

Modelos de Organización Cerebral: Un Recorrido Neuropsicológico

Brain Organization Models: A Neuropsychological Journey

Micaela Silva-Barragán¹, Carlos Ramos-Galarza^{1,2}

Resumen

Desde siempre ha existido un interés por comprender cómo funciona el cerebro humano su relación con el comportamiento y cognición. Un acercamiento que busca solucionar esta intriga radica en la propuesta de modelos de organización cerebral que tratan de explicar cómo es el trabajo de la masa encefálica. En tal sentido, en este artículo se propone una revisión teórica de los principales modelos. Jackson propone una teoría en donde se consideran tres niveles de estructura cerebral: nivel inferior o medular, nivel medio y nivel superior. McLean postula la existencia de tres cerebros: reptil, paloemamífero/límbico y neocórtex. El modelo de Wernicke-Geschwind manifiesta la interacción de la estructuras del lenguaje en favor del funcionamiento cerebral. El modelo de organización cerebral de Luria resalta el rol interactivo de tres unidades funcionales: primera, encargada de regular el tono y vigilia; segunda, recibe, procesa y almacena la información; y la tercera, planifica, monitoriza y verifica la actividad mental y comportamental. Esta revisión deja en evidencia la alta complejidad inmersa en el trabajo del cerebro humano. Se cierra este artículo resaltando la necesidad de realizar investigación que pueda generar evidencia empírica en favor de la comprensión de la eficacia de cada uno de los modelos descritos en este trabajo.

Palabras clave: modelos de organización cerebral, neuropsicología, Jackson, MacLean, Luria.

Abstract

There has always been an interest in understanding how the human brain functions in relation to behavior and cognition. An approach that seeks to solve this intrigue lies in the proposal of models of brain organization that try to explain how the work of the brain mass is. In this sense, this article proposes a theoretical review of the main models. Jackson proposes a theory where three levels of brain structure are considered: lower or medullary level, middle level, and higher level. McLean postulates the existence of three brains: reptile, paloemamiferous / limbic and neocortex. The Wernicke-Geschwind model manifests the interaction of language structures in favor of brain function. Luria's model of brain organization highlights the interactive role of three functional units: first, in charge of regulating tone and wakefulness; second, it receives, processes and stores the information; and the third, plans, monitors and verifies mental and behavioral activity. This review highlights the high complexity involved in the work of the human brain. This article closes highlighting the need to carry out research that can generate empirical evidence in favor of understanding the efficacy of each of the models described in this work.

Keywords: brain organization models, neuropsychology, Jackson, MacLean, Luria.

Rev. Ecuat. Neurol. Vol. 29, N° 3, 2020

Introducción

A lo largo de la historia, las habilidades mentales y su comprensión en relación con su estructura cerebral, han sido un tema de central interés para el ser humano. Grandes personajes, desde Hipócrates hasta Luria, han intentado entender cómo está organizado nuestro cerebro y qué sucede en este órgano para que podamos hablar, caminar, sentir, llorar, pensar, en fin, todo lo que somos ca-

paces de hacer los humanos! Un intento para desentrañar los enigmas detrás de este noble interés, ha surgido desde las propuestas teóricas de los modelos de organización cerebral, que buscan brindar una visión sistematizada de las funciones cerebrales y las reglas bajo las cuales trabajan. Esto último permite dar cuenta del desenvolvimiento del cerebro sano, como del que ha sufrido algún tipo de daño o enfermedad.

¹Facultad de Psicología, Carrera de Psicología Clínica, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito-Ecuador.

²Centro de Investigación en Mecatrónica y Sistemas Interactivos MIST, Carrera de Psicología, Universidad Indoamérica. Quito-Ecuador.

Correspondencia:

Carlos Ramos-Galarza, PhD. Profesor titular principal de las cátedras de Neuropsicología y Psicofisiología de la Facultad de Psicología, Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
Av. 12 de Octubre y Roca.
E-mail: caramos@puce.edu.ec

Ante dicho contexto, en este artículo se brinda una revisión de la literatura sobre los cuatro modelos más heurísticos para comprender la organización cerebral: los jerarquizados de John Hughlings Jackson y Paul D. MacLean, con alrededor de 100 años de diferencia entre la propuesta de cada uno de ellos; el creado por Wernicke-Geschwind que busca explicar el funcionamiento cerebral en base a los postulados del lenguaje; y finalmente, el modelo de interacción funcional compleja del notable padre de la neuropsicología Alexander Luria, donde las funciones trabajan en paralelo.^{2,3}

Modelo de Jackson

¿Quién fue John Hughlings Jackson?

John Hughlings Jackson es considerado el fundador de la Neurología moderna. Nació en Londres en 1835, rodeado de cambios significativos: ferrocarriles, el nacimiento de la prensa, las grandes construcciones de hierro, etc. Sus aportes más importantes fueron en el campo de la epilepsia y las alteraciones del lenguaje, pero también se destaca su triple enfoque del diagnóstico neurológico: patología (tejido lesionado), anatomía (órgano comprometido) y fisiología (función afectada) de la enfermedad. Recibió influencias de las ideas evolucionistas, especialmente, de la teoría evolucionista del filósofo Herbert Spencer, misma que aplicó a la neurología.⁴ Un dato interesante de este autor es que todas sus conclusiones las basó en la simple observación de pacientes, pues consideraba a las enfermedades neurológicas como “experimentos naturales” que podían ser estudiadas para generar conocimiento, siempre y cuando tengamos un muy buen ojo clínico.²

¿En qué consiste su modelo de organización cerebral?

Jackson, junto a otros autores, dejó de lado el localizacionismo estricto alrededor de 1870 y empezó a ver el sistema nervioso central como un sistema estratificado donde cada parte está articulada y diferenciada. Este sistema estaría organizado en tres niveles de creciente complejidad.^{5,6}

- Nivel inferior o medular, localizado en estructuras medulares y bulbares, con funciones vegetativas y actos reflejos.
- Nivel medio, comprendido por el tronco cerebral, núcleos basales (cerebro medio), con funciones de tipo motor.
- Nivel superior, comprendido por la corteza cerebral. Aquí se encuentran las funciones sensoriales, procesamiento de información, voluntad, pensamiento, entre otras.

