

CAPÍTULO 12.

CONTEXTO, ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL Y PROCESOS COGNITIVOS

Diego Alejandro Calle Sandoval

<https://orcid.org/0000-0002-4917-5819>

diegoa.calle@unilibre.edu.co

Universidad Libre. Cali, Colombia

Alba L. García Fajardo

<https://orcid.org/0000-0003-1917-2091>

albalucerogarcia@yahoo.es

Universidad Icesi. Cali, Colombia

Andrés Gildardo Vanegas Yela

<https://orcid.org/0000-0002-4722-6328>

andres.vanegas@correounivalle.edu.co

Instituto Colombiano de Bienestar
Familiar.

(ICBF). Bogotá, Colombia

Álvaro Alexander Ocampo

<https://orcid.org/0000-0003-4526-1397>

alvaro.ocampo02@usc.edu.co

Universidad del Valle. Cali, Colombia

Cita este capítulo:

Calle-Sandoval DA., García-Fajardo AL., Vanegas-Yela AG. y Ocampo AA. Contexto enriquecimiento ambiental y procesos cognitivos. En: Ocampo AA. (ed. científico). Neurociencia, mente e innovación. Una aproximación desde el desarrollo, el aprendizaje y la cognición creativa. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2020. p. 309-328.

CONTEXTO, ENRIQUECIMIENTO AMBIENTAL Y PROCESOS COGNITIVOS

Diego A. Calle - Julián A. Messa - Andrés G. Vanegas - Álvaro A. Ocampo.

RESUMEN

Aunque el cerebro es el principal órgano encargado de la cognición humana, se sabe que éste no está constituido (o formado) de antemano, sino que requiere de aspectos como la organización conferida por la información genética, la experiencia y la maduración. Como no está equipado completamente al momento de nacer, y sus conexiones no son únicas e inamovibles, el desarrollo nervioso no es estático. En este sentido, el cerebro se consolida a partir de las diversas interacciones entre las estructuras neuronales, aspectos genéticos, epigenéticos y ambientales. Esta dinámica, guardadas las proporciones, eventualmente influye en los procesos de migración, agrupamiento, crecimiento y mielinización. Dado que el contexto ejerce un gran impacto sobre la ontogenia humana al favorecer, consolidar, reorganizar o desactivar sinapsis, cabe preguntarse cuáles serían los efectos de la experiencia no sólo en el desarrollo inicial, sino en la vejez, y cómo los ambientes o lugares específicos en los que se encuentran inmersos los adultos mayores pueden fomentar el mantenimiento y posterior reorganización de los circuitos neuronales. En esta revisión se presentarán los posibles beneficios que pueden traer consigo los ambientes enriquecidos y cómo la constante estimulación fomenta la reserva cognitiva, permitiendo una mejor funcionalidad al servir como “barrera protectora” frente a diversas enfermedades neurodegenerativas.

INTRODUCCIÓN

El envejecimiento trae consigo cambios cognitivos relacionados con la memoria, el lenguaje, la percepción, y la atención. Esto quiere decir que el envejecimiento no sólo implica cambios biológicos, es decir, cambios

relacionados con tejidos y órganos, sino también, con una serie de modificaciones a nivel físico, psicológico y social, que involucran al sistema nervioso y al organismo en general (Ardila y Roselli, 2007). Aunque está claro que cuando se llega a la vejez algunas funciones cambian e incluso otras se “pierden”, no se puede negar que la experiencia con el ambiente en ocasiones puede consolidar o preservar funciones con las cuales aún se cuenta. El presente documento aborda el estudio de los ambientes enriquecidos, la plasticidad cerebral y la senectud, con el objetivo de exponer de manera general diversos aspectos teóricos, experimentales y clínicos que vinculan estos tres conceptos fundamentales para la comprensión de este momento del ciclo vital. Además, se discuten los efectos que podría traer consigo un escenario de interacción altamente estimulante, considerando la reorganización cerebral durante el proceso de envejecimiento. Para tales fines, se abordan los conceptos de *Reserva Cognitiva* y *Reserva Cerebral* y se discute su relación con el proceso de optimización de diversas redes neuronales intactas en la vejez. Finalmente, se discute acerca de cómo los Ambientes Enriquecidos han tenido efectos benéficos en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas y desórdenes psiquiátricos en modelos animales; comentando su papel en aspectos funcionales y estructurales del sistema nervioso.

