligencia en el niño (Tomado de Shonkoff, 2016)



Este es el impacto de situaciones adversas que desorganizan el proceso natural de desarrollo del cerebro y la emergencia consecuente de competencias. Dado que desde el periodo prenatal y durante los primeros años de vida, el cerebro humano experimenta su crecimiento más rápido, el impacto de la falta de estimulación o una situación persistente de interacciones negativas con el entorno humano, por ejemplo, el caso de la negligencia, conduce a consecuencias que alteran la expresión genética del potencial neurobiológico, interrumpiendo el desarrollo típico del cerebro.

Importancia de los primeros años de vida

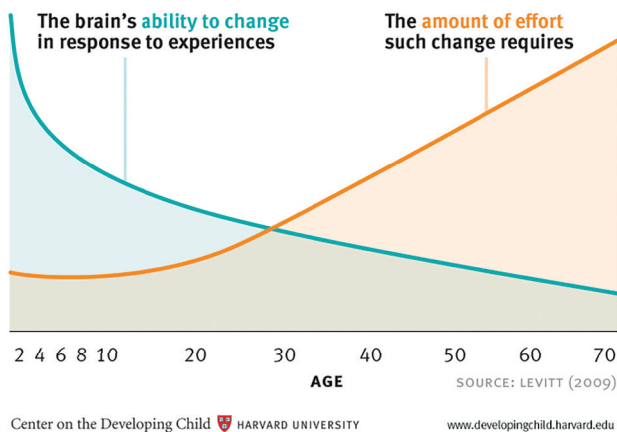
Lo que sucede durante los tres primeros años de vida es crucial para el desarrollo; consiste en el despliegue de información genética que, diferenciándose, va dando lugar a un nuevo ser con las capacidades cognitivas descritas, algunas como redescritión de habilidades básicas de la especie (preformadas), otras construidas sobre ellas. Cualquier incidencia adversa tiene una repercusión crucial en el desarrollo cognitivo y físico, más relevante cuánto antes se produce porque el sistema está diferenciando órganos

funcionales y creando la citoarquitectura cerebral, redes y conexiones que van a dar soporte a la cognición y emocionalidad del nuevo ser.

Consecuentemente, la experiencia (física e interactiva) temprana moldea la arquitectura cerebral, base del futuro aprendizaje, conducta y salud. Por otra parte, la plasticidad, capacidad básica cerebro para aprender, es mayor en la primera infancia, decreciendo con la edad. En suma, la moldeabilidad y potencialidad de uso de un cerebro en construcción es alta como representa la Figura 34, decreciendo paulatinamente. Pero también es más frágil frente a situaciones adversas persistentes.

Figura 34

Capacidad de cambio del cerebro a lo largo de la vida



En suma, la cognición emerge progresivamente del sustrato neurobiológico de un cerebro en desarrollo especialmente durante los 3 primeros años de vida. Su desarrollo se explica como una progresiva eficiencia mental de representaciones, definida como patrones de activación neural que dan soporte a la adaptación al entorno.

Cómo y cuándo emerge la actividad cognitiva: desarrollo del cerebro y competencias base

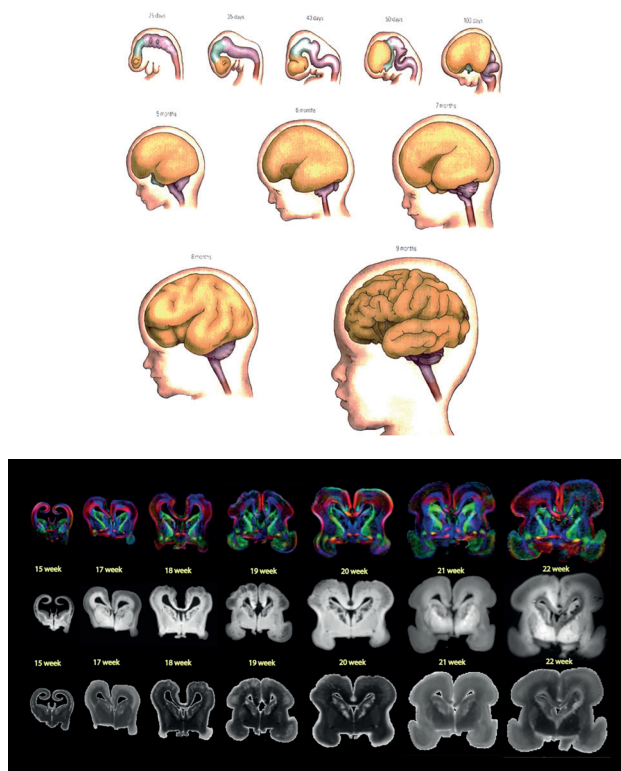
La actividad cognitiva del ser humano emerge a partir de la neurogénesis y el grado de maduración y articulación de los circuitos cerebrales.

Reproduce las ganancias de la filogénesis en el curso temporal de una vida humana con las especializaciones conseguidas, sometida a la variabilidad de cada persona en una colaboración ya comentada entre: genes, cerebro, entorno y cognición.

Durante el período prenatal, el desarrollo cerebral es estructural y postnatalmente funcional (Marin Padilla, 2011). En la Figura 35 se representan los grandes cambios en la configuración cerebral desde los primeros días después de la concepción, y hasta el nacimiento. Los principales procesos son: la regionalización cerebral, la migración neuronal y la sinaptogenia, reflejados en el proceso de configuración cerebral que se describe brevemente a continuación.

Figura 35

Pasos iniciales en el desarrollo prenatal del cerebro y postnatal



Obsérvese en las figuras anteriores la progresiva complejidad estructural del órgano en su progresiva configuración; a medida que las áreas cerebrales se diferencian y maduran van dando soporte a su funcionalidad y ésta a la emergencia de competencias cognitivas y de conducta.

El cerebro emerge de la placa de tejido más externa (ectodermo) del embrión humano, hacia la 4 Semana de Gestación (SG) tras la fecundación. Engrosándose, forma la placa neural que da lugar a la neurulación (ver paso 1 Figura 35) como primer paso para la organización de su configuración.

La Figura 36 representa este proceso de configuración prenatal del cerebro, desde la neurulación hasta el nacimiento. Es el período más determinante en la vida de la persona porque se configuran los órganos básicos (Martínez-Morga et al., 2016), entre ellos, el cerebro.

Figura 36

Fases en la configuración prenatal del cerebro

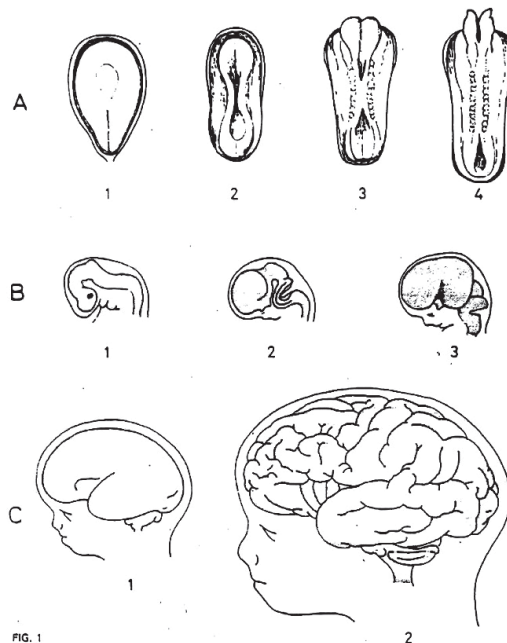


FIG. 1
Morfogénesis del encéfalo.
A) Formación del tubo neural en el dorso del embrión: cierre «en cremallera».
B) Primeras plegaduras del tubo neural en su extremidad cefálica, génesis del tronco cerebral y de las vesículas telencefálicas.
C) El cerebro se conforma por completo, aumentando las plegaduras de su corteza durante los últimos meses del período fetal.

En concreto, estas fases son:

1. Inducción. La información genética pone en marcha y regula la formación de la placa neural a partir del engrosamiento del ectodermo que se invagina (se pliega sobre ella misma, inducción dorsal) dando lugar al surco neural que se cierra (inducción ventral) formando así el tubo neural, estructura que dará lugar al cerebro.

Figura 37

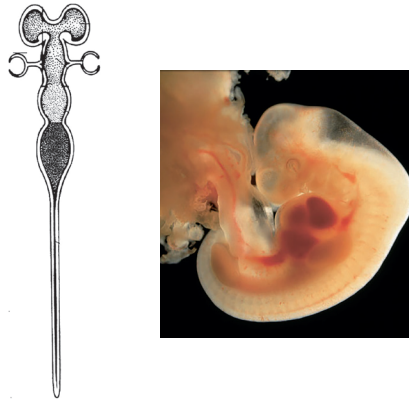
Inducción: placa neural en proceso de invaginación, 2 SG



En su polo anterior, el tubo neural se dilata y del tejido celular irá emergiendo el cerebro y el cerebelo (cresta neural), y en la parte de abajo del cierre la médula espinal. Es relevante destacar que en el tubo neural hay centros organizadores que dirigen la formación de regiones cerebrales, circuitos neuronales y contactos sinápticos, por lo tanto, cualquier alteración comporta malformaciones graves. Si hay una alteración en el cierre superior tendrá graves consecuencias para la supervivencia y desarrollo con un trastorno denominado anencefalia; si el fallo se produce en la parte inferior del cierre, se produce la espina bífida con consecuencias de diversa intensidad en el control motor. Este proceso se realiza entre la 3ª-4ª SG.

Figura 38

Tubo neural con el lóbulo frontal, medio y posterior ya visibles entre la 5-6 SG

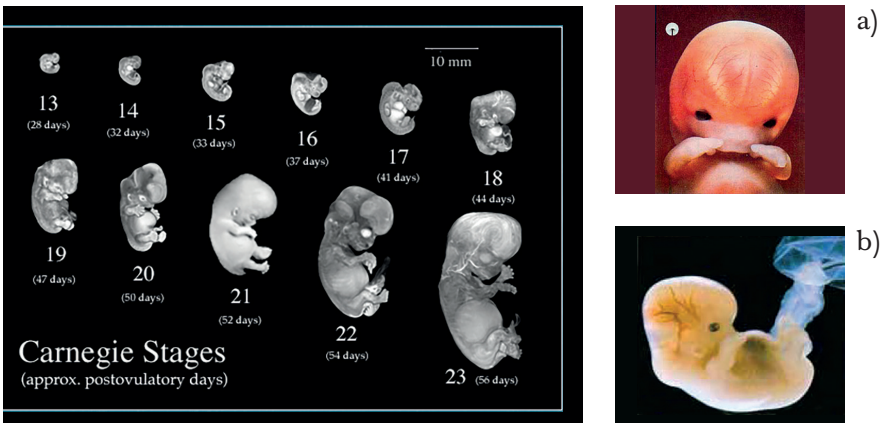


2. Proliferación. Tiene lugar entre la 6 SG y la 8 SG, durante las que se formarán casi todas las neuronas que va a tener el cerebro.

En esta fase, siguiendo pautas genéticas, se multiplican las células que formaban una sola capa en la placa neural, las neuronas, depositándose en la zona más profunda del tubo neural.

Figura 39

Configuración del cerebro hasta la 6 SG en la 6 SG (a) y 8 SG (b)

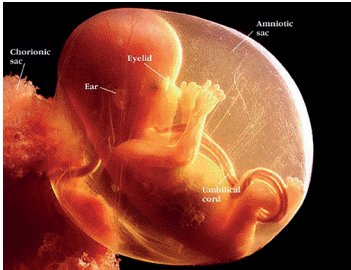


Como puede observarse en la Figura 39, en ese pequeño tiempo van emergiendo sucesivamente, de manera progresivamente diferenciada, las distintas partes y componentes de la configuración cerebral. Una alteración en este proceso tiene como resultado serias anomalías y malformaciones cerebrales asociadas a cerebros pequeños: *microcefalia vera* con malformaciones acompañantes y diverso grado de dificultad cognitiva y sensorial, según afectación; en numerosos casos los embriones son abortados.

3. Migración. Durante el 2º trimestre de gestación, los millones de neuronas generadas en el epitelio ventricular se desplazan desde su situación ventricular y subventricular hasta lugares más superficiales de la pared neural para formar acumulaciones neuronales (núcleos o capas) donde quedarán depositadas para toda la vida. La migración se realiza radial (da lugar a la corteza cerebral) y tangencialmente (da lugar a las células granulosas externas). Con ello establecerán las capas corticales completas hacia el sexto mes de gestación. Las células se desplazan en movimientos ameboides guiadas por los llamados procesos gliales andamiando a las neuronas.