En este sentido, los niveles inferiores van quedando subordinados a los más recientes y así sucesivamente. Es decir, si es que gracias a la evolución el cerebro desarrolla un nuevo nivel, este se convertirá en el director de

orquesta. Por ahora, la corteza cerebral constituye la formación evolutivamente más nueva y superior, que asume y/o dirige la función de los dos niveles inferiores y más filogenéticamente antiguos,⁷ a modo de reproducción del proceso evolutivo del sistema nervioso central (trabaja de la misma manera en la que evolucionó). Cabe recalcar que, para Jackson, las funciones afectivas e instintivas pertenecen a las organizaciones menores.⁶

Este modelo permitió a Jackson tener una concepción del daño cerebral revolucionaria para su época, veamos a continuación en qué consistía.

¿Qué sucede cuando hay daño cerebral?

Jackson, luego de observar varios pacientes afectados por daño cerebral adquirido atendidos en el London Hospital, llegó a las siguientes conclusiones. Tras una lesión, se provoca la “disolución” de funciones, donde el nivel superior, más susceptible, será el primero en resultar afectado y los otros niveles quedarán “a cargo.” Por tanto, un sujeto que presenta un daño cerebral del nivel superior funcionará posteriormente desde su nivel medio (un poco más cercano a un mamífero que a un ser humano). De igual manera, cuando sufre un daño en el nivel medio tendrá una supervivencia desde su nivel inferior, con funciones neurovegetativas básicas.²

Al mismo tiempo, el daño puede causar distintos síntomas dependiendo, si es superficial o profundo.² Los primeros se dan cuando se han perdido las funciones de un nivel específico, por ejemplo: el sujeto puede bailar, pero sus movimientos son torpes, ya que he perdido motricidad por una lesión en el nivel medio. En cambio, los síntomas profundos consisten en una alteración de funciones porque la unidad superior que las controlaba está muy afectada. En el mismo sentido del ejemplo anterior, pero con una sintomatología profunda: no podría bailar porque el control del tono muscular está alterado y los movimientos resultan muy rígidos o muy laxos.

Este primer modelo de organización cerebral permitió contar con una nueva visión del funcionamiento cerebral a nivel de la relación entre las diversas estructuras que lo conforman y MacLean, otro de los autores célebres en el desarrollo de la neurociencia, se fundamenta en los postulados de Jackson y alrededor de 1980 y desarrolla una nueva teoría denominada como modelo del “cerebro triuno.”

Modelo de MacLean

¿Quién fue Paul D. MacLean?

Fue un destacado médico y neurocientífico del siglo XX. Nació en 1913 y murió en 2007. Sus principales contribuciones científicas giran alrededor del sistema límbico y la creación de un nuevo modelo cerebral: el cerebro triuno o triúnico. Sus ideas fueron muy influyentes en disciplinas como la biología evolutiva, neuroetología, neurociencia clínica, neurología, psiquiatría, psicología

y en las ciencias sociales. Para 1952, definió y amplió la idea que se tenía del sistema límbico, basándose en lo que Paul Broca descubrió en 1878: el “lóbulo límbico,” una estructura presente en el cerebro mamífero. Cabe recalcar que tenía una perspectiva histórico-evolutiva, misma que lo llevaba a comparar entre distintas especies evolutivamente diferentes. Por ejemplo, estudió los efectos del daño cerebral en el comportamiento típico de lagartos y monos ardilla, también estudió el rol de la corteza límbica y el comportamiento maternal en hámsters.⁸

Producto de la investigación realizada, MacLean desarrolló su modelo de organización cerebral. Este consta de tres formaciones que representan los niveles de desarrollo evolutivo del cerebro. El autor los llama los tres cerebros y se organizan desde el más antiguo al más reciente (fig. 1), son los siguientes: el cerebro reptil o Complejo R, ubicado en la parte central del tronco; el cerebro paleomamífero o sistema límbico; y el cerebro neo mamífero o neocórtex.⁶ A continuación se profundiza en cada uno de ellos.

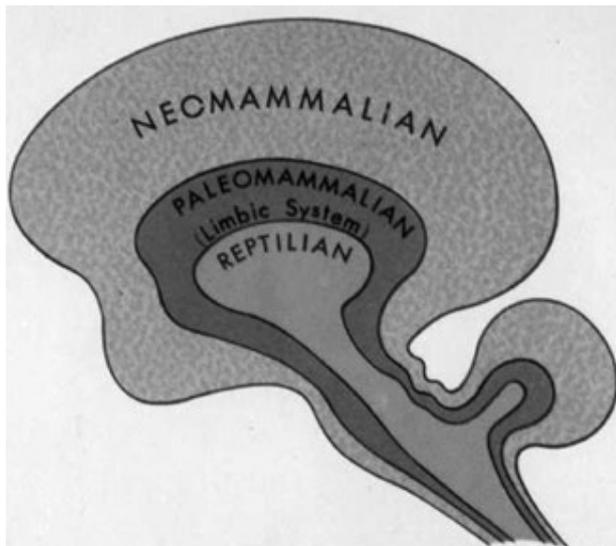


Figura 1. Modelo del Cerebro Triuno
Fuente: Newman y Harris⁸

Cerebro reptil, protorreptiliano o Complejo R

Anatómicamente, el cerebro reptiliano comprende los ganglios basales: cuerpo estriado, putamen, globo pálido y núcleo caudado. También abarca el tronco cerebral y la médula espinal.⁹ Es el más antiguo y se cree que surgió junto al desarrollo evolutivo de los reptiles hace 250 millones de años. La red neuronal aquí comprendida se encarga de asegurar nuestra supervivencia: controla los latidos cardíacos, respiración, deglución y reflejos de retirada. No olvidemos que esto sucede sin que tengamos conciencia de ello, son procesos totalmente automáticos y correspondientes a nuestro sistema nervioso autónomo. MacLean recalca que, cuando existen estresores, el cerebro reptil se activa y produce cortisol: la famosa hormona del estrés.¹⁰

Cerebro paleomamífero o sistema límbico

En los animales, el sistema límbico se encarga de un conjunto de conductas que representan el paso evolutivo de reptiles a mamíferos: conducta maternal, comunicación audio-vocal para mantener cerca al progenitor (apego) y comportamiento de juego. En lo que respecta al ser humano, gracias a los estudios de la epilepsia, se ha demostrado que este sistema está relacionado con la experiencia subjetiva de la emoción. Se llegó a esta conclusión al observar que, en el aura de una descarga límbica, los pacientes experimentaron un amplio espectro de emociones vívidas, desde miedo intenso hasta el éxtasis. Algo aún más interesante es que el cerebro mamífero puede estar involucrado en los sentimientos de convicción asociados a nuestras creencias y lo que asumimos como real, verdadero e importante. Por último, es necesario para mantener el sentido de identidad personal, memorizar y conjugar la experiencia interna y externa de lo que vivimos en el momento.⁹