LA PLASTICIDAD NEURONAL COMO RESPUESTA A LA INFLUENCIA AMBIENTAL

Aunque el primero en presentar el concepto de plasticidad en las neurociencias fue William James en *The Principles of Psychology* al hablar de la susceptibilidad del comportamiento humano para modificarse (Pascual-Leone et al., 2005); es a partir de los descubrimientos de Santiago Ramón y Cajal que se ha podido ampliar el conocimiento de la estructura histológica del sistema nervioso y de los procesos que subyacen a la plasticidad neuronal, posibilitando así, avances en la profundización de los procesos psicológicos complejos. La obra de Cajal está compuesta por diversos planteamientos; no obstante, en este documento se asume el concepto de *Regeneración Cerebral* como elemento clave para comprender las ideas expuestas. Este autor postuló la existencia de mecanismos regeneradores, los cuales estarían relacionados con el mantenimiento de las estructuras ya establecidas del Sistema Nervioso. De igual forma, dicho mecanismo se involucra con los ajustes necesarios en la morfología para la apertura y adquisición de nuevas

funciones o habilidades en la medida que van desarrollándose. Haciendo uso de diseños experimentales, Cajal y sus colaboradores demostraron que cuando se seccionaban diversos nervios periféricos y centrales tenía lugar una regeneración en ambos sistemas (Sánchez et al., 2002). Así, es posible plantear que Ramón y Cajal sentó las bases para los estudios sobre la neuroplasticidad, dejando un legado que implicaría una mayor profundización en las investigaciones y descubrimientos en neurociencias, habiendo considerado de manera general el origen del término “neuroplasticidad”. En este punto, es importante hacer referencia a los desarrollos conceptuales sobre este término y su relación con el ambiente.

Aunque las relaciones entre el ambiente y los procesos de plasticidad cerebral se han abordado en estudios pioneros, y parecieran lógicas desde una aproximación apriorística, fue solo hasta hace poco que se empezaron a evidenciar estas interrelaciones bidireccionales. Las primeras investigaciones realizadas para conocer las implicaciones de la experiencia sobre el desarrollo cerebral, se centraron en el efecto de la privación visual temprana y el estudio de la exposición a ambientes ricos en estímulos. En este sentido, se encontró que las ratas privadas de estímulos visuales tenían menos espinas dendríticas en contraste con aquellas que eran criadas en grupo y en ambientes complejos (Pinel, 2011). Siguiendo este orden de ideas, y gracias a estos estudios pioneros, las interrelaciones entre experiencia y desarrollo cerebral empezaron a ser consideradas por muchos como la base fundamental del aprendizaje y de la memoria. Uno de los principales supuestos que apoyaron esta afirmación fueron los postulados de Hebb, quien afirmó que la activación simultánea de la membrana presináptica y de la membrana postsináptica asociada podría potenciar a esa sinapsis, dando como resultado un cambio en la actividad del circuito en el que se implicaba dicho contacto sináptico (Álvarez-Buylla y Lois, 2006). Debido a la hipótesis de Hebb sobre la facilitación de la transmisión sináptica, posteriormente se demostró que tiene lugar una facilitación de dicha transmisión después de aplicarse a las neuronas pre-sinápticas estimulación eléctrica de alta frecuencia (Bliss y Lømo, 1973). Este fenómeno denominado *potenciación a largo plazo* (PLP), se basa en las dos propiedades postuladas por Hebb. En primer lugar, la PLP puede prolongarse durante mucho tiempo (semanas) después de múltiples estimulaciones. En segundo lugar, la PLP se produce solamente si al disparo de la neurona pre-sináptica le sigue el disparo de la neurona post-sináptica. Indubitablemente, no se produce cuando la neurona pre-sináptica dispara y la post-sináptica no. Del mismo modo, no se produce PLP cuando la neurona pre-sináptica no se dispara y la post-

sináptica tampoco. Actualmente, se puede considerar que la coexistencia de disparo de las células pre-sinápticas y post-sinápticas es el factor primordial en la PLP y el supuesto de que la coexistencia es un requisito fisiológico para que ocurra el aprendizaje y la memoria, suele conocerse como *postulado de Hebb para el aprendizaje* (Lomo, 2003; Pinel, 2011).

Así mismo, Konorski plantea que la aplicación de un estímulo no solo produce una facilitación sináptica, sino que produce también dos tipos de cambios en el sistema nervioso. El primer cambio está relacionado con la célula, la cual experimenta una reacción como producto de las alteraciones por la excitabilidad, mientras que el segundo implica un cambio funcional permanente (gracias a una estimulación adecuada). Éste fenómeno dará origen a transformaciones funcionales y a ciertas alteraciones plásticas (Konorski, 1948).