Figura 40

Configuración del feto y cerebro a las 16 SG



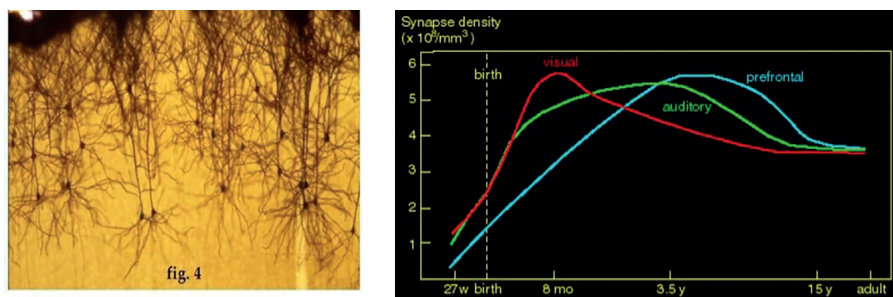
Las alteraciones en la migración generan una distribución neuronal anómala asociadas con un cerebro con pocas circunvoluciones (liscencefalia, macrocrogiria) con importante repercusión dificultando el desarrollo óptimo, por ejemplo, la epilepsia o la deficiencia mental.

4. Organización-diferenciación. Se inicia hacia los 6 MG y dura hasta los dos años postnatales. Las neuronas se alinean, orientan y disponen en capas corticales, a la vez que se forman las arborizaciones de axones y dendritas, procurando gran número de conexiones a las neuronas (sinapsis) y

la proliferación y diferenciación de las células que componen el sistema nervioso que no son neuronas sino su soporte material y nutricional. El proceso de sinaptogénesis es fundamental para permitir el adecuado funcionamiento cerebral. La sinaptogénesis en la corteza cerebral es masiva en los dos primeros años de vida con un patrón diferente en cada región (corteza somatosensorial y visual las primeras, seguidas de la temporal y parietal de asociación, y finalmente prefrontal y temporal lateral), asociado al aumento del volumen de la corteza como se observa en la Figura 41. En determinados trastornos del neurodesarrollo como el S. de Down, el hipotiroidismo congénito, el cromosoma X fragil, etc., esta fase está alterada.

Figura 41

Sinaptogénesis con arborización dendrítica (a) prenatal, (b) postnatal

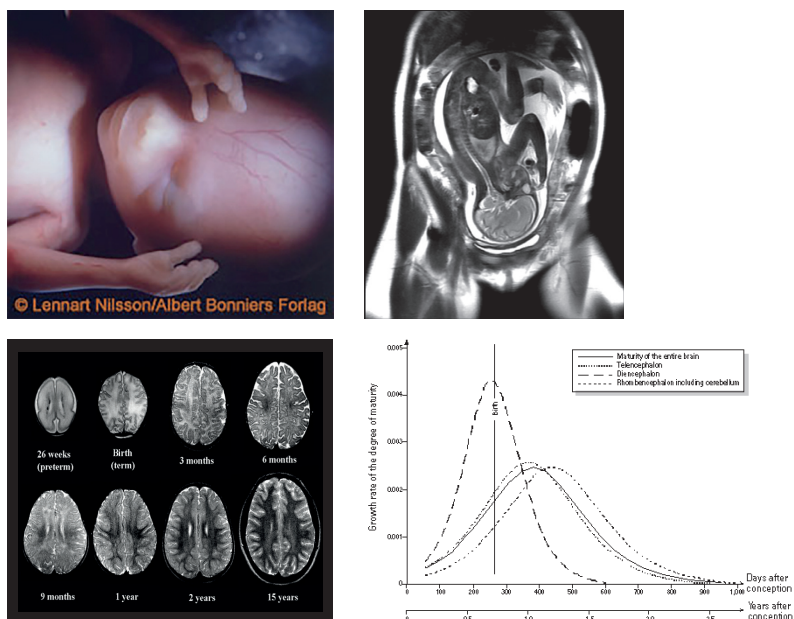


5. Mielinización. Es la fase más larga y que más se extiende postnatalmente (desde el 3er. trimestre de gestación con un pico en la pequeña infancia y descenso hacia los 20 años). Comienza con el crecimiento y proliferación rápida de unas células denominadas oligodendrocitos que forman una sustancia (mielina) que irá recubriendo a lo largo de los años todas las neuronas y sinapsis (ver Figura 42), facilitando la rapidez y eficacia de sus conexiones y la mejora de la transmisión del impulso nervioso a través de ellas, desde el centro del cerebro a la periferia y de la parte posterior a la anterior en el cerebro, siguiendo también la direccionalidad madurativa filogenética.

Con ella se completa la maduración cerebral en un proceso en el que las áreas que intervienen en las funciones mentales más complejas, por ejemplo, el CPDL y orbitofrontal, centro del control ejecutivo, maduran funcionalmente las últimas (en la adolescencia), configurando los cimientos de la actividad mental a lo largo de la vida.

Figura 42

Feto a las 23 SG, a punto de iniciar el 3r trimestre de gestación, cerebro a las 29SG (Heuvel et al., 2016) y mielinización sucesiva del cerebro humano



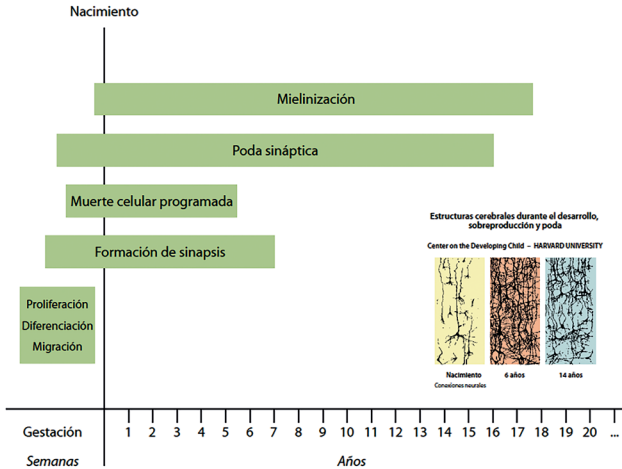
La alteración en la consecución de este paso es la leucodistrofia con graves secuelas en la función cognitiva y motora.

A estas fases, de determinante relevancia en el rápido crecimiento de la corteza cerebral tan importante para el funcionamiento intelectual, les acompaña la poda y muerte neuronal (Leland et al., 2024) de aquellas células o sinapsis no adecuadas. Se estima que entre el 40-50% de las neuronas nacidas en el desarrollo fetal no sobrevivirán en el neonato, pero es un mecanismo adaptativo que sigue reglas establecidas.

Así pues, después del nacimiento, este órgano especializado continúa su puesta a punto (ver Figura 43) dando soporte a un conjunto cada vez más amplio de competencias.

Figura 43

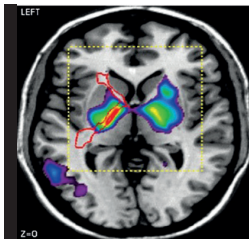
Proceso de maduración cerebral con los procesos de poda incluidos



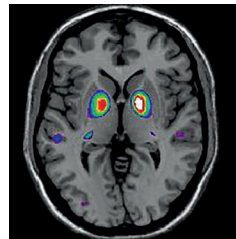
El siguiente gran cambio tiene lugar durante el proceso de envejecimiento. En él, el tipo de funcionamiento intelectual se transforma manteniéndose en parámetros idóneos gracias a la neuroplasticidad y a condiciones personales favorables, hasta más allá de los 65 años y, en poblaciones con características de personalidad flexible abiertas al aprendizaje continuado y con buena preservación de su estado salud (especialmente cardiovascular), hasta más allá de los 80 años como prueban figuras como Picasso o Piaget, por ejemplo.

Figura 44

Cambios en la densidad de la mielina con la edad (Tomado de Paus et al., 2005)



(cerebro de una persona joven)

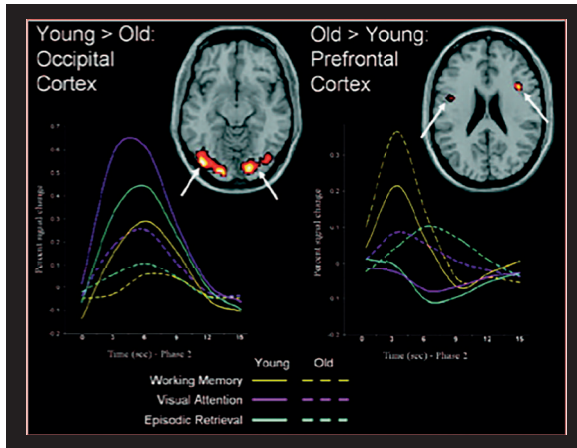


(cerebro de una persona con más de 50 años)

Este cambio a lo largo de la edad adulta y envejecimiento, a grandes rasgos, consiste en: a) menor mielinización, especialmente en la zona frontal (ver Figura 42), disminución del volumen cerebral, acumulación de hierro en los ganglios basales, aumento de los ventrículos cerebrales, etc. Afectan a la velocidad de procesamiento (relacionada con la disminución de materia gris) pero no necesariamente a la eficacia de la respuesta resolutoria o de aprendizaje puesto que hay mecanismos cerebrales de compensación, de manera que, por ejemplo, la actividad de áreas posteriores da apoyo a la actividad frontal, como refleja la Figura 45.

Figura 45

Actividad cortical en adultos mayores y jóvenes (Tomado de Cabeza, 2005)



En suma, un cerebro que se configura básicamente (pero no totalmente), durante el período prenatal y que mantiene su funcionalidad y plasticidad a lo largo de la vida dando soporte a la actividad mental.

3. La mente humana: emergencia y desarrollo inicial desde el neuroconstructivismo

Más allá de las perspectivas tradicionales, la investigación actual sobre el desarrollo cognitivo temprano iniciada por pioneros como Lecanuet (1995) permite hoy, esbozar el recorrido sobre la emergencia y transformación de la inteligencia, y por ende, la mente humana.

La primera actividad cognitiva

La actividad cognitiva comienza durante el tercer trimestre gestación, a partir del 6 mes. Esta afirmación se basa en las evidencias científicas (Vogelsang et al., 2023, etc.) de:

1. El feto es un ser responsivo hacia el sexto mes de gestación (MG) a los estímulos del entorno, emite respuestas de intercambio: mayor o menor movilidad, alteración del estado de vigilia o de sueño, etc., indicando que los elabora, organiza y orienta su conducta según ellos.
2. Los órganos sensoriales están básicamente configurados (en orden de primera a más tardía puesta a punto: tacto, equilibrio, gusto-olfato, oído, vista), permitiéndole recibir estímulos diversos a los que responde (Donovan et al., 2020).
3. El feto tiene estados de conducta a partir del 6º MG (Prechtl, 1990), posteriormente observables en el neonato. Los estados de conducta son un conjunto de variables fisiológicas (frecuencia y ritmo cardíaco, respiración, etc.) y de conducta (ojos cerrados/abiertos, movimientos) estables en el tiempo y recurrentes de forma repetida, en la misma persona y similares en otras.

Comportan una respuesta fisiológica organizada que indica que el sistema nervioso central, aún en proceso de configuración, es suficientemente operativo para controlar la conducta del feto, indicando a los profesionales el tipo de equipamiento neurológico y, en consecuencia, su repercusión en el proceso de desarrollo en curso (ver Sastre-Riba, 2014). La Tabla 1 recoge los estados de conducta en el feto.

Tabla 1*Estados de conducta en el feto (Tomado de Prechtl, 1990)*

	Ritmo cardíaco	Movimiento ojos	Movimiento corporal
1F. Sueño tranquilo (similar sueño no- REM)	< 10 bpm	Ausente	Ausente
2F. Sueño activo, similar fase REM	> 10 bpm variable	Si	Si
3F. Despierto tranquilo (vigilia)	>10 bpm sin aceleraciones	Si	Ausente
4F. Despierto activo	variable con amplias aceleraciones	Si	Si

Estos estados de conducta coinciden y tienen continuidad en el neonato y son similares a los de los adultos. Entre los neonatos, Prechtl (1990) demuestra, además, la existencia del estado 5, similar al 4 fetal, pero con llanto y vocalización.

5. Habitación. Es la primera expresión de actividad cognitiva porque comporta el primer aprendizaje humano basada en las evidencias de que, a partir del 6MG, el feto percibe diferencialmente estímulos auditivos, luminosos, gustativos, propioceptivos, etc. (Vogelsang et al., 2020; Donovan et al., 2020; Braddick, 2017; Lecanuet et al., 2013, etc.), los distingue y responde diferencialmente a ellos. Como resultado, reconoce la voz de la madre frente a la de otras mujeres, reconoce el lenguaje materno respecto a otras lenguas, recuerda sonidos musicales o ambientales y se calma o altera con ellos, secuencias habladas, canciones, gira la cabeza para seguir un haz de luz, y tiene patrones motores dirigidos a un fin (por ejemplo, tocarse los ojos, poner el dedo en la boca, etc.). Indica que la conducta del feto es plástica, responsiva y con adaptación activa a los cambios del entorno mostrando que, a pesar de su inmadurez, el cerebro ya controla la conducta y primeros aprendizajes que influirán en la conducta postnatal.

Por lo tanto, el feto tiene actividad cognitiva, al menos a partir 6 MG porque elabora/organiza estímulos y orienta su conducta diferencialmente según

ellos. Además, después del nacimiento recuerda estos primeros aprendizajes, desmintiendo la tesis mecanicista de que el recién nacido es una *tabula rasa*, o que no tiene ningún conocimiento ni estructura intelectual (Sastre-Riba, 2014). Un avance importante para comprender la emergencia de la mente humana y la actividad cognitiva.