Esta zona del cerebro comprende las siguientes estructuras interconectadas entre sí (fig. 2): septum, amígdala, hipotálamo, complejo hipocámpico y giro cingulado.¹⁰

SISTEMA LÍMBICO

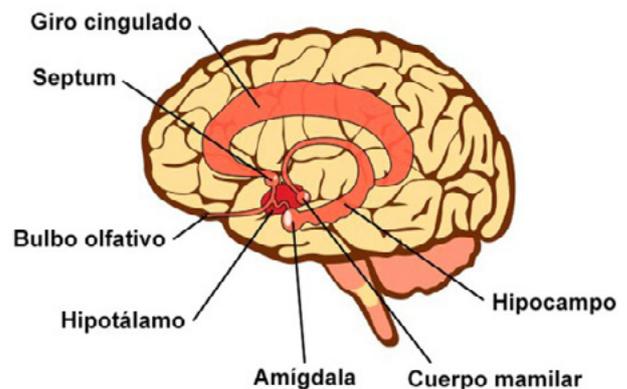


Figura 2. Estructuras del sistema límbico
Fuente: Muñoz¹¹

El cerebro neomamífero o neocórtex

Esta es la estructura cerebral más evolucionada, y MacLean⁹ lo considera el cerebro de la lectura, escritura y cálculo. Comprende la corteza cerebral y, junto con los sistemas sensoriales, nos ayuda a diferenciar y discriminar lo que sucede en el medio que nos rodea. Aquí se encuentra nuestra capacidad de resolver problemas, aprender y procesar información, por ello es llamado el cerebro racional. Dentro del neocórtex se encuentra la corteza prefrontal, una estructura que ha tenido una gran expansión en el ser humano. Está involucrada en la identificación con otros seres humanos (empatía), la anticipación y la planificación. Además, es la única zona que recibe fuertes proyecciones directas desde el sistema límbico.

bico, por eso vale plantear una pregunta, que valga la aclaración, todavía no ha sido resuelta: ¿Acaso nuestro cerebro, evolutiva y biológicamente hablando, está intentando conjugar razón y emoción?

Modelo de Wernicke-Geschwind

El modelo que ahora nos concierne es especial. A diferencia de los demás modelos explicados en la presente revisión, este no explica el funcionamiento de todas las funciones cerebrales, sino de una en específico: el lenguaje. En este sentido, lo que se busca es determinar las interacciones que tienen lugar entre múltiples regiones cerebrales para que nuestro cerebro comprenda el lenguaje y lo produzca, sea de forma verbal o escrita.^{12,13} Además, es de autoría compartida entre Wernicke y Geschwind. A continuación, se presenta el recorrido científico detrás de este modelo, considerando los distintos aportes de cada uno de los autores involucrados.

Este modelo vio la luz en el siglo XIX, época donde la observación y las autopsias constituían el método para estudiar el cerebro. Para quienes estamos involucrados en el mundo neuropsicológico, nos sonará el nombre de Paul Broca (1824-1880) y su paciente “Tan” (Louis Victor Leborgne). Este médico, luego de realizar la respectiva autopsia, encontró una relación entre una afasia motora (de la articulación) y lesiones en la zona media del lóbulo frontal izquierdo, región conocida hoy como “área de Broca.” Poco tiempo después, Wernicke determinó que los déficits en la comprensión del lenguaje estaban asociados a daños en la parte posterior del giro temporal superior del hemisferio dominante, generalmente el izquierdo.¹²

Wernicke ya explicó de manera elemental como se produce el lenguaje, es decir, presentó un modelo preliminar.¹³ Luego, en las primeras décadas de 1920, el doctor Lichtheim explicó la afasia de conducción, donde el problema estaba en la conexión entre las áreas de Broca y Wernicke, en una estructura conocida hoy como fascículo arqueado. De igual manera, Lichtheim presentó un modelo neuroanatómico del procesamiento del lenguaje, incluyendo al giro angular. Por último, el neurólogo Norman Geschwind (1925-1984) revivió este modelo y agregó las funciones sensoriales de las áreas primarias y asociativas y el córtex motor. Es decir, el procesamiento visual, auditivo y motor. Es por ello que el modelo es conocido como de Wernicke-Geschwind, pero sería más ecuánime llamarlo de Broca-Wernicke-Lichtheim-Geschwind.¹²

Entonces, ¿qué es lo que sucede en el cerebro cuando hacemos uso del lenguaje? Para responder esta pregunta, empezamos explicando la modalidad verbal del lenguaje. Cuando se está platicando con alguien, el sonido de las palabras entra por los oídos y viaja a través de las vías auditivas hasta llegar a la zona auditiva primaria, ubicada en el lóbulo temporal. Luego, llega al área de Wernicke para procesar el significado de las palabras; la entonación

y emocionalidad son percibidas en áreas paralelas del hemisferio derecho. Para replicar el discurso, los significados extraídos de Wernicke pasan por el fascículo arqueado, llegan al área de Broca. Esta última crea los morfemas y, una vez organizados, la orden de hablar es enviada al córtex motor¹² (fig. 3).

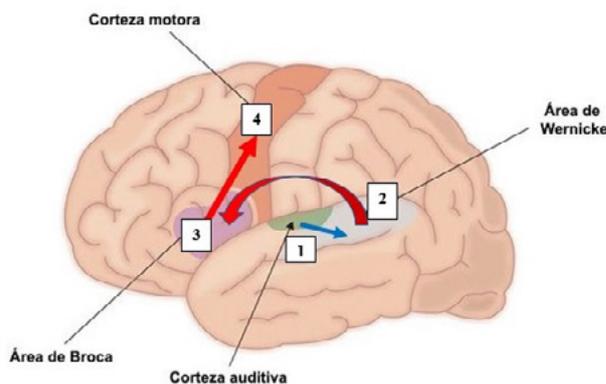


Figura 3. Comprensión y producción verbal del lenguaje
Fuente: Adaptado según el modelo de Wernicke-Geschwind

En lo que refiere a la lectura, las proyecciones provenientes de la retina viajan por el nervio óptico hasta llegar al núcleo geniculado lateral del tálamo. Posteriormente, alcanzan el córtex visual primario, en el lóbulo occipital. El hemisferio izquierdo es quien reconoce que se trata de un grafema visual. Este primer análisis es enviado por la vía parvocelular hacia el giro angular. Aquí, el análisis multimodal tiene lugar: Wernicke aporta los significados auditivos y sonido asociados de aquellos símbolos escritos en el papel. Para poder escribir, la información parte de Wernicke, llega a Broca, quien organiza los movimientos necesarios. Esta secuencia se dirige hacia una vía más dorsal de Broca: la zona motora de Exner, especializada en el movimiento de las manos¹³ (fig. 4).