Por otro lado, Kandel afirma que hoy en día hay pruebas considerables sobre la plasticidad en la química sináptica. Para corroborar lo mencionado anteriormente explica lo siguiente:

[...] Las sinapsis químicas a menudo poseen una notable capacidad de modificación fisiológica a corto plazo (de horas de duración) que aumentan o disminuyen la eficacia de la sinapsis. Las variaciones a largo plazo (de días de duración) pueden dar lugar a ulteriores modificaciones fisiológicas que inducen alteraciones anatómicas, como la poda de conexiones preexistentes, e incluso el crecimiento de nuevas conexiones (Kandel et al., 2013, p. 37).

De acuerdo con lo anterior, las alteraciones funcionales ocurren por lo general a corto plazo y afectan fundamentalmente la eficacia de las conexiones sinápticas que están consolidadas. Por su parte, las alteraciones anatómicas fundamentalmente implican el crecimiento de nuevas conexiones en la sinapsis entre neuronas, las cuales tienen una cualidad a largo plazo. Se entiende entonces a la *neuroplasticidad* como la habilidad del sistema nervioso para cambiar, por medio de señales procesadas a través de la actividad y los cambios ambientales (Mikolajewska y Mokolajewski, 2012). En otras palabras, tal como afirma Pascual-Leone, la plasticidad es una propiedad intrínseca del cerebro humano, que le da la posibilidad de escaparse de los propios límites de su genoma, permitiéndole al sistema nervioso adaptarse a los cambios físicos y ambientales como producto de la experiencia (Pascual-Leone et al., 2005).

EFFECTOS DE LOS AMBIENTES ENRIQUECIDOS EN LA ESTRUCTURA CEREBRAL Y LAS FUNCIONES COGNITIVAS

Aunque actualmente se conoce que los ambientes enriquecidos con frecuencia modulan la neurogénesis hipocampal y el comportamiento, resultando en un incremento de nuevas neuronas y en un mejoramiento en las sinapsis hipocampales (Clemenson et al., 2015), no hay un acuerdo general para describirlos ya que las investigaciones sobre ambientes enriquecidos (por sus siglas en inglés EE, Environmental Enrichment) se han centrado principalmente en el estudio de animales. El término EE es usado frecuentemente para describir una manipulación directa en el ambiente de familias de roedores. A menudo se caracteriza por juguetes, túneles y estos están provistos de estimulación sensorial, física y social (Clemenson et al., 2015). A estas definiciones se puede sumar que los EE son aquellos en los que se incluyen elementos que incrementan el nivel de novedad y complejidad (Hannan, 2014). El incremento en estos niveles podría desembocar en grados de estimulación que afectan los procesos de aprendizaje y memoria (Patel, 2012). En este orden de ideas, los EE se definen como: *la combinación de un complejo inanimado y una estimulación social* (Van Praag et al., 2000), lo cual sugiere que los factores interaccionales también son un punto clave a tener en cuenta en la comprensión de esta variable fundamental.

Como se mencionó en el apartado anterior, en cierta medida la plasticidad implica el cambio y el fortalecimiento de las conexiones sinápticas que tienen lugar a partir de una serie de estímulos ambientales que favorecen la generación de un cambio plástico (funcional y fisiológico). Dicho cambio puede ocurrir a corto o a largo plazo (en las neuronas y sus conexiones) contribuyendo a procesos como el aprendizaje y la memoria. Pero cuál sería la naturaleza de la relación entre los EE y la plasticidad cerebral.

A partir de estudios efectuados con roedores transgénicos y otras especies (Hannan y Nithianantharajah, 2006) se ha observado el impacto que tienen los ambientes enriquecidos sobre el retraso de los efectos de la neurodegeneración; obteniendo así nuevos conocimientos relacionados con los dispositivos que están implícitos en el fenómeno de la plasticidad neuronal. Autores como Sampredo et al. (2014) encontraron que los EE incidieron en el mejoramiento de la memoria espacial y en la adopción de estrategias espaciales más eficaces en roedores. Además, describieron que las ratas adultas cometieron menos errores en aspectos relacionados con

la dimensión de memoria espacial (viajando distancias más cortas como indicador de eficacia en la navegación espacial). Otros estudios sugieren que los EE favorecen los procesos de aprendizaje y memoria. Particularmente la memoria declarativa, ya que, por medio del enriquecimiento ambiental se favorecen los procesos de consolidación y reorganización en el sistema, lo cual beneficia el