El neonato y los tres primeros años de vida

El neonato dispone de un bagaje inicial, preformado (no innato), que sorprende día a día a los investigadores por su riqueza y plasticidad, permitiendo el primer procesamiento significativo de informaciones y la elaboración de respuestas y conocimientos.

Este bagaje consiste en: a) *Reflejos*, vestigios de conductas adaptativas cuya persistencia o ausencia informan sobre un posible daño neurológico; no son la base para el desarrollo cognitivo por ser conductas automáticas que se ponen en marcha siempre ante el mismo estímulo (por ejemplo, la prensión palmar o el reflejo de natación); b) *Estados de conducta* similares a los observados en el feto, más el estado 5 de plena activación/vocalización, cuyo buen funcionamiento indica adecuado equipamiento neurológico y, c) Las competencias tempranas.

Figura 46

Reflejo de prensión palmar en el neonato



Las competencias tempranas son la base para el despliegue progresivo de funciones cognitivas cada vez más complejas. Se organizan mediante unas *Funciones-base* para la captación y tratamiento significativo de la información. Entre las más relevantes destacan: la percepción intersensorial, acción intencional, imitación (Meltzoff et al., 1977), funciones ejecutivas, representación, lógica o comunicación.

Figura 47

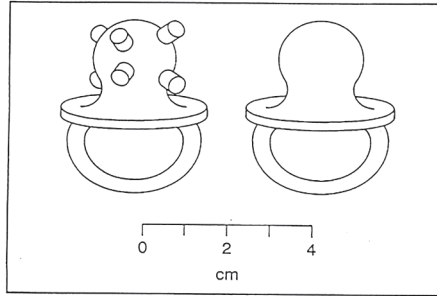
Competencias tempranas: la Imitación neonatal (Tomado de Meltzoff y Moore, 1977)



Esta emergencia de competencias, que podría residir en bases filogenéticas (Spelke, 2022), es más compleja y se adelanta a las descritas por Piaget para los bebés y pequeña infancia. Por ejemplo, el objeto oculto existe antes de los tres meses de vida y no a partir de los 8 meses como indicaría el autor; la percepción intersensorial existe desde el nacimiento (ver Figura 48) en lugar de irse construyendo a partir de los 5 meses como afirmaba, la imitación aparece desde el nacimiento y para Piaget emergía a partir de los 8 meses de vida, o la emergencia representativa desde el nacimiento (al menos) mediante códigos que repiten ganancias filogenéticas: código enactivo o sensorial, código perceptual y, finalmente simbólico, etc.

Figura 48

Percepción intersensorial visual-táctil (Tomado de Spelke, 2022)



Estímulos utilizados en el estudio de la coordinación de la percepción visual y táctil utilizados por Meltzoff.

Además, desde los primeros meses de vida, los bebés poseen unos *Dominios de conocimiento* (ver ejemplo en figuras 48, 49, 50): objetos(físico), agentes (biológico), psicológico (personas), lingüístico o numérico, como rudimentos de saber predeterminados (no innatos) que serán la base para la construcción de otros más elaborados (Spelke, 2022) a lo largo de las transformaciones que, como se ha explicado, caracterizan el proceso de desarrollo, dando lugar a representaciones cada vez más complejas en una mente progresivamente interiorizada, si es estimulada a ello.

Figura 49

Dominio conocimiento físico: principio de soporte (Baillargeon, 1995)

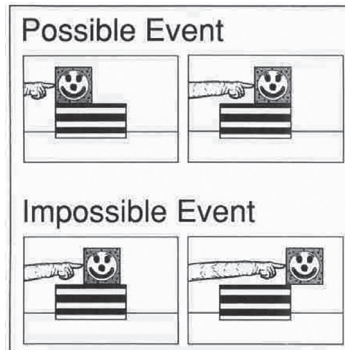
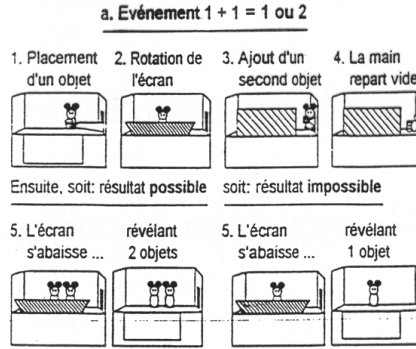


Figura 50

Dominio conocimiento numérico (Tomado de Wynn, 1992)



Estas competencias tempranas son un equipamiento básico que permite numerosas combinaciones funcionales que van articulándose en función de las demandas de cada entorno específico. La complejidad representacional puede ser cada vez mayor, en lo que constituye una manera de “emplear” la maquinaria neurológica. Evidentemente hay algunos sacrificios en la flexibilidad cerebral, pero estos sacrificios son mucho más evidentes en las funciones que tienen un alto grado de especialización (como la identificación de caras o el ajuste a un idioma) mientras que se puede mantener un alto grado de flexibilidad en lo que afecta a las funciones más complejas.

La puesta a punto y aplicación se relacionan con la sucesiva corticalización y maduración del córtex frontal y prefrontal durante los primeros años de la vida durante los que acontecen cambios relacionados con la mielinización, el crecimiento dendrítico y celular, las nuevas conexiones sinápticas y la activación de sistemas neuroquímicos. Estos cambios estructurales y funcionales del cerebro se relacionan con ganancias relevantes en las competencias cognitivas iniciales, en las funciones ejecutivas y en la organización lógica de la acción (Sastre-Riba, 2016) y del conocimiento que repercutirán en el funcionamiento cognitivo y que continuarán produciéndose a lo largo de la vida en una secuencia más o menos óptima en la manifestación de la potencialidad neurobiológica de partida determinada genéticamente.

Figura 51

Funciones ejecutivas (Tomado de Diamond, 1994), error A-non-B

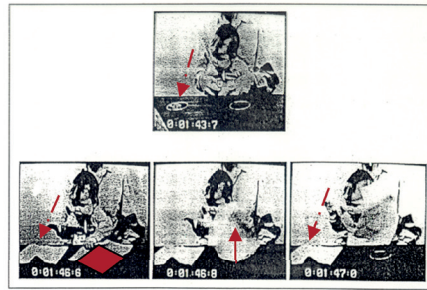


Imagen sobre cómo el bebé mira B mientras coge A, tras haber encontrado correctamente el objeto en A en una situación inmediatamente anterior.

Así pues, desde aquella plataforma inicial preformada, base de la construcción y transformación sucesiva de la inteligencia, y fruto de la puesta a punto de dichas funciones y dominios de conocimiento, mediante la experiencia y una actividad organizada y significativa, el ser humano construye y aplica su potencialidad cognitiva en una direccionalidad que va desde (Pastor y Sastre-Riba, 1994):

- a) el conocimiento práctico hacia el conocimiento conceptual;
- b) lo cercano y directamente perceptible hacia lo descontextualizado;
- c) lo implícito hacia lo explícito;
- d) lo protológico hacia lo lógico;
- e) lo concreto hacia lo abstracto.

Esta progresiva y continua transformación se organiza en torno a unas ganancias básicas en cada año de vida. Centrándonos en los tres primeros, pueden resumirse como sigue (Sastre-Riba, 2014):

1^{er} año (0-12 meses): construcción de una representación del mundo ligada al bebé, con un conocimiento práctico/procedural ligado a su acción directa pero ya organizada y significativa;

2º año (12-24 meses): descontextualización sucesiva con una acción ya plenamente controlada lógicamente con un conocimiento práctico resultante que se redescubre hacia un conocimiento conceptual;

3º año (24-36 meses): aplicación de los mecanismos obtenidos a la adquisición de los primeros conocimientos culturales, de carácter a la vez conceptual y práctico.

A través de los cambios y transformaciones descritos en la epigénesis probabilística, se van fraguando la expresión del potencial neurobiológico en formas de funcionar cognitivamente más complejas. Estos cambios, a partir de las competencias iniciales y primera infancia descritos facilitan, a lo largo del período preescolar, que haya una interiorización, mediante el lenguaje, de los saberes prácticos adquiridos durante los tres primeros años de vida. Más allá, el pensamiento operativo en la edad escolar permite comprender mejor la realidad física a pesar de sus transformaciones y apariencia, hacia el pensamiento hipotético deductivo y abstracto en la adolescencia con mejora del funcionamiento ejecutivo de las emociones y, desde él, hacia el pensamiento más práctico y relativista que adquisitivo propio de la adultez, a lo largo de la que se espera que algunos adquieran la máxima expresión de la inteligencia humana: la sabiduría, no como compendio de conocimientos sino como reintegración de experiencias y saberes adquiridos.

Queda una cuestión por abordar: ¿porqué unos cerebros son más efectivos que otros, teniendo una configuración similar?.

Responderla supone ahondar en la confluencia de los enfoques que se han ido mostrando en este discurso y que propongo enfocar hacia una de las manifestaciones diferenciales de la inteligencia humana: la ACI porque desde ella, a lo largo de la historia humana, se han ido produciendo los avances científicos, tecnológicos, filosóficos, políticos, artísticos, sociales, etc. que nos han permitido ser lo que ahora somos como seres humanos y que, éticamente, pueden contribuir a gestionar el controvertido futuro de la humanidad en el S.XXI.

4. La expresión diferencial del potencial intelectual: la Alta Capacidad Intelectual

La Alta Capacidad Intelectual no puede ser creada sin un alto potencial biológico,... pero disponer de éste tampoco la asegura; su expresión se da en algunas personas que disponen de alto potencial intelectual (no en todas), en algún momento (no siempre) y en determinadas circunstancias (no todas) de desarrollo (Renzulli, 2012)

Tal como se ha expuesto, el potencial neurobiológico para el funcionamiento mental se expresa en una amplia variabilidad individual. Esta variabilidad de competencia para el funcionamiento intelectual abre el campo de las diferencias individuales, en el que la ACI es una de sus manifestaciones.

Si se toma como referencia la tradicional distribución de la inteligencia mediante la curva de Gauss, las personas con ACI ocuparían su extremo derecho. Atendiendo a los argumentos interdisciplinares expuestos, una cuestión es la de si una mayor activación de la actividad cerebral explicaría esta variabilidad, de manera que, a mayor activación cerebral, mayor inteligencia como algunas aproximaciones a la ACI (Piechowski, 2002) proponen.

Las evidencias neurocientíficas postulan que el pensamiento inteligente no es el resultado de la sobreactivación cerebral, sino que es el producto de la eficiencia neural en el procesamiento, relacionado con la topografía celular granular del cerebro, soportada por patrones de conectividad entre diversas áreas, en línea con la teoría de la eficiencia neural antes expuesta. Desde esta perspectiva, la variabilidad cognitiva es debida a sutiles diferencias en la arquitectura neuronal subyacente y su funcionalidad que puede ser captada mediante neuroimagen. Dado que las capacidades cognitivas no están localizadas modularmente en áreas cerebrales aisladas, sino que dependen de operaciones complejas que se distribuyen a través de sistemas cerebrales dispares, la combinación del subconjunto de características arquitectónicas del cerebro produce una mejora significativa y complementaria de su rendimiento (Rasero et al., 2021) que, a su vez, recibe el impacto de la experiencia, modulándolas.

En suma, las diferencias individuales en inteligencia pueden atribuirse, no tanto a la estructura o volumen cerebral ni su sobreactivación, como a una mayor eficacia global de su funcionamiento y a la robustez en la conectividad de la sustancia blanca entre regiones cerebrales, especialmente pronunciada en las regiones parietales y frontales (Ma et al., 2017), que pueden asociarse con la ACI. De ahí el interés en conocer por qué unos cerebros son más eficientes que otros (Feilong, 2021).

La teoría de la eficiencia neural, la teoría de la integración frontoparietal, y la teoría científica de la *network science* antes expuestas ofrecen una base sugerente para explicar la variabilidad cognitiva. En conjunto permiten acercarse a la naturaleza de la ACI ofreciendo interesantes evidencias explicativas como se describe a continuación.

La ACI es una manifestación diferencial de la inteligencia humana que comparte en su naturaleza y funcionamiento las ideas que se han ido desgranando en este discurso. Algunos la denominan “mente privilegiada” porque entraña un alto valor personal y social dado el alto potencial de recursos que dispone.

Su definición aún es borrosa. Está marcada por un resistente concepto tradicional, ya caduco, proveniente de los estudios de Galton (1883) o Terman (1916), que la entiende monolíticamente como un alto cociente intelectual, estable, igual a éxito y basada en la heredabilidad. Este concepto debe ser redefinido (Sternberg, Renzulli y Ambrose, 2024) mediante las aportaciones interdisciplinarias de la Genética, la Neurociencia y la Psicología, rompiendo estereotipos y el mal conocimiento todavía vigente para ajustarse a su naturaleza, y poder proveer medios eficaces de intervención que guíen la expresión óptima del alto potencial.