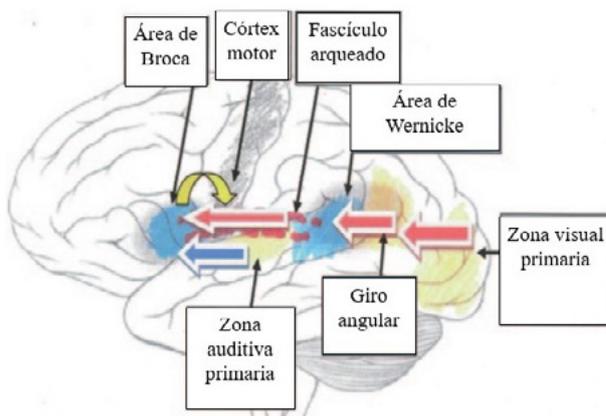


Figura 4. Lectura y escritura según el modelo de Wernicke-Geschwind
Fuente: Harrison¹³

Cabe recalcar que este modelo está simplificado y en realidad hay muchas áreas cerebrales que se han omitido, pues la comunicación es una función cerebral bastante compleja. A pesar de que ha sido catalogado como inespecífico y ahora se lo ve como anticuado, es considerado un modelo clásico para el entendimiento de los síndromes afásicos.¹²

Hasta este punto se ha profundizado en los modelos de organización cerebral más antiguos, a continuación, en el siguiente apartado, se entra de lleno en el modelo de entendimiento cerebral que más influencia tiene actualmente: las tres unidades funcionales de Alexander Luria.

Modelo de Sistemas Funcionales Complejos propuesto por Alexander Luria

¿Quién fue Alexander Luria?

Fue uno de los neuropsicólogos que más impacto ha generado en la comprensión del funcionamiento cerebral, pues su campo de investigación fue muy amplio y brindó importantes conocimientos relacionados a la neuropsicología, psicología cognitiva, el lenguaje, los mecanismos cerebrales que subyacen la actividad humana, las funciones ejecutivas, el síndrome frontal y la rehabilitación neuropsicológica después del daño cerebral.

Nació en Rusia en 1902 y murió en 1977. A la corta edad de 22 años, conoció a Lev Vygotski, quien se convertiría en su mentor. Juntos, resaltaron la importancia de las experiencias sociales en el desarrollo de habilidades cognitivas y la función del lenguaje como regulador de la conducta. Su trabajo fue muy heterogéneo, pasando por la psicología evolutiva, neuropsicología y por investigaciones clínicas como experimentales.¹⁴

En su juventud y crecimiento profesional Luria experimentó con diversos saberes que buscaban comprender el comportamiento humano y es así como mantuvo correspondencia con Sigmund Freud e incluso escribió, junto con Vygotski, el prólogo de la versión rusa de *Más allá del principio del placer*, escrito por Freud en 1920. Hasta 1929, Luria fue miembro de la Asociación Psicoanalítica de Moscú, tiempo durante el cual brindó conferencias y realizó investigaciones psicoanalíticas, no obstante, después de este tiempo inmerso en esta escuela psicológica, se dio el estallido de la segunda guerra mundial y Luria fue designado para el diagnóstico y tratamiento de pacientes con daño cerebral adquirido, experiencia que le permitió desarrollar un saber científico con gran sapiencia al momento de entender la relación entre el comportamiento y el funcionamiento cerebral: la neuropsicología.^{15,16}

¿En qué consiste su modelo de organización cerebral?

Uno de los aportes más importantes de Luria consiste en su modelo de organización cerebral. Este autor superó con creces al localizacionismo de las funciones cerebrales, pues según su teoría, cada función debe ser entendida como producto de un *sistema funcional complejo*, mismo

que se caracteriza por ser holista y dinámico. Es decir, la función no pertenece a un área del cerebro en específico, sino que comprende varias estructuras y conexiones trabajando en conjunto; y a su vez, una misma área estaría implicada en varias funciones.⁵

En este sentido, Luria¹⁷ propone que el cerebro humano comprende tres unidades funcionales que trabajan en conjunto: una para el tono y vigilia; la segunda para recibir, procesar y almacenar la información; y la última para programar, regular y verificar la actividad mental. Antes de verlas detalladamente, cabe recalcar que cada unidad está organizada jerárquicamente y posee tres zonas corticales:

- *área primaria (de proyección)*: está en contacto con la periferia, envía y recibe estímulos,
- *área secundaria (de proyección-asociación)*: procesa información y prepara programas,
- *área terciaria (de superposición)*: integra varias áreas y da como resultado procesos complejos.

La primera unidad funcional para regular tono y vigilia y estados mentales

En lo que refiere a la vigilia, esta es indispensable para el curso normal de los procesos mentales humanos. Mientras dormimos, es imposible recibir y analizar información, programar la actividad mental, corregir sus errores y mantenerla durante el tiempo necesario; sin esta unidad un individuo no lograría activar su cerebro y se quedaría dormido en medio de una actividad, incluso, poniendo en juego su vida, por tal razón, es imprescindible mantener un estado óptimo de vigilancia. Por otro lado, el tono cortical, es el grado adecuado de excitación cerebral necesario para realizar las diferentes actividades que enfrente a diario el ser humano. Si se pudiera observar la actividad cortical del cerebro, su actividad se observaría como un punto de luz recorriendo las distintas zonas de la corteza según la actividad, organizada y dirigida a una meta, que estemos realizando.¹⁷

Las estructuras cerebrales involucradas en esta unidad corresponden al sistema reticular activador ascendente, que activa zonas desde el tálamo, núcleo caudado, archicórtex, hasta llegar al neocórtex (fig. 5). Su contraparte, el sistema reticular descendente, actúa en sentido contrario, disminuyendo la actividad cortical para realizar acciones en las cuales es necesario un movimiento más calmado. Ambos forman un poderoso mecanismo que regula la vigilia y tono cortical según la actividad que se esté llevando a cabo, aumentando y disminuyendo la actividad cerebral, dependiendo la actividad que realiza el individuo.¹⁷ Por ejemplo, se podría visualizar la activación cortical del sistema activador reticular ascendente en el tono cortical de un individuo cuando se encuentra practicando una lucha de artes marciales; en cambio, el sistema reticular descendente, disminuirá la actividad cortical en un individuo que debe realizar ejercicios de relajación.