Desde la Genética (Plomin et al., 2018, 2009) se aportan evidencias sobre lo que es estable (factor predictor) y qué cambia (factores moduladores endógenos y exógenos) en la expresión del alto potencial. Lo estable es la estructura cerebral y funcionamiento que subyace al alto potencial pero que no siempre es suficiente para su expresión en logros de excelencia. Lo que cambia es la expresión de estas bases neurobiológicas debido al impacto de los factores moduladores que, a lo largo del desarrollo, impactan en aquellas, facilitando o inhibiendo su expresión. La neurociencia (Geake, 2009) ofrece resultados sobre la citoarquitectura y funcionamiento de los cerebros de las personas con ACI permitiendo conocer su base física (el

qué se desarrolla). Desde el neuroconstructivismo (Astle et al., 2023) se proponen modelos computacionales sobre cómo impactan distintos factores (plasticidad, tipo de estímulos, modelos regresivos y riqueza del contexto) en la expresión del alto potencial neurobiológico (epigénesis probabilística) a lo largo de cada trayectoria individual, moldeándolo. Desde la Psicología (Subotnik et al. 2024; Sastre-Riba, 2020) se conjugan los resultados genéticos y de la neurociencia con modelos de desarrollo desde el nuevo paradigma de la ACI, explicando qué y cómo se plasma el desarrollo en funciones cognitivas de alto nivel soportadas por un cerebro más eficiente y especializado, expresadas diferencialmente en habilidades como la capacidad para conceptualizar, generalizar, razonar abstractamente, crear, u otras como el liderazgo, la creación plástica o el rendimiento físico.

Sus aportaciones redefinen el concepto de ACI, más allá de la rígida y estática propuesta tradicional como rasgo monolítico y fijo hacia una perspectiva más amplia, multidimensional, contextualizada, que la entiende como un fenómeno complejo, de base genética pero esculpida por la interacción dinámica de fuerzas endógenas y exógenas que van diferenciando e integrándose en el curso del desarrollo con formas diversas. La ACI es una manifestación diferencial de la inteligencia humana emergente a partir de un factor predictor neurobiológico de base genética, que dota de una arquitectura cerebral subyacente a distintas funciones representativas en construcción. Es una característica moldeable cuyo concepto clave es el desarrollo de un potencial que reclama soporte, valores personales, ética y oportunidades para transformarse en eminencia (Sastre-Riba, 2020).

Esta redefinición comporta ir desde la perspectiva del *ser* hacia la del *convertirse* en persona con ACI, dado que no es una cualidad estática fijada en la mente, sino el resultado de diversos factores en covariación para el desarrollo del alto potencial neurobiológico en funciones complejas de un cerebro que permite un uso más efectivo y eficiente. Comporta también ir desde la dicotomía entre *natura* y *nurtura*, hacia su interacción como variables endógenas y exógenas que van dando lugar a la expresión de la potencialidad.

Por lo tanto la ACI, estadísticamente poco frecuente, se manifiesta en algunas personas que demuestran una alta habilidad o potencialidad para el aprendizaje (aptitud), o un rendimiento original y útil de escasa observación en otros, en uno o varios dominios que incluyen un área determinada que reclama el uso de distintos tipos de símbolos (por ejemplo, música, lenguaje o matemáticas) o un conjunto de habilidades sensorimotoras (pintura, danza,

deportes, etc.). Desde este nuevo paradigma (Sternberg y Ambrose, 2021) es un fenómeno intelectual complejo, de configuración multidimensional según las habilidades cognitivas que la componen, dando lugar a perfiles de superdotación (complejos) o de talento (simple o múltiple). Consecuentemente, la ACI se desarrolla y expresa como resultado de la covariación entre lo genético (correlatos estructurales y funcionales) y factores moduladores co-cognitivos, que va dando lugar a distintas trayectorias diferenciales de desarrollo en las que las características personales o sociales y la gestión de los recursos intelectuales disponibles, pueden explicar su expresión, o no, en logros eminentes durante la adultez (Subotnik et al. 2024).

Esto significa que sin los correlatos estructurales es imposible “crear” la ACI, pero sin los moduladores el potencial tampoco se concreta en competencias significativas. Conocer los componentes estructurales implica aprehender la actividad neural diferencial que permite explicar cómo funciona su mente de estas personas, y conocer las condiciones co-cognitivas que modulan su desarrollo: moduladores endógenos (especialmente la gestión de los recursos intelectuales, y también la motivación, perfeccionismo, habilidades sociales, etc.), y exógenos (contextos de desarrollo, educativos, etc.)

Correlatos neuronales y funcionales de la ACI: un cerebro en desarrollo

Las características que buena parte de profesionales esperan de la ACI como la precocidad intelectual con la que a veces se expresa, el rápido procesamiento de la información, la preferencia por la comprensión y tratamiento en profundidad de la información, la abstracción o la predilección por el pensamiento creativo, cabe esperar que estén soportadas por una dotación superior en algunas de las estructuras neurológicas relacionadas con el funcionamiento cognitivo.

El cerebro de las personas con ACI no muestra diferencias en su volumen y estructura, pero se diferencia significativamente por un funcionamiento mental diferenciado más eficaz. Hasta el momento la investigación muestra la existencia de tres rasgos propios de su funcionamiento y configuración: la eficiencia neural de funcionamiento como mayor característica diferencial, la interconectividad, y algunas particularidades en la citoarquitectura que lo posibilitan (Sastre-Riba y Ortiz, 2018). Como se observa, están relacionadas con las teorías neurobiológicas de la inteligencia humana: la teoría de la eficiencia neural, teoría de la integración fronto-parietal y la *science network theory*.

- a) Algunas diferencias en la citoarquitectura. Aunque las diferencias no son notables, los estudios de neuroimagen muestran algunas diferencias cuantitativas y cualitativas en la densidad de materia gris y blanca en las áreas frontales con mayor densidad neuronal pero mayor delgadez en el córtex frontal (Shaw et al., 2006) lo cual indica más eficiencia de los recursos neurales. Esta neuroanatomía tiene un desarrollo dinámico que muestra que el córtex de los más inteligentes es más delgado a los 8 años, especialmente en las áreas frontales pero también parietales y temporales.

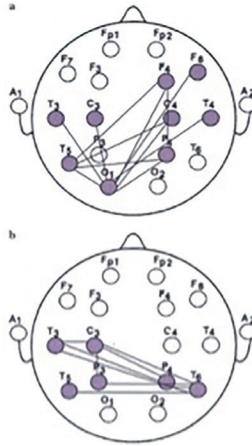
Por otra parte, se ponen en evidencia otras características como una maduración y mielinización más temprana del lóbulo frontal (Dunst et al, 2014) que acompañan a la mayor activación bilateral, que algunos autores (Kuhn et al. 2021) relacionan con un procesamiento más rápido, mejor memoria de trabajo, alto nivel de pensamiento abstracto y creatividad. Además comporta atención selectiva o énfasis en los inputs relevantes versus los no relevantes como característica funcional.

Pero las mayores diferencias son funcionales, explicadas por la mayor eficiencia neural y la interconectividad que se describen a continuación

- b) La eficiencia neural. La activación del cerebro de las personas con ACI es menor, más selectiva y más rápida (tiempo real y esfuerzo subjetivo) para procesar los estímulos. Establecen más asociaciones neuronales con otros circuitos, selectivamente y con bajo consumo metabólico (Jausovec, 2019). Además, activan con mayor frecuencia ondas alfa (indicando menor esfuerzo) que la cohorte de iguales sin alta capacidad ante la misma tarea. Investigaciones como la de Jin, et al. (2007) demuestran también (ver Figura 52) que las personas con ACI tienen menor activación cerebral y más selectiva ante la misma tarea, corroborado por otros estudios actuales (Sastre-Riba y otros, 2018; Sastre-Riba et al., en prensa) en prensa). Otros investigadores (Nusbaum et al., 2019, etc.) postulan que la eficiencia podría estar relacionada con una mayor mielinización que permitiría mejor transmisión bioeléctrica.

Figura 52

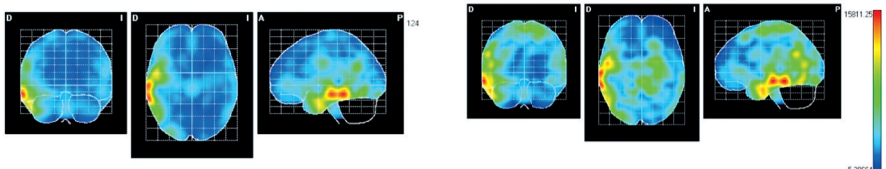
Diferencias de activación cerebral en cerebros típicos (a) y con ACI (b) ante tarea generación hipótesis (Tomado de Jin et al., 2014)



Esta activación selectiva y especializada se corrobora en investigaciones posteriores como muestran los mapas cerebrales de la Figura 53.

Figura 53

Respuestas cerebrales en la toma de decisión alrededor de 350 milisegundos antes de la respuesta motora. Cerebro con ACI (a) versus cerebros típicos (b) (Tomado de Sastre-Riba y Ortiz, en prensa)



En la Figura 53 puede observarse, de nuevo, patrones de activación selectiva y especializada de las áreas espacio temporales vinculadas específicamente con la tarea en ejecución, en concordancia con otros resultados que muestran un patrón diferencial de activación especializada, coherente con la teoría de la integración fronto-parietal (Jung y Haier, 2017), en nodos eficientemente interconectados entre regiones relacionadas (matriz de conexión local) en tareas convergentes y divergentes

(creativas) mostrando alto nivel de eficiencia para integrar la información entre ellas (Figuereido et al., 2020; Solé-Casals, et al., 2019; Mo, et al., 2018, etc.) con bajo consumo metabólico.

Esta red de conexiones en los cerebros más eficientes, incluye áreas del córtex prefrontal dorsolateral, lóbulo parietal, córtex anterior cingulado y regiones específicas en el lóbulo temporal y occipital, córtex estriado y giro fusiforme, activando en mayor medida regiones parietales que frontales (Jaušovec y Jaušovec, 2004), especialmente en tareas de mayor dificultad (Nussbaum et al., 2017, Neubauer y Fink, 2009). Estas regiones también son consideradas las bases neurales de las funciones ejecutivas, esenciales para los procesos de regulación de recursos cognitivos y emocionales (Gratton, et al., 2018; Friedman y Miyake, 2017).

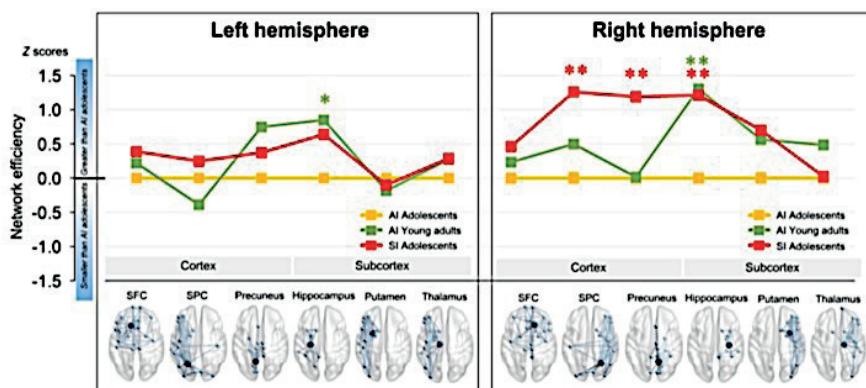
Es decir, estos cerebros consiguen los objetivos con menor activación neural pero más efectiva y selectiva de las áreas cerebrales específicas implicadas (tiempo, esfuerzo selectivo), consumen menos energía y crean o establecen mayor número de conexiones neuronales especializadas.

- c) La interconectividad. La investigación muestra unos patrones de interconectividad prefrontal/parietal/cerebelo e interhemisférica que concuerdan con los postulados de la teoría de la integración fronto-parietal de la inteligencia. Esto permite mayor complejidad representacional, mayor conocimiento inter-relacionado, estructuras cognitivas más complejas y mejor control cognitivo.

En suma, una conectividad global con redes de alta eficacia y *clusterings* entre otras redes locales que evidencian interconexión entre distintas áreas cerebrales para procesar información (conectoma/matriz de conexión local) convergente y divergente.