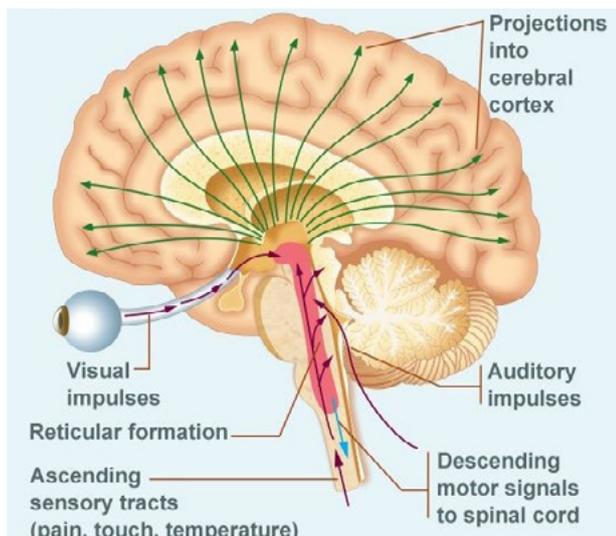


Figura 5. Esquema representativo del Sistema Activador Reticular Ascendente (SARA)
Fuente: Pinterest¹⁸

La primera unidad funcional compone un mecanismo que actúa conforme a tres fuentes de estimulación: (a) procesos metabólicos (cambios químicos en la actividad neuronal, por ejemplo, el consumo de glucosa hará que los astrocitos tomen esta sustancia de los capilares sanguíneos que irrigan al tallo cerebral y los insertará en las neuronas que trabajan en el sistema activador, aumentan así el tono y vigilia del individuo), (b) influencia de estímulos externos (como son los estímulos sonoros fuertes que activan al bulbo raquídeo y protuberancia, aumentando así el nivel de tono y vigilia cerebral, de igual manera, los sonidos relajantes y lentos, producirán que el sistema reticular descendente, disminuye la actividad cortical del individuo) y (c) los planes o intenciones que tenga la persona (relacionado directamente con la motivación del individuo para lograr objetivos personales, que hacen que aumente o disminuya la actividad cortical, dependiendo la tarea que deba resolver).^{19,20}

El daño o lesión de la primera unidad funcional se manifiesta de las siguientes maneras: agudo descenso del tono cortical, estado de sueño alterado que aparece en el electroencefalograma e, incluso, si el daño es extenso el sujeto llegará a un estado vegetativo persistente.

Ley de la fuerza y estado fásico en la primera unidad funcional

El funcionamiento de esta primera unidad está regido por la *ley de la fuerza y el estado fásico*. La *Ley de la Fuerza* determina que todo estímulo fuerte provocará una respuesta fuerte y todo estímulo débil provocará una respuesta débil. Esta ley se cumple mientras estamos despiertos, no obstante, cuando el individuo duerme este estado de funcionamiento neuronal se modifica, ya que ahí se produce lo que Luria^{21,22} llamó *estado fásico*, un funcionamiento eléctrico cerebral que se presenta en tres modalidades:

- Fase igualizante, donde los estímulos débiles provocan una respuesta como si se presentara un estímulo fuerte.
- Fase paradójica, cuando la respuesta es más fuerte a la provocada por un estímulo fuerte.
- Fase ultraparadójica, cuando la respuesta fuerte sigue presentándose, a pesar de que el estímulo haya desaparecido.

La segunda unidad funcional para recibir, analizar y almacenar información

Esta unidad tiene un funcionamiento mucho más complejo que la primera, donde todo era de cierta manera gradual. Aquí podemos localizar funciones y actividades propiamente humanas, como leer, escribir o calcular. Las estructuras cerebrales involucradas comprenden las regiones laterales del neocórtex y la superficie convexa de los hemisferios, abarca las zonas posteriores, asociadas a los sistemas visual, auditivo, vestibular y sensorial en general (fig. 6).

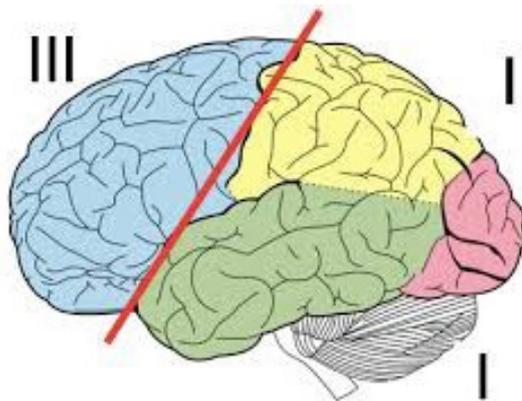


Figura 6. Gráfico de las áreas cerebrales correspondientes a cada unidad funcional de la teoría de Luria
Fuente: Adaptado en base a la teoría de Luria¹⁹

El papel de la segunda unidad del cerebro tiene que ver con el procesamiento cerebral de la información que se capta a nivel periférico por los mecanismos sensoriales de la visión, audición, gusto, tacto y olfato. La organización de los estímulos captados permitirá al individuo generar un aprendizaje y una adecuada interacción con el medio.

A nivel visual, los estímulos son captados por el órgano sensorial periférico que es el ojo, una vez que el estímulo pasa a nivel cerebral, el nervio óptico por medio del quiasma óptico lleva la información visual a los dos hemisferios. Al llegar al tálamo, en su núcleo geniculado lateral, esta estructura proyectará el estímulo al lóbulo occipital y en los niveles primario, secundario y terciario en donde se procesa esta información. Finalmente, la información visual se proyectará a nivel espacial en la vía magnocelular y en la identificación de los estímulos, la vía parvocelular.²⁰

A nivel del procesamiento auditivo, la información sonora es captada por el órgano periférico por el oído, a nivel del tímpano, los huesecillos, que pasarán la vibración hacia la cóclea y en su interior, las células ciliadas captarán las frecuencias del estímulo sonoro y generarán los potenciales de acción para enviar la información al bulbo raquídeo. Una vez en este nivel, la información auditiva se proyectará hacia el tálamo, en el núcleo geniculado medial, y se proyectará hacia el lóbulo temporal. A este nivel se procesará el estímulo auditivo y las regiones anteriores y posteriores del cinturón determinarán el lugar donde se ubica el estímulo auditivo e interpretar qué lo produce.²⁰