Figura 54

Eficiencia de redes neurales: adolescentes: ACI-no ACI / adultos sin ACI (Tomado de Ma et al, 2018)

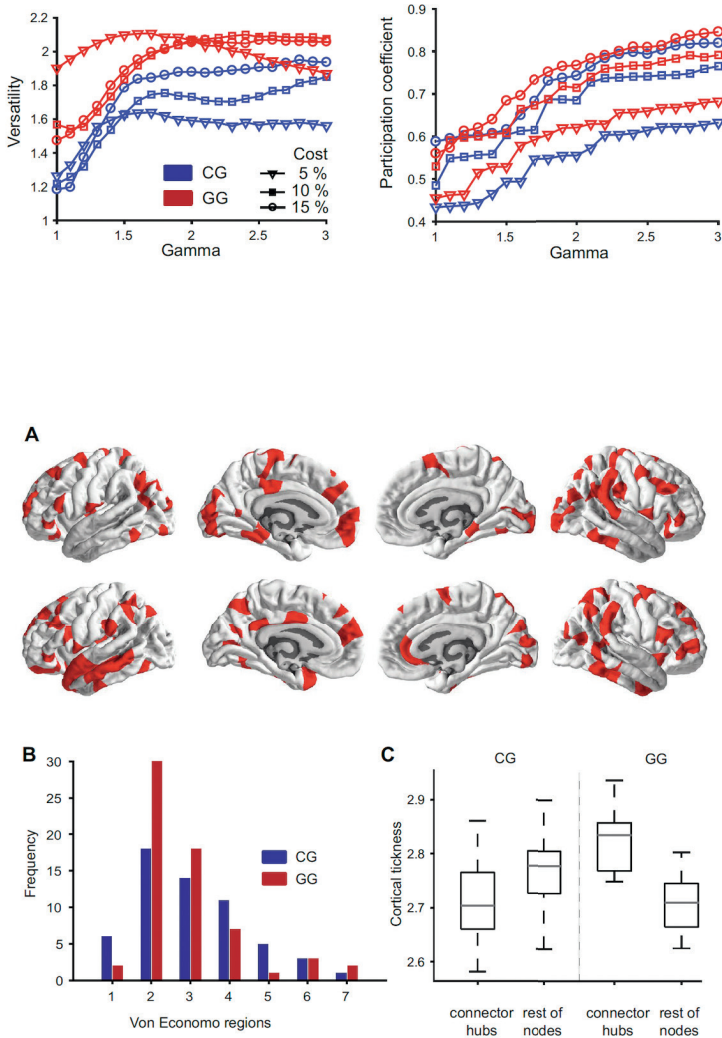


La riqueza de estas interconexiones en el cerebro en las personas con ACI se relaciona con la rapidez de procesamiento, la amplia memoria de trabajo, y la capacidad inter-relacionar conceptos o informaciones. Está condicionada con la profundidad de los aprendizajes y la dificultad de la tarea, de manera que, si ésta es fácil se observa una menor activación metabólica, pero si aumenta la dificultad, se incrementa la activación fronto-parietal (Dunst et al., 2014) mostrando una red de interconectividad estructural especialmente densa, que facilita la eficiencia y conectividad bilateral entre distintas áreas cerebrales y la integración de la información de distintas regiones en una red dinámica que permite al cerebro de la persona superdotada o talentosa mayor capacidad de adaptación para resolver la ambigüedad (Ma et al., 2017) o el recuerdo (Kuhn et al, 2021), explicando la eficiencia de funcionamiento mencionada.

La interconectividad regional se acompaña de la interconectividad interhemisférica probada por la mayor densidad de los tractos de sustancia blanca del cuerpo calloso que permite una mejor transferencia y procesamiento de la información, y la activación bilateral persistente del córtex prefrontal pero también fronto-parietal, además de otras áreas del cerebro (Laureys, 2024).

Figura 55

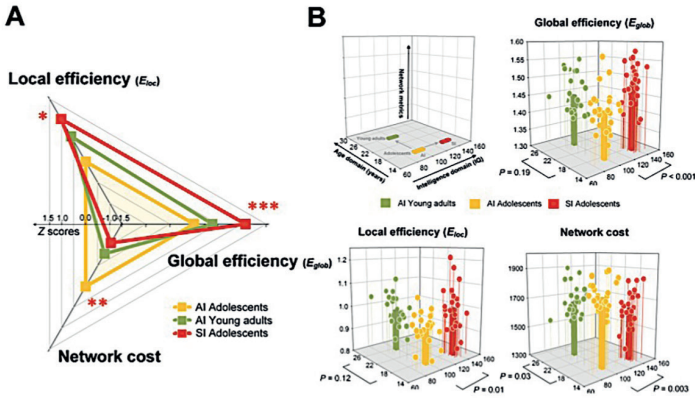
Visi3n comparativa del conectoma: personas con ACI y con inteligencia t3pica. Tomado de Sol3-Casals et al. (2019)



Este conectoma tiene, además, alta eficiencia y bajo consumo como muestra la Figura que sigue.

Figura 56

Eficiencia local y global redes neuronales (Tomado de Ma et al., 2018)



En suma, el cerebro de las personas con ACI da soporte a un sistema de distribución neural o espacio de trabajo con conectividad a larga distancia que potencia la interconexión múltiple de áreas especializadas de forma coordinada que permite la comunicación y movilización de recursos neurales facilitadores del pensamiento analógico, menor esfuerzo en la resolución de tareas, mayor sincronización neural (Geake, 2009), generación interna de mayor varianza intelectual, generación de hipótesis, fluidez analógica y pensamiento creativo. Todo ello vinculado con la mayor eficiencia ejecutiva y, especialmente entre sus componentes, de la memoria de trabajo.

Esta alta eficiencia y extensión de estas redes intermodulares con bajo coste energético facilita la capacidad superior para el procesamiento de la información y el pensamiento creativo (Geake, 2009), mayor espacio mental para una buena memoria de trabajo, buena regulación cognitiva, atención focalizada y monitorización/evaluación resolutoria. En otras palabras, la ACI podría conceptualizarse como una mayor eficiencia neural que facilita un funcionamiento diferencial superior para la generación de hipótesis, la selección de una respuesta mental más apta, y eficiente transferencia. Un cerebro con unas redes neurales con mejor relación entre coste metabólico y eficiencia de funcionamiento, sugiriendo que se desarrolla

minimizando el coste de activar una red compleja, especialmente desde la adolescencia.

Por lo tanto, estos cerebros son más eficaces porque pueden disponer de mayores recursos neuronales para el procesamiento automático antes de la activación frontal, por lo que la memoria de trabajo es mejor así como la capacidad para mantener un objetivo, dando soporte a mayor complejidad representacional, mayor conocimiento inter-relacionado, estructuras cognitivas más complejas, y mejor control cognitivo (regulación ejecutiva).

En resumen, el cerebro de las personas con ACI se caracteriza por: 1. Alto nivel de funcionamiento cortical prefrontal con una red bilateral fronto-parietal, 2) una red fronto-parietal que provee de un dinámico espacio de trabajo en el que la información procesada con mayor eficacia dando soporte a mayor capacidad ejecutiva y memoria de trabajo más eficaz (Kuhn et al., 2021); 3) mayor capacidad ejecutiva (Viana-Sáenz et al., et al., 2021) incluyendo: atención focalizada, selección evaluadora, analogía creativa, cierre de estímulos retrasado y procesamiento de la información comprensivo.

Este cerebro como correlato estructural subyacente a la ACI tiene mayor interconectividad, eficiencia y gasta menos energía, indicando que: a) permite mayor captación sensorial; b) permite mejor memoria (capacidad y eficacia), c) mayor capacidad organizativa, d) realiza asociaciones más extensivas, e) tiene mayor potencial para el pensamiento convergente y divergente, y, d) precisa menos repeticiones. El resultado es que facilita un aprendizaje más rápido, con mayor profundidad, abstracción, creatividad y mayor sensibilidad. Estas personas crean representaciones mentales diferentes y aprenden de manera distinta por lo que el proceso educativo debe ser diferencial ya que su actividad mental es el resultado de su cerebro más eficiente. Un cerebro que captura, comprende e interpreta la realidad de forma cualitativamente diferente pero que a veces muestra una brecha entre su competencia y el rendimiento.

Una de las explicaciones para la posible brecha entre competencia y rendimiento es el papel de las funciones ejecutivas y de la metacognición en la regulación de estos altos recursos (Sastre-Riba, 2023) que la investigación resalta como uno de los moduladores endógenos más relevantes que condiciona la expresión del alto potencial intelectual.

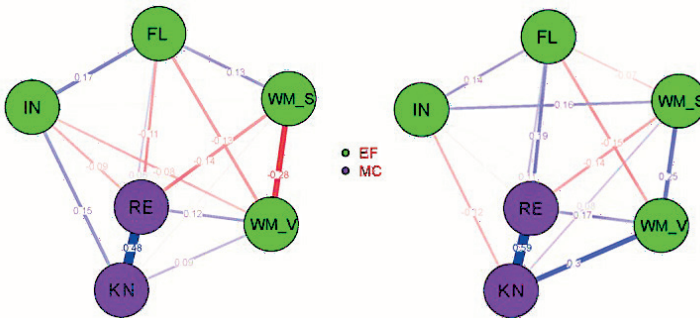
El sustrato neurológico de la ACI, haría esperar un buen funcionamiento ejecutivo y metacognitivo que facilitara una gestión intelectual óptima, pero no siempre es así dado que algunas personas con ACI muestran discrepancia entre los altos recursos disponibles y los escasos logros obtenidos. Brevemente, se resumen los resultados más relevantes hasta hoy al respecto.

Por una parte, es esperable un buen funcionamiento ejecutivo y metacognitivo en las personas con ACI dado el sustrato neurobiológico del que disponen. No obstante, los resultados con discrepantes (Vogelaar et al., 2022; Sastre-Riba, 2022; etc.). Por otra parte, parece que la regulación de recursos es mejor en los perfiles complejos (superdotación), que de talento (Sastre-Riba et al., 2016; Munro, 2005, etc.) dejando abierta la cuestión de la posible influencia de otros factores moduladores personales o del entorno.

La comparación entre escolares típicos y con ACI muestra que hay diferencias entre ellos que pueden observarse en la Figura 57.

Figura 57

Network comparativo del funcionamiento ejecutivo y metacognitivo diferencial: a) escolares típicos; (b) escolares con ACI (Tomado de Viana-Sáenz et al., 2021)



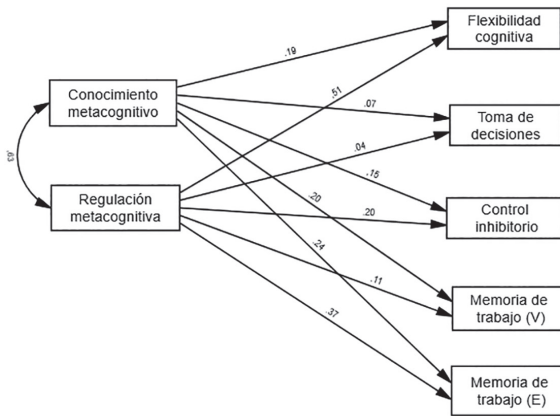
Nota. MC = metacognición: RE = regulación; KN = conciencia; EF = funciones ejecutivas; WM_V = memoria de trabajo verbal; WM_S = memoria de trabajo visuoespacial; FL = flexibilidad; IN = inhibición. EF = función ejecutiva (verde); MC = metacognición (morado).

Como se observa, se obtuvieron *networks* diferenciales entre los grupos de estudio aunque la metacognición fue el factor más determinante en la relación entre los recursos disponibles en ambos grupos. Esto puede deberse a que la reflexión procedimental y declarativa, más que los componentes ejecutivos, podrían orientar mejor sobre los recursos que deberían utilizarse y su aplicación. A grandes rasgos, en el grupo con ACI predominó la

relación entre la flexibilidad ejecutiva y la regulación metacognitiva (procedural), mientras que en el grupo típico destacó la relación entre la conciencia y la inhibición metacognitivas y la memoria de trabajo verbal (declarativo). Por lo tanto, lo más probable es que las redes de regulación diferenciales comporten un funcionamiento intelectual diferente, con algunas conexiones más fuertes que otras. Sería complejo en este ya extenso documento analizar con concreción las relaciones halladas, pero es interesante conocer si existe un modelo de interacción entre los componentes de las funciones ejecutivas y los de la metacognición en la ACI. Los resultados preliminares obtenidos en una reciente investigación todavía en curso se representan en la Figura 58.

Figura 58

Modelo de relación entre funciones ejecutivas y metacognición (Tomado de Sastre-Riba, 2024)



Según se observa, hay un modelo de mediación ajustado entre ambos constructos (y sus componentes) lo cual corrobora el rol integrador y mediador, especialmente de las FE como endofenotipo que modula la expresión de la disponibilidad genética, pudiendo explicar en el caso de la ACI la discrepancia a veces observada entre el alto potencial intelectual y los logros conseguidos.

El modelo estructural obtenido, relaciona con mayor robustez el componente ejecutivo de *Flexibilidad* con el de *Regulación* metacognitiva sugiriendo una integración de componentes de apertura para el cambio resolutivo eficaz,

acompañado de la *Memoria de trabajo* visuo-espacial. Por otro lado, reporta una relación robusta entre el componente ejecutivo de *Memoria de trabajo* (visuo-espacial y verbal) con la *Conciencia metacognitiva*, seguida a distancia de la *Flexibilidad* e *Inhibición* ejecutivas, sugiriendo un proceso más declarativo en el que es relevante el manejo de la información, tanto para la búsqueda de la adecuada como la Inhibición de la no pertinente, acorde a resultados anteriores. Sería interesante contrastarlo entre perfiles de ACI y entre estos y las personas con inteligencia típica.