A nivel gustativo, en las papilas ubicadas en la superficie de la lengua se captan los diferentes estímulos de sabores, los cuales generan potenciales de acción en axones aferentes que llevan la información mediante los pares craneales facial, glossofaríngeo y vago al núcleo de la vía solitaria (en el bulbo raquídeo), de donde se proyectará a la amígdala, hipotálamo y al núcleo postero-medial ventral del tálamo, para de ahí, proyectarse a la corteza somatosensitiva de procesamiento de esta información sensorial.²⁰

A nivel somatosensitivo o táctil, la información es captada por los receptores cutáneos que detectan el cambio dérmico mediante la temperatura o cambios en la estructura de la piel. Esta recepción activará dendritas receptoras de neuronas sensitivas generan potenciales de acción, llevando la información a través de las columnas dorsales hacia el bulbo raquídeo, luego llegará al núcleo posteriores ventrales del tálamo, para finalmente llevar la información hasta la corteza somatosensitiva primaria, en donde existirá una representación cerebral completa para todo el cuerpo.²⁰

En cuanto al procesamiento del olor, el epitelio olfatorio será la primera estructura que receptorá este tipo de estímulo, posteriormente pasará a la placa cribiforme para proyectar la información a través de las vías olfatorias y continuará el proceso olfativo a los bulbos olfatorios en la base del encéfalo. Los axones de esta vía olfatoria accederán al cerebro de manera directa hasta la amígdala y a la corteza piriforme y entorrinal del sistema límbico. De este nivel la información se proyectará a zonas cerebrales similares al gusto y al hipotálamo.²⁰

Como se ha podido identificar, la segunda unidad funcional de Luria, recibe la información visual, auditiva, táctil, gusto y olfato para organizarla a nivel de cada sub-sistema cerebral que la procesará en alto nivel, hasta llegar al punto en el cual, la zona de integración cerebral (zona POT: interacción sensorial de la información de los lóbulos occipital, parietal y temporal), permitiendo al ser humano funciones grandiosas como el leer, escribir, calcular y otras habilidades mentales superiores.²³

Zonas primarias secundarias y terciarias de la segunda unidad funcional

En cada uno de los lóbulos cerebrales que reciben, procesan y almacenan la información, poseen tres zonas en donde se da al análisis del estímulo que recibe el cerebro. En la zona primaria se recibe el estímulo sensorial y en esta estructura el estímulo llega de manera aislada. A nivel del córtex occipital el área 17, en el lóbulo temporal el giro transversal de Heschl, en el lóbulo parietal el área 3.²⁴

A nivel de las zonas secundarias de cada lóbulo cerebral ya se integran los estímulos. A nivel occipital las zonas 18 y 19, en el lóbulo parietal las áreas 1, 3, 5 y parte de la 40 y en el lóbulo temporal las áreas 21 y 22.²⁴

En las zonas terciarias el cerebro, no solo que ha integrado el estímulo, sino que ya genera un significado sobre el mismo. A nivel del lóbulo parietal se incluyen las áreas 5, 7, 39 y 40, en el lóbulo temporal el área 21 y en el lóbulo occipital las áreas 37 y 39.²⁴ En la figura 7 se presentan las áreas de Brodmann descritas previamente.

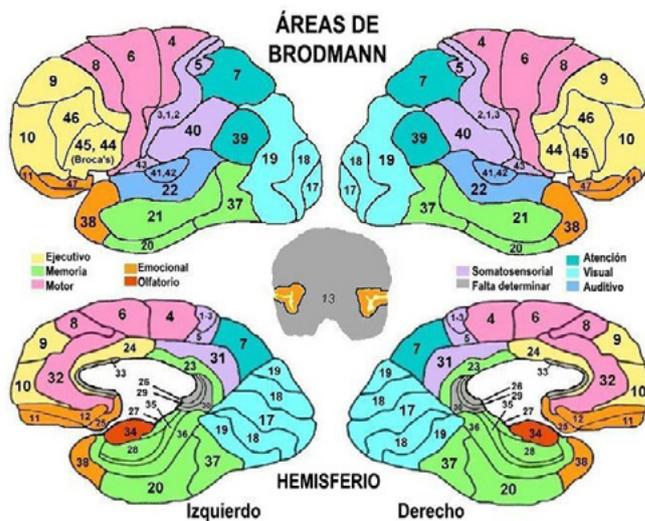


Figura 7. Áreas de Brodmann
Fuente: Guerri²⁵

Leyes implicadas en la segunda unidad funcional

Existen tres leyes que determinan el funcionamiento cerebral: (a) ley de la estructura jerárquica de las zonas corticales, que determina que el procesamiento de la información que trabaja el cerebro van desde lo simple a lo complejo y en base al desarrollo ontológico del ser humano, (b) ley de la especificidad decreciente de las zonas corticales jerárquicamente organizadas, que implica que a medida que el estímulo es procesado se vuelca más multimodal e integrador y (c) ley de lateralización progresiva de las funciones, que afirma que cada una de las habilidades mentales tendrán una predominancia en un determinado hemisferio.^{19,21}

La tercera unidad funcional para programar, regular y verificar la actividad comportamental y mental

Las dos unidades funcionales descritas previamente se encargan del trabajo de estructuras cerebrales posteriores (segunda unidad: lóbulos occipital, parietal y temporal) y subcorticales (primera unidad cerebral: sistema activador reticular ascendente y descendente). En cambio, la tercera unidad funcional engloba el trabajo del lóbulo frontal, la estructura más desarrollada del sistema nervioso.³

Esta tercera unidad se encargará de procesos complejos como la planificación, regulación y verificación de la actividad mental y comportamental. El rol de esta tercera unidad funcional basada en el trabajo de los lóbulos frontales y específicamente de la corteza prefrontal se lo ha identificado en sujetos que han sufrido un daño cerebral adquirido de esta corteza, en quienes se manifieste una clínica de desorganización y desinhibición de su comportamiento y comisión.²⁰

Esta tercera unidad funcional del cerebro no es pasiva, sino que reacciona de manera dinámica ante los desafíos de la vida, desarrollando planes y programas de comportamiento, monitoriza su realización y regula su actividad para que sea concordante con los planes desarrollados. Esta habilidad característica de un sujeto con un cerebro conservado no es evidente en sujetos con daño frontal, ya que en estos casos existe una construcción de castillos en el aire y poca o nula orientación de la conducta para lograrlos, sino que, existe una propuesta irreal y desproporcionada de planes, en donde se deja sin terminar o en muchos casos, sin siquiera empezarlos, tal como le sucedió al célebre Phineas Gage luego de su daño cerebral.²⁶