Por otra parte, se ha estudiado también el modelo de relación entre estos procesos reguladores y otros factores moduladores endógenos como el perfeccionismo (Sastre-Riba, 2024), mostrando que el perfeccionismo influye en el funcionamiento ejecutivo (control de los recursos) y este, a su vez en la metacognición (ejecución de la tarea). Lo interesante es que muestran la interacción de los factores moduladores de la expresión de los altos recursos de la ACI en su co-variación con el potencial neurobiológico y su potencial incidencia positiva o negativa en su expresión, tal como se ha ido postulando previamente.

En suma, el conjunto de evidencias expuestas sugieren la necesidad de comprender esta valiosa manifestación diferencial de la inteligencia humana integrando los estudios genéticos y de neurociencia para conocer mejor, desde el marco conceptual del desarrollo cognitivo, el papel de la regulación del potencial en el funcionamiento y manifestación diferencial en la inteligencia, así como la posible discrepancia entre el alto potencial y el bajo rendimiento, con sus repercusiones en el logro y bienestar personal y social. Con ello se abre el camino hacia avances teórico-aplicados para la mejora de la expresión del alto potencial intelectual poniendo de relevancia las habilidades necesarias para el progreso humano en el S.XXI (Joynes et al., 2019) al que las personas con ACI tienen la responsabilidad de co-liderar, éticamente.

Finalmente, se abre una vía prometedora de transferencia para la educación de las habilidades ejecutivas y metacognitivas, seleccionando las más efectivas y su relación con otras habilidades intelectuales (He et al., 2021). En suma, acorde con Roebbers (2017) son precisas líneas de investigación interdisciplinarias y multi-nivel para comprender mejor la autorregulación desde sus raíces ontogenéticas en un marco diferencial del desarrollo cognitivo y de expresión óptima de recursos, especialmente en la ACI. En suma, sugiere cambios destacados a introducir en la educación hacia la excelencia y eminencia para la transformación del potencial de la ACI en una expresión óptima (Sastre-Riba, 2015), éticamente.

Referencias

- Astle, DE., Johnson, MH., Akarca, D. (2023). Toward computational neuro-constructivism: a framework for developmental systems neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 27(8)726-744. <https://doi.org/10.1016/tics.2023.04009>
- Avery, E. W., Yoo, K., Rosenberg, M. D., Greene, A. S., Gao, S., Na, D. L., ... Chun, M. M. (2020). Distributed patterns of functional connectivity predict working memory performance in novel healthy and memory-impaired individuals. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 32(2), 241–255. doi: 10.1162/jocn_a_01487
- Baillargeon, R. (1995). Physical reasoning in infancy. In MS. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 181–204). The MIT Press.
- Barbey, AK. (2018). Network neuroscience theory of human intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(1), 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.10.001>.
- Beaty RE. (2020). The Creative Brain. *Cerebrum*, 1, 2-20 PMC7075500.
- Binet, A. (1903). Étude expérimentale de l'intelligence. Schleicher Frères & Cie Éditeurs.
- Braddick, O. (2017). Human Development: Faces in the Womb. *Current Biology*, 27. <https://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2017.06.014>
- Bradshaw, J.L. (1997). *Human Evolution. A neuropsychological perspective*. Psychology Press.
- Brancucci, A. (2012). Neural correlates of cognitive ability. *Journal of Neuroscience Research*, 90(7), 1299-1309. <https://doi.org/10.1002/jnr.23045>
- Cabeza, R.; Nyberg, L. y Parl, D. (2005). *Neuroscience of Aging: Linking cognitive and cerebral aging*. Oxford University Press.
- Carroll, S.B. (2003). Genetics and the making of Homo sapiens. *Nature*, 422, 849-857.

- Castelló-Tarrida, A. (2014). Organización del conocimiento y pensamiento creativo. *Educatio siglo XXI: Revista de la Facultad de Educación*, 32(2), 19-40.
- Castro-Alonso JC., Hidalgo AA. and Sweller J. (2024). Biological evolution and human cognition are analogous information processing systems. *Frontiers in Psychology*, 14,1330345. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1330345>
- Cortina, A. y Serra, MA. (Eds) (2016). *Singulares. Ética de las tecnologías emergentes en personas con diversidad funcional*. EUNSA
- DeSilva, J., Fannin, L., Cheney I., Claxton A. Ilie, I., Kittelberger, J., Stibel, J. y Traniello, J. (2023). Human brains *have* shrunk: the questions are *when* and *why*. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 11, 1191274. <https://doi.org/10.3389/fevo.2023.1191274>
- Diamond A. (2020). Executive functions. En, MJ Aminoff, Fr. Boller y Df Swaab (Eds.) *Handbook of Clinical Neurology*. Vol.173 (pp.225-240). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4.
- Diamond, A., Cruttenden, L., y Neiderman, D. (1994). AB with multiple wells: I. Why are multiple wells sometimes easier than two wells? II. Memory or memory + inhibition? *Developmental Psychology*, 30(2), 192–205. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.30.2.192>
- Dietrich, A. (2004). The cognitive neuroscience of creativity. *Psychology Bulletin Review*, 11, 1011-1026.
- Donald, MW: (1993). Origins of the modern mind: Three stages in the evolution of culture and cognition. *Behavioral and Brain Sciences*, 16, 737-791.
- Donovan T, Dunn K, Penman A, Young RJ, Reid VM. (2020). Fetal eye movements in response to a visual stimulus. *Brain Behavior*, 10(8):e01676. doi: 10.1002/brb3.1676.
- Dubois, J.; Benders, M.; Borradori-Tolsa, C.; Cachia, A.; Lazeyras, F.; Ha-Vinh Leuchter, R.; Sizonenko, S.V.; Warfield, S.K.; Mangin, J.F. y Hüppi, P.S. (2008). Primary cortical folding in the human newborn: an early marker of later functional development. *Brain*, 131, 2028-2041.

- Dunst B, Benedek M, Jauk E, Bergner S, Koschutnig K, Sommer M, Ischebeck A, Spinath B, Arendasy M, Bühner M, Freudenthaler H, Neubauer AC. (2014). Neural efficiency as a function of task demands. *Intelligence*, 42(100), 22-30. doi: 10.1016/j.intell.2013.09.005.
- Fan, Q., Eichner, C.; Afzali, M.; Mueller, L.; Taks, Ch., Davids, M., Mahmutovic, M. , Keil, B., Bilgic, B., Setsompop, K., Lee, HH., Tian, Q., Maffei, Ch., Ramos-Llordén, G., Nummenmaa, A., Witzel, Th., Yendiki, A., Qiao Song, Y., Huang, Ch., Lin, ChP,...Huang, SY. (2022). Mapping the human connectome using diffusion MRI at 300 mT/m gradient strength: Methodological advances and scientific impact. *NeuroImage*, 254(1), 118958. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.118958>
- Feilong, M., Guntupalli, JS, Haxby, JV (2021) The neural basis of intelligence in fine-grained cortical topographies. *eLife*, 10:e64058 <https://doi.org/10.7554/eLife.64058>
- Figueiredo-Anomal RF, Brandão DS, Porto SB, de Oliveira SS, de Souza RFL, Fiel JdS, et al. (2020) The role of frontal and parietal cortex in the performance of gifted and average adolescents in a mental rotation task. *PLOS ONE*, 15(5): e0232660. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232660>
- Fleming, LL. y McDermott, TJ. (2024). Cognitive Control and Neural Activity during Human Development: Evidence for Synaptic Pruning. *Journal of Neuroscience*, 44 (26) e0373242024; <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0373-24.2024>
- Friedman, NP. y Miyake, A. (2017). Unity and Diversity of Executive Functions: Individual Differences as a Window on Cognitive Structure. *Cortex*, 86(117), 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.04.023>
- Fries, J. y Pietschnig, J. (2022). An intelligent mind in a healthy body? Predicting health by cognitive ability in a large European sample. *Intelligence*, 93, 101666. <https://doi.org/10.1016/j.intelligence.2022.101666>
- Fukuda, K.; Ichiyangi, K.; Yamada, Y.; Go, G.; Udono, T.; Wada, S.; Maeda, T.; Soejima, H.; Saitou, N.; Ito, T. y Sasaki, H. (2013).

Regional DNA methylation differences between humans and chimpanzees are associated with genetic changes, transcriptional divergence and disease genes. *Journal of Human Genetics*, 58, 446-454.

Fuster, JM. (2014). *Cerebro y libertad. Los cimientos cerebrales de nuestra capacidad de elegir*. Ariel.

Galton, F. (1883/1907/1973). *Inquiries into Human Faculty and its Development*. AMS Press.

Gardenfors, P. (2006). *Como el homo se convirtió en Sapiens*. Espasa.

Gardner, H. (2006). *Multiple intelligences: new horizons*. Basic Books.

Garlick, D. (2002). Understanding the nature of the general factor of intelligence: The role of individual differences in neural plasticity as an explanatory mechanism. *Psychological Review*, 109(1), 116-136. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.109.1.116>

Gazzaniga, MS. (2018). *The Consciousness Instinct: Unraveling the Mystery of How the Brain Makes the Mind*. Farrar, Straus and Giroux.

Gazzaniga, M.S. (2013). *Who's in charge. Free will and the Science of the Brain*. Harper.

Geake JG. (2009). Neuropsychological Characteristics of Academic and Creative Giftedness. En, LV Shavinina (Ed), *International Handbook on Giftedness* (p.261-273). Springer Science-Business Media.

Genser J, Herrmann S, Yuste R. (2024). International human rights protection gaps in the age of neurotechnology. *NeuroRights Foundation*. <https://static1.squarespace.com/static/60e5c0c4c4f37276f4d458cf/t/>

Gratton C, Sun H, Petersen SE. (2018). Control networks and hubs. *Psychophysiology*, 55(3), 10.1111/psyp.13032. <https://doi.org/10.1111/psyp.13032>

Guilford, J.P. (1950). Creativity. *American Psychology*, 5, 444-454.

Guilford, J.P. (1967). *The nature of human intelligence*. McGraw-Hill.

- He, L., Liu, W., Zhuang, K., Jie Meng, Qiu, J. (2021). Executive function-related functional connectomes predict intellectual abilities. *Intelligence*, 85, 101527. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2021.101527>
- Heuvel, MI. y Thomason, ME. (2016). Functional Connectivity of the Human Brain in Utero. *Trends in Cognitive Sciences* 20(12), 931-939. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2016.10.001>
- Innocenti, GM. (2022). Defining neuroplasticity. En, A. Quartarone, MF. Ghilardi y Fr. Boller, *Handbook of Clinical Neurology* (pp. 3-18), Elsevier (vol.84) <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819410-2.00001-1>.
- Jausovec N, Jausovec K. (2004). Differences in induced brain activity during the performance of learning and working-memory tasks related to intelligence. *Brain Cognition*, 54, 65-74.
- Jausovec, N. (2019). The neural code of intelligence: from correlation to causation. *Physics of Life Reviews*, 31, 171-187. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2019.10.005>
- Jernigan, TL., Brown, T., Bartsch, H., Dale, AM. (2016). Toward an integrative science of the developing human mind and brain: Focus on the developing cortex, *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 2-11, <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.07.008>
- Jiang T, Gradus JL, Rosellini AJ. (2020). Supervised Machine Learning: A Brief Primer. *Behavioral Therapy*, 51(5), 675-687. doi: 10.1016/j.beth.2020.05.002.
- Jin SH, Kim SY, Park KH, Lee KJ. (2007). Differences in EEG between gifted and average students: neural complexity and functional cluster analysis. *International Journal of Neuroscience*, 117, 1184-1184.
- Johnson, S.P. (2010). *Neuroconstructivism. The New Science of Cognitive Development*. Oxford University Press.
- Joynes, C., Rossignoli, S., y Fenyiwa Amonoo-Kuofi, E. (2019). *21st Century Skills: Evidence of issues in definition, demand and delivery for development contexts (K4D Helpdesk Report)*. Institute of Development Studies.

- Jung RE, Haier RJ. The Parieto-Frontal Integration Theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence (2007). *Behavioral and Brain Sciences*, 30(2), 135-154. doi:10.1017/S0140525X07001185
- Jung, RE.; Segall, JM.; Bockholt, HJ.; Flores, RA.; Smith, ShM.; Chavez, RS. y Haier, RJ. (2010). Neuroanatomy of Creativity. *Human Brain Mapping*, 31 (3), 396-409. doi: 10.1002/hbm.20874
- Kolk, S. M., y Rakic, P. (2022). Development of Prefrontal Cortex. *Neuropsychopharmacology*, 47, 41-57. <https://doi.org/10.1038/s41386-021-01137-9>
- Kostovic, I., Rados, M., Kostovic, M. y Krsnik, S. (2021). Fundamentals of the Development of Connectivity in the Human Fetal Brain in Late Gestation: From 24 Weeks Gestational Age to Term. *Journal of Neuropathology and Experimental Neurology*, 80(5), 393–414. doi: 10.1093/jnen/nlab024
- Kuhn T, Blades R, Gottlieb L, Knudsen K, Ashdown C, Martin-Harris L, Ghahremani D, Dang BH, Bilder RM, Bookheimer SY. (2021). Neuroanatomical differences in the memory systems of intellectual giftedness and typical development. *Brain and Behavior*, 11(11), e2348. doi: 10.1002/brb3.2348
- Langer, N., Pedroni, A., Gianotti, LRR., Hänggi, H., Knoch, D. y Jäncke, L. (2012). Functional Brain Network Efficiency Predicts Intelligence. *Human Brain Mapping*, 33(6), 1393-1406 . <https://doi.org/10.1002/hbm.21297>
- Laureys, S. (2024). Brain Connectivity: Embracing the Nexus of Mind and Matter. *Brain Connectivity*, 14(5). <https://doi.org/10.1089/brain.2024.0036>
- Lecanuet, JP.; Fifer, WP.; Krasnegor, NA.; Smotherman, W.P. (2013). Part V Fetal Experience: basic studies. En J.P. Lecanuet, W.P. Fifer, N.A. Krasnegor y W.P. Smotherman, *Fetal Development* (pp. 292-294). Psychology Press.
- Lecanuet, JP.; Fifer, WP.; Krasnegor, NA.; Smotherman, WP. (eds.) (1995). *Fetal development. A Psychobiological perspective*. Lawrence Erlbaum.

- Lisbet, B. (2006) Reflections on the interaction of the mind and brain. *Progress in Neurobiology*, 78, 322-326.
- Ma J, Kang, HJ Kim JY, Jeong HS, Jamie Im J, Namgung E, Kim MJ, Lee S, Kim TD, Jin Kyoung Oh, Chung YA, Lyoo IK, Lim SM y Sujung Yoon S. (2017). Network attributes underlying intellectual giftedness in the brain. *Science Reports*, 7, 1-9. doi: 10.1038/s41598-017-11593-3
- Malle, BF. (2021). What the mind is. *Nature Human Behaviour*, 5(10, 2021), 1269-1270.
- Mareschal, D., Johnson, M.H., Sirois, S., Spratling, M., Thomas, M. y Westermann, G. (2007). *Neuroconstructivism, Vol 1: How the brain constructs cognition*. Oxford University Press.
- Marin-Padilla, M. (2011). *The Human Brain: Prenatal Development and Structure*. Springer-Verlag.
- Martín-Loeches, M., Casado, P. y Sel, A. (2018). La evolución del cerebro en el género *Homo*: la neurobiología que nos hace diferentes. *Revista de Neurología*, 46(12), 731-741. doi: 10.33588/rn.4612.2008243
- Martínez-Morga, M. Martínez, SJ., Garrigós, D. y Martínez, S. (2025). Futuro de la inteligencia: cerebro natural, cerebro artificial. *Medicina(Buenos Aires)*, 85(s1), 48-56.
- Martínez-Morga, M. y Martínez, S. (2016). Desarrollo y plasticidad del cerebro. *Medicina(Buenos Aires)*, 62(s1), 3-58.
- Meltzoff, A.N. y Borton, RW. (1979). Intermodal matching by human neonates. *Nature*, 282(5737), 403-404.
- Miller, JA., y Weiner, KS. (2022). Unfolding the evolution of human cognition. *Trends of Cognitive Sciences*, 26(9), 735-737. doi: 10.1016/j.tics.2022.06.008
- Mounoud, P. y Sastre-Riba, S. (2001). El desarrollo cognitivo del bebé: desde los descubrimientos de Piaget hasta las investigaciones actuales. *Contextos Educativos*, 4, 23-77.
- Neisser, U., Boodoo, G., Bouchard Jr., T. J., Boykin, A. W., Brody, N., Ceci, S. J., Halpern, D. F., Loehlin, J. C., Perloff, R., Sternberg, R. J., y

- Urbina, S. (1996). Intelligence: Knowns and Unknowns. *American Psychologist*, 51, 77-101. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.51.2.77>
- Neubauer, AC. y Fink, A. (2009). Intelligence and neural efficiency: Measures of brain activation versus measures of functional connectivity in the brain. *Intelligences*, 37, 223-229. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.10.008>
- Neubauer, S., Hublin, JJ, Gunz, Ph. (2018). The evolution of modern human brain shape. *Science Advances*, 4, eaao5961. <https://doi.org/10.1126/sciadv.aao5961>
- Nusbaum F, Hannoun S, Kocevar G, Stamile C, Fourneret P, Revol O, Sappey-Mariniér D. (2017). Hemispheric Differences in White Matter Microstructure between Two Profiles of Children with High Intelligence Quotient vs. Controls: A Tract-Based Spatial Statistics Study. *Frontiers in Neuroscience*, 3;11, 173. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00173>
- Pastor, E. y Sastre, S. (1994). Desarrollo de la inteligencia. En, V. Bermejo (Ed.) *Desarrollo cognitivo* (p. 191-213). Síntesis.
- Paus T. (2005). Mapping brain maturation and cognitive development during adolescence. *Trends in Cognitive Science*, 9(2), 60-8. doi: 10.1016/j.tics.2004.12.008. PMID: 15668098.
- Perloff, R.; Sternberg, RJ. (1996). Intelligence: Knowns and unknowns. *American Psychologist*, 51, 77–101. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.50.7.505>
- Piechowski, M. (2002). Experiencing in a higher key: Dabrowski's theory of and for the gifted. *Gifted Education Communicator*, 33(1), 28-36.
- Plomin, R. y von Stumm, S. (2018). The New Genetics of Intelligence. *Nature Reviews: Genetics*, 19, 148-159. <https://doi.org/10.1038/nrg.2017.104>
- Plomin, R., DeFries, J. C., Knopik, V. S., y Neiderhiser, J. M. (2016). Top 10 Replicated Findings From Behavioral Genetics. *Perspectives on Psychological Science*, 11(1), 3-23. <https://doi.org/10.1177/1745691615617439>
- Povinelli, D.J. y Vonk, J. (2003), Chimpanzee minds: suspiciously human? *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 157-160.

- Prechtl, HF. Qualitative changes of spontaneous movements in fetus and preterm infant are a marker of neurological dysfunction (1990). *Early Human Development*, 23(3),151-8. doi: 10.1016/0378-3782(90)90011-7
- Rasero, J., Sentis, AI, Yeh, F-Ch y Verstynen, T. (2021). Integrating across neuroimaging modalities boosts prediction accuracy of cognitive ability. *PLOS Computational Biology*, 17(3), e1008347. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1008347>
- Renzulli, JS. (2012). Reexamining the role of gifted education and talent development for the 21st century: A four-part theoretical approach. *Gifted Child Quarterly*, 56(3), 150–159. <https://doi.org/10.1177/0016986212444901>
- Rinaldi, L. y Karmiloff-Smith, A. (2017) Intelligence as a Developing Function: A Neuroconstructivist Approach. *Journal of Intelligence*, 5(2),18. doi: <https://www.mdpi.com/2079-3200/5/2/18>
- Roebbers, C. M. (2017). Executive function and metacognition: Towards a unifying framework of cognitive self-regulation. *Developmental Review*, 45, 31–51. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2017.04.001>
- Rominger, Ch., Papousek, I., Perchtold, CM., Weber, B., Weiss, EM., Fink, A. (2018). The creative brain in the figural domain: Distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration, *Neuropsychologia*, (118), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013>.
- Santander, T., Bekir, S., Paul, Th., Simonson, JM., Wiemer, VM., Skinner, HE., Hopf, JL., Rada, A., Woermann FrG., Kalbhenn, Th., Giesbrecht, B., Bien, ChG., Sporns, O., Gazzaniga, MS., Volz, LJ., Miller, MB. (2025). Full inter-hemispheric integration sustained by a fraction of posterior callosal fibers. *Biorxiv*, doi: <https://doi.org/10.1101/2025.02.14.638327>
- Sastre-Riba, S. (2024). Funcionamiento ejecutivo y metacognición en la alta capacidad intelectual. *Medicina (Buenos Aires)*, 84(s1) 72-78.

- Sastre-Riba, S. (2022). Relación entre Competencia y Rendimiento: Regulación de Recursos en la Alta Capacidad. *Medicina (Buenos Aires)*, 82(S1), 59-63.
- Sastre-Riba, S. (2020). Moduladores de la Expresión de la Alta Capacidad Intelectual. *Medicina(Buenos Aires)*, 80(s2), 53-57.
- Sastre-Riba, S. (2015). Intervención educativa para la expresión de la excelencia cognitiva. *Revista de Neurología*, 60(s1), 87-94; <https://doi.org/10.33588/rn.60S01.2015014>
- Sastre-Riba, S. (2014). *La mente humana: motor de progreso y desarrollo*. Universidad de La Rioja
- Sastre-Riba, S. (2006). Condiciones tempranas del desarrollo y el aprendizaje: el papel de las funciones ejecutivas. *Revista de Neurología*, 42(s2), 143-151.
- Sastre-Riba, S. (2005). Tutoring Adjustment and Infant's Cognitive Gain. In, L.Anolli; S. Duncan; M.S. Magnusson; G. Riva (Eds.). *Hidden Structure of Interaction: From Neurons to Future Patterns* (pp. 196-206). Amsterdam: IOS Press.
- Sastre-Riba, S. y Ortiz, T. (2018). Neurofuncionalidad ejecutiva: estudio comparativo en las altas capacidades. *Revista de Neurología*, 66 (S1), 51-56. doi: 10.33588/rn.66S01.2018026
- Sastre-Riba, S., Ortiz, T., Urraca-Martínez, ML. (forthcoming). Neural Efficiency and High Intellectual Ability. *Gifted Child Quarterly*
- Sastre-Riba S, Viana L. (2016). Funciones ejecutivas y alta capacidad intelectual. *Revista de Neurología*, 62 (S1), 65-71.
- Semendeferi K., Lu A, Schenker N., Damasio H. (2002) Humans and great apes share a large frontal cortex. *Nature Neuroscience*, 5(3), 272-6. doi: 10.1038/nn814. PMID: 11850633.
- Shaw P., Greenstein D., Lerch J., Clasen L., Lenroot R., Gogtay N., et al. (2006). Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature*, 440, 676-679.

- Sherwood CC., Subiaul F., Zawidzki TW. (2008). A natural history of the human mind: tracing evolutionary changes in brain and cognition. *Journal of Anatomy*, 212(4), 426-54. doi: 10.1111/j.1469-7580.2008.00868.x
- Shonkoff JP, Phillips DA, (Eds.) (2020). *National Research Council (US) and Institute of Medicine (US) Committee on Integrating the Science of Early Childhood Development. From Neurons to Neighborhoods: The Science of Early Childhood Development*. National Academies Press (US)
- Shonkoff JP. (2016). Capitalizing on Advances in Science to Reduce the Health Consequences of Early Childhood Adversity. *JAMA Pediatrics*, 1, 170(10), 1003-1007. doi: 10.1001/jamapediatrics.2016.1559.
- Solé-Casals, J., Serra-Grabulosa, JM., Romero-García, R. (...), Bullmore, DT. (2019). Structural brain network of gifted children has a more integrated and versatile topology. *Brain Structure and Function*, 224(5). doi: 10.1007/s00429-019-01914-9
- Spelke, ES. (2022). *What babies know: Core knowledge and composition*. Oxford University Press.
- Sternberg, RJ. (2012). The Triarchic Theory of Successful Intelligence. En Flanagan, D.P.; Harrison, P.L. *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, tests, and issues* (3ª ed.) (pp. 156-177). Guilford Press.
- Sternberg, RJ. (2007). *Wisdom, Intelligence, and Creativity Synthesized*. Cambridge University Press.
- Sternberg, R. J., Renzulli, J. S., y Ambrose, D. (2024). The Field of Giftedness—Past, Present, and Prospects: Insights From Joseph S. Renzulli and Robert J. Sternberg. *Roeper Review*, 46(3), 233–245. <https://doi.org/10.1080/02783193.2024.2357379>
- Sternberg, RJ y Ambrose, D. (Eds.). (2021). *Conceptions of Giftedness and Talent*. Palgrave MacMillan.
- Subotnik, R. F., Olszewski-Kubilius, P., Worrell, F. C., Assouline, S. G., Stoeger, H., y Ziegler, A. (2024). Extending Research on Psychosocial Skills and Appropriate Instruction in Developing Talents. *Journal for the Education of the Gifted*, 47(4), 335-339. <https://doi.org/10.1177/01623532241281566>

- Taine, H.A. (1870). *De l'intelligence*. Hachette.
- Terman, L.M. (1916). *The Measurement of Intelligence*. Houghton Mifflin Company.
- Toga AW, Clark KA, Thompson PM, Shattuck DW, Van Horn JD. (2012). Mapping the human connectome. *Neurosurgery*, 71(1), 1-5. doi: 10.1227/NEU.0b013e318258e9ff
- Torrance, E.P. (1990). *The Torrance Test of creative thinking. Norms-technical manual*. Scholastic Testing Service.
- Viana-Sáenz, L., Sastre-Riba, S., Urraca-Martínez, M.L., y Botella, J. (2020). Measurement of Executive Functioning and High Intellectual Ability in Childhood: A Comparative Meta-Analysis. *Sustainability*, 11, doi:10.3390/su12114796
- Viana-Sáenz, L., Sastre-Riba, S., Urraca-Martínez, ML. (2021). Executive Function and Metacognition: Relations and Measure on High Intellectual Ability and Typical Schoolchildren. *Sustainability*, 13(23), 13083 <https://doi.org/10.3390/su132313083>
- Vogelsang, M., Vogelsang, L., Diamond, S., Sinha, P. (2022). Prenatal auditory experience and its sequelae. *Developmental Science* 26(1). <https://doi.org/10.1111/desc.13278>
- Voorhies, WI., Miller, J.A., Yao, JK., Bunge, S., Weinwe, KS. (2021). Cognitive insights from tertiary sulci in prefrontal cortex. *Nature Communications*, 12, 5122. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25162-w>
- Westermann, G. (2007). *Neuroconstructivism: How the brain constructs cognition. Vol I y II*. Oxford University Press.
- Wynn, K. (1992). Addition and subtraction by human infants. *Nature*, 358(6389), 749-750. <https://doi.org/10.1038/358749a0>
- Yuste R, Cossart R, Yaksi E. (2024). Neuronal ensembles: Building blocks of neural circuits. *Neuron*. 112(6), 875-892. doi: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38262413/>



Contestación del
Excmo. Sr. D. Agustín Dosil Maceira

Respuesta al discurso de ingreso de la Profesora Sylvia Sastre i Riba, en la Academia de Psicología de España
Excmo. Sr. D. Agustín Dosil Maceira

Excmo. Sr. Presidente de la Academia de Psicología de España

Excmas. Académicas y Académicos

Señoras y señores:

Es para mí un motivo de gran satisfacción dar respuesta al discurso de Ingreso en esta Academia, de la Profesora Sylvia Sastre i Riba, catedrática de la Universidad de La Rioja, una extraordinaria persona y una ilustre colega.