A nivel de la estructura del sistema frontal que funge como canal de salida de esta tercera unidad funcional es el córtex motor, lugar en el cual se encuentran las células piramidales de Betz, que permiten al ser humano la ejecución de conductas en base a la planeación que emerge desde la corteza prefrontal.²²

Al igual que en la segunda unidad funcional, en esta tercera existen tres niveles de procesamiento cerebral, en la zona primaria todavía no se establecen los planes conscientes, mientras que, en la zona secundaria ya existe una actuación consciente y en la zona terciaria se establecerán procesos ejecutivos de alta complejidad como lo es la verificación de la actividad cognitiva y comportamental.¹⁹

Ya a nivel de la corteza prefrontal, la zona anterior al córtex motor carece de células piramidales, sino que, a este nivel existirán neuronas multipolares que permitirán la conexión y funcionamiento de las habilidades mentales más desarrolladas y conocidas en el contexto neuropsicológico como funciones ejecutivas (memoria de trabajo, planificación, control inhibitorio, iniciativa, regulación emocional, planificación, organización y flexibilidad cognitiva).²⁷

La tercera unidad funcional se conecta con el resto de las estructuras cerebrales para lograr una regulación cons-

ciente de sus diversas funciones. Una de estas conexiones se presenta entre el control de la tercera y primera unidad funcional, que permite identificar una función ejecutiva descrita como control de la motivación, acto y arousal, que permite al individuo regular su tono cortical dependiendo a sus planes y proyecciones futuras, habilidad mental que en un individuo con daño frontal se ve afectada.²⁸ De igual manera, la tercera unidad funcional se conectará con el resto de las estructuras del cerebro, permitiendo así un control deliberado del comportamiento y cognición (fig. 8).

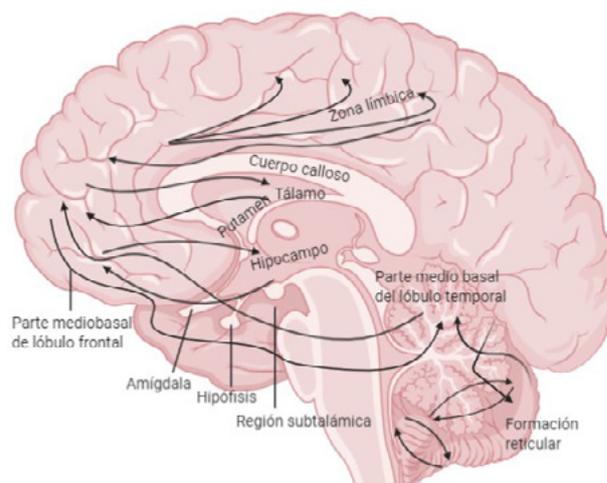


Figura 8. Conexión del lóbulo frontal con el resto de las estructuras cerebrales.
Fuente: Adaptado de Luria²²

Otro aspecto clave para comprender el control de la tercera unidad funcional sobre el resto de los procesos cognitivos, radica en el rol del lenguaje como mecanismo de dirección mental, ya que al conectar esta unidad con el sistema del lenguaje existirá una dirección consciente de la acción que ejecute el individuo. En gran medida, esta habilidad mental se desarrolla como un comportamiento gobernado por reglas, que direccionan la forma de comportarse de un individuo y que, al igual que las habilidades ejecutivas previas, al estar debilitado en un ser humano, como en el daño frontal, perderá la habilidad para actuar de manera regulada y su comportamiento se caracterizará por ser automático y desinhibido.²⁹

Conclusiones

En el presente artículo se ha realizado una revisión teórica acerca de los modelos de organización cerebral, que a nuestro juicio son los más heurísticos al momento de comprender el funcionamiento cerebral. Hemos partido en Jackson hasta llegar a la dinámica de Luria. Se ha compilado la información más pertinente tanto de los modelos como de sus autores, ya que siempre es importante comprender al modelo desde el momento histórico en el que surge. Además, se ha puesto especial énfasis en el

Modelo de Sistemas Funcionales Complejos de Luria, debido a la vigencia y riqueza teórica del mismo. Este modelo destaca en la Neuropsicología gracias a que, desde sus leyes y comprensión dinámica, nos permite explicar cualquier proceso mental y no se limita a situar anatómicamente las distintas funciones cerebrales.

En este sentido, el escrito aquí presentado se convierte en un aporte quienes están inmersos en el mundo neuropsicológico, permitiendo encontrar un resumen rico de cada modelo. Cabe recalcar que, durante la revisión bibliográfica, no se encontraron artículos que cumplan con el mismo propósito. En general, existe un número limitado de publicaciones acerca de modelos de organización cerebral, por lo tanto, este aporte contribuirá de manera significativa en el diálogo y construcción teórica de la neuropsicología.

Como pudo observarse a lo largo de este trabajo, el ojo clínico de Jackson le permitió comprender el funcionamiento cerebral en términos de un sistema estratificado que comprende un nivel inferior para las funciones vegetativas, uno medio para la función motora y, por último, un nivel superior para el procesamiento sensorial de la información y voluntad de acción. Aproximadamente 70 años después, MacLean retoma la idea de niveles y organiza las estructuras cerebrales según su desarrollo evolutivo; así, determina la existencia de “tres cerebros”: reptil, para las funciones básicas de supervivencia; mamífero, para la conducta maternal y el procesamiento emocional; y neocórtex para funciones superiores del comportamiento humano.

De igual manera, se recalcó el modelo de Wernicke-Geschwind, crucial para entender la interacción que se produce entre las áreas de Broca y Wernicke para la comprensión y producción del lenguaje. Por último, se cerró la revisión brindando un protagonismo a Luria y su comprensión interactiva de las tres unidades funcionales complejas y sus leyes: la primera como reguladora del tono, vigilia y estados mentales; la segunda para el procesamiento sensorial de la información; y la tercera unidad dedicada a programar, regular y verificar lo que se realiza a nivel mental y comportamental.