Para quienes hemos apoyado su candidatura, los miembros de esta Academia, María Teresa Anguera Arguilaga, Miguel Ángel Verdugo Alonso y para quien les habla, este acto de ingreso constituye la culminación de un proceso iniciado hace dos años.

Permítanme, tener en este momento, un recuerdo muy especial para nuestra compañera y amiga M^a Teresa Anguera, ejemplo de entrega a esta Institución, que nos ha dejado pocos días después de haber presentado y elogiado ante el Pleno de la Academia a quien hoy hace su ingreso, a la Profesora Sylvia Sastre, con la que compartió gran parte de su itinerario universitario.

La Profesora Sylvia Sastre es Licenciada y Doctora en Psicología por la Universidad de Barcelona, especializada en desarrollo cognitivo diferencial. Realizó su tesis doctoral sobre la organización lógica de los bebés típicos y bebés con Síndrome de Down de 1;6 a 2;0 años, bajo la dirección de los doctores Pastor Mallol y Aragón i Mitjans. Se formó en metodología de la observación sistemática con la Dra. M^a Teresa Anguera.

Después de la licenciatura y de unos años de actividad profesional, recibió una intensa formación investigadora y aplicada con el Dr. Antoni Cambrodí, neuropediatra, que, según sus propias palabras, le amplió el campo de interés hacia el desarrollo diferencial temprano, creando y coordinando el Servicio de Psicohabilitación Cognitiva Precoz en Tarragona (1992-2000), en el seno del Instituto Cambrodí, desde dónde conoció y colaboró con figuras destacadas de la Universidad de Ginebra, como la Profesora Sinclair, o con la Profesora Mina Verba, del Centro Nacional de Investigación Científica de Francia. Asimismo, su estancia en el Instituto Cambrodí le

facilitó el camino a la formación en el neuroconstructivismo piagetiano, con el profesor Pierre Mounoud, de la Universidad de Ginebra y otros colaboradores de Piaget como Madelon Saada Robert. Al mismo tiempo, en la Universidad de la Sorbona y en el Laboratorio de Psicología del Desarrollo del niño, realizó importantes colaboraciones. Esta apertura y colaboración con otras universidades le llevó, igualmente, a importantes trabajos con el profesor Magnus Magnusson, de la Universidad de Reykjavik, autor del programa *Thème* para la extracción estadística de patrones de conducta, que aplicará en la investigación sobre la organización de la acción de los bebés llegando a formalizarla con la creación de la red internacional MASI (Methodology of Social Interaction).

Esta línea de investigación sobre el **desarrollo diferencial temprano** y su formación en el neuroconstructivismo neopiagetiano explica y justifica la brillante exposición del tema elegido para su discurso de ingreso, y que acabamos de escuchar.

En él se reflejan las preocupaciones que han guiado desde el inicio su trayectoria académica e investigadora, y que se concretan en una pregunta *¿Cómo emerge la mente humana a partir de un cerebro en desarrollo, en un contexto social?*

Su enfoque tiene en cuenta las aportaciones clásicas, como las de Piaget, Waddington o Vygostky, pero va más allá partiendo de un marco interdisciplinar y neuroconstructivista, que integra los avances actuales en las investigaciones y resultados de disciplinas como la psicología, la neurociencia o la genética en torno al conocimiento y explicación de cómo se ha configurado el cerebro humano a lo largo de la filogénesis de la especie, y el cambio ontogenético individual, haciendo posible la emergencia de competencias que nos humanizan, propias de nuestra especie.

De acuerdo con lo dicho, el discurso afronta, en primer lugar, la diferenciación integrada del concepto de cerebro (base física), mente (funcionamiento cerebral) y resultado (conducta intelectual), necesariamente vinculados; de manera que destaca un concepto de inteligencia humana distinto al tradicional, en el que se enfatiza su multidimensionalidad y desarrollo acorde a los cambios y transformaciones del órgano que la posibilita (el cerebro humano) y su funcionamiento a lo largo de toda la vida, organizado por una epigénesis probabilística que individualiza su expresión.

Desde estas explicaciones previas, se abordan las grandes transformaciones diferenciadoras del cerebro humano y sus consecuencias funcionales en la aparición de las competencias cognitivas que nos humanizan (la conciencia, el funcionamiento ejecutivo, el lenguaje, planificación, representación mental o la cultura).

Se hace una breve descripción del encéfalo humano y su ontogénesis desde el neuroconstructivismo y la epigénesis probabilística explicativa de su curso armónico o disarmónico, diferencial e individualizado.

Se ofrece, también, un recorrido a través de la primera emergencia de la actividad cognitiva y funcionamiento regulador del Sistema Nervioso Central durante el período fetal, las competencias base de los neonatos que -más allá de los postulados piagetianos- explican cómo se redefinen y emergen funciones y conocimientos más complejos.

Finaliza su exposición abordando una de las manifestaciones diferenciales de la inteligencia humana: la **Alta Capacidad Intelectual**.

Con ello, entroncamos de lleno en la segunda gran área de docencia e investigación de la Profesora Sylvia Sastre.

En efecto, en 1985 establece contacto con el Dr. Càndido Genovard y el Dr. Antoni Castelló Tarrida (UAB) que vienen trabajando en la Alta Capacidad Intelectual, iniciando una larga trayectoria de colaboración con el Dr. A. Castelló que ha supuesto la participación conjunta en proyectos de investigación de I+D+i nacionales, artículos y libros de impacto internacional, conferencias internacionales y co-dirección de másteres oficiales.

Al incorporarse a la Universidad de La Rioja como Catedrática de Psicología Evolutiva y de la Educación (1999), siguió desarrollando ambas líneas de investigación, creando y liderando el grupo de investigación de Excelencia EICUR (Equipo de Investigación Cognitiva en la Universidad de La Rioja), colaborando con la Dra. M^a Luisa Poch y la Consejería de Salud del Gobierno de La Rioja (1999-2008) en los proyectos de investigación sobre desarrollo temprano diferencial, y con el Dr. Castelló y la Consejería de Educación del Gobierno de La Rioja (2008-2022) para la investigación en Alta Capacidad Intelectual, creando y coordinando el Programa de Enriquecimiento Extracurricular (2008-2023) para jóvenes con Alta Capacidad.

Investigación y transferencia

Desde sus inicios, la trayectoria seguida refleja, como acabamos de ver, una interrelación investigación y práctica aplicada derivada, con dos líneas de investigación vinculadas con el Desarrollo cognitivo diferencial:

- Con bebés 0-3 años, y con
- Escolares con Alta Capacidad Intelectual.

En estas líneas de investigación desarrolla la doctora Sastre i Riba una amplia y fructífera actividad:

Ha sido Investigadora Principal de proyectos nacionales de excelencia y de transferencia (Programa de Pruebas de Concepto), de proyectos autonómicos I+D+i (del Gobierno de La Rioja y de la Generalitat de Catalunya), y ha colaborado en proyectos internacionales del Ministerio de Educación francés con la Dra. Mina Verba y la profesora Haydée Marcos, así como con el profesor Olivier Houdé.

Participa en Redes de colaboración internacional (como coordinadora de su Universidad):

- la red MASI (Metodología de la Interacción Social) con participación de universidades europeas y americanas;
- la GIEI (Educación Inclusiva) con participación de universidades europeas y latinoamericanas;
- la REINEVA (Alta Capacidad Intelectual) con universidades europeas y latinoamericanas;
- y también colaboraciones con la Universidad de Rostock de Alemania, con el College William and Mary de USA, y con el Centro ÖZBF de Austria.

Asimismo, ha liderado convenios firmados con diversas instituciones:

Con la Consejería de Salud y con la Consejería de Educación del Gobierno de La Rioja para el estudio epidemiológico de los recién nacidos y para la formación de profesionales y la atención a escolares con Alta Capacidad

Intelectual; con la Región de Murcia, País Vasco y Aragón, principalmente para la divulgación del programa de Enriquecimiento extracurricular para escolares con Alta Capacidad Intelectual.

Todas estas actividades investigadoras y de transferencia han cristalizado en más de 100 Artículos científicos de impacto internacional; en 18 libros y Capítulos de libro nacionales e internacionales en editoriales de prestigio; en la dirección de 12 tesis doctorales sobre los temas de investigación señalados, algunas con mención internacional y premio extraordinario, que se han visto reconocidos con cinco sexenios de investigación y transferencia.

Además de otros convenios que supusieron la elaboración de programas de formación de posgrado, ha de destacarse su condición de fundadora y presidenta de la *Asociación Científica para el estudio y desarrollo de la Alta Capacidad (APIDACI)*, y su condición de miembro cofundadora de la *Sociedad Española para el Estudio de la Superdotación (SEES)*.

Ha sido invitada a pronunciar conferencias en congresos internacionales de prestigio y ha mantenido estancias internacionales, en Austria, USA, Alemania, Francia, etc.

Gestión universitaria y actividad institucional

Su compromiso institucional le llevó a asumir cargos de responsabilidad en su universidad, habiendo sido:

- Vicerrectora de relaciones internacionales e institucionales (del 2008 al 2012).
- Directora del Departamento de Ciencias Humanas y Sociales (2001-2006).
- Directora del Departamento de *Ciencias de la Educación* que ella promovió (2006-2008 y 2015-2019).
- Promotora de la gestión de titulaciones universitarias de grado, posgrado y doctorado.
- Miembro del Consejo de Gobierno y del Claustro de su Universidad, participando en diversas Comisiones, como el Comité de Dirección de Doctorado (vigente), Comisión de investigación, Comisión de Ética.

- Miembro de la Junta Directiva de la *Asociación Científica de Psicología y Educación (ACIPE)* (2012-vigente).
- Presidenta del *IX Congreso Internacional de Psicología y Educación* (2018). ACIPE, y Presidenta del *II Congreso Internacional GIEI* (2016).
- Organizadora de más de 10 cursos de Verano y Cursos de especialización en la UR sobre ACI y Neurodesarrollo Temprano.

Asimismo, ha de destacarse su colaboración continua con Agencias de Evaluación:

- a) ANECA: Acreditación del profesorado (Comités PEP y ACADEMIA); Coordinadora de Psicología en convocatorias de Becas FPU y Movilidad de Posgrado (Salvador Madariaga y Juan Castillejo);
- b) Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Panelista para la Evaluación de Proyectos de I+D+i “Generación del Conocimiento (p.e. Convocatoria 2024).
- c) AQU: Presidenta de Comités de Evaluación de títulos universitarios de Grado, Posgrado, Doctorado y de Acreditación Institucional.
- d) Así como la colaboración con otras agencias de calidad.

Asimismo, y como si esto fuera poco, todavía le queda tiempo para escribir de forma regular, desde 2003, una columna titulada “Desde el Mirador” en el Diario de La Rioja.

Por todas estas razones, hoy celebramos con júbilo el ingreso de la Profesora Sylvia Sastre i Riba en nuestra Academia. Su itinerario curricular tiene una dimensión de excelencia en el campo de la docencia y de la investigación, y un convencido compromiso institucional con la Psicología. Sin duda alguna, su ingreso contribuirá a mejorar nuestra Academia.

En nombre de todos los compañeros académicos, sea bienvenida.



www.academiapsicologia.es