Finalmente, se debe considerar esta revisión como un aporte pedagógico dentro del estudio del funcionamiento cerebral, puesto que en la búsqueda de aportes teóricos sobre modelos que expliquen su dinámica, no se encontró gran variedad de artículos al respecto, por tanto, este trabajo se convierte en un medio válido, para continuar con la línea de investigación de modelos neuropsicológicos de la organización cerebral.

Como investigación futura, es de interés para este equipo, continuar en la sistematización de conocimientos teóricos sobre el funcionamiento cerebral. Además, realizar investigaciones de revisión sistemática sobre el impacto del daño cerebral en las funciones neuropsicológicas, se convierte en otro tema interesante para abordarlo en futuras contribuciones.

Referencias

1. Ramos-Galarza, C., Ramos, V., Jadán-Guerrero, J., Lepe-Martínez, N., Paredes-Núñez, L., Gómez-García, A., & Bolaños-Pasquel, M. Conceptos Fundamentales en la Teoría Neuropsicológica. *Revista Ecuatoriana de Neurología*. 2017; 26(1), 1–8. Disponible en: <http://revecuatneurol.com/wp-content/uploads/2017/09/Conceptos-Fundamentales-Teoría-Neuropsicológica.-Fundamental-Concepts-Neuropsychological-Theory.pdf>
2. Ferry, G. El cerebro igualitario. *Revista Ciencias*. 1987; 50–51. Disponible en: <https://www.revista-ciencias.unam.mx/es/153-revistas/revista-ciencias-10/1317-el-cerebro-igualitario.html>
3. Ramos-Galarza, C., Benavides-Endara, P., Bolaños-Pasquel, M., Fonseca-Bautista, S., & Ramos, D. Scale Of Clinical Observation To Valuate The Third Functional Unit. *Revista Ecuatoriana de Neurología*. 2019; 28(2), 83-91.
4. Covo, P. John Hughlings Jackson, un científico victoriano. *Acta Neurológica Colombiana*. 2006; 1(1), 257–260. <http://dx.doi.org/10.22379/issn.2422-4022>
5. Portellano, J. *Introducción a la Neuropsicología*. Madrid: Mc Graw Hill. 2005.
6. Portellano, J. (2014). *Neuropsicología de la atención, las funciones ejecutivas y la memoria*. Editorial Síntesis; 2014.
7. Azcoaga, J., Derman, B., & Frutos, W. La concepción jacksoniana de los niveles. En *Alteraciones del lenguaje en el niño* (pp. 255–257). Biblioteca Adina Rosario; 1973
8. Newman, J. D., & Harris, J. C. The Scientific Contributions of Paul D. MacLean (1913–2007). *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 2009; 197(1), 3–5. doi:10.1097/nmd.0b013e31818ec5d9
9. MacLean, P. D. Triune Brain. En *Comparative Neuroscience and Neurobiology*. 1988; 126–128. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6776-3_51
10. Rice, J. S. The neurobiology of people-plant relationships: An evolutionary brain inquiry. *Acta Horticulturae*. 2012; 954, 21–28. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.954.2>
11. Muñoz, S. [Internet]. El Sistema Límbico y su relación con la memoria y las emociones. [Actualizado 2020, consultado 25 de marzo de 2020]. Disponible en <https://www.psicoadictiva.com/blog/sistema-limbico-anatomia-memoria-emociones/>
12. Nasios, G., Dardiotis, E., & Messinis, L. From Broca and Wernicke to the Neuromodulation Era: Insights of Brain Language Networks for Neurorehabilitation. *Hindawi: Behavioural Neurology*. 2019; 1-10. <https://doi.org/10.1155/2019/9894571>
13. Harrison, D. *Brain Asymmetry and Neural Systems: Foundations in Clinical Neuroscience and*

- Neuropsychology . Springer: Virginia; 2015. DOI 10.1007/978-3-319-13069-9
14. Walusinski, O., Boller, F., & Henderson, V. W. Shining a Light on Some of the Most Famous 19th and 20th Century's Neuropsychologists. *Frontiers of Neurology and Neuroscience*. 2019; 44, 192–199. <https://doi.org/10.1159/000494964>
 15. Delahanty G. (2013). Psicoanálisis y neuropsicología. *Inicios de un encuentro. Clínica e Investigación Relacional*. 2013; 7(3), pp. 602-619. Disponible en www.ceir.org.es
 16. Herrera-Dávila, A. Psicoanálisis y neurociencias: neuro-psicoanálisis. *Revista Neuronum*. 2019; 5(1), 129–139.
 17. Luria, A. *El cerebro en acción*. (M. Torres, trad.). Editorial Fontanella; 1974.
 18. Pinterest. [Internet]. Reticular activating system diagram. [Actualizado 2020, consultado 23 de abril de 2020]. Disponible en <https://www.pinterest.at/pin/219691288049756249/>
 19. Luria, A. *The working brain*. New York: Basic Books; 1973.
 20. Carlson, N. *Fisiología de la conducta*, undécima edición. Madrid: Pearson Educación; 2014.
 21. Luria, A. *Higher Cortical Functions in Man*. New York: Basic Books; 1980.
 22. Luria, A. *Language and Cognition*. New York: John Wiley & Sons; 1982.
 23. Kreutzer, J., DeLuca, J., & Caplan, B. *Encyclopedia of Clinical Neuropsychology*. Second Edition. Cham, Switzerland: Springer; 2018.
 24. Watanabe, M. *The Prefrontal Cortex as an Executive, Emotional, and Social Brain*. Japan: Springer; 2017.
 25. Guerri, M. [Internet]. Las áreas de Brodmann, localización y función. [Actualizado 2020, consultado 1 de mayo de 2020]. Disponible en <https://www.psiccoactiva.com/blog/las-areas-brodmann-localizacion-funcion/>
 26. Damasio, A. *El error de Descartes*. Santiago de Chile: Editorial Andrés Bello; 1994.
 27. Ramos-Galarza, C., Bolaños-Pasquel, M., García-Gómez, A., Martínez-Suárez, P., & Jadán-Guerrero, J. La escala EFECO para valorar funciones ejecutivas en formato de auto-reporte. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación – e Avaliação Psicológica*. 2018; 50(5), 1-28. doi.org/10.21865/RIDEP50.1.07.
 28. Barkley, R. Behavioral Inhibition, Sustained Attention, and Executive Functions: Constructing a Unifying Theory of ADHD. *Psychological Bulletin*. 1997; 121 (1), 65-94.
 29. Ramos-Galarza, C. El pensamiento moral después del daño cerebral adquirido. *Revista Ecuatoriana de Neurología*. 2018; 27(2), 63-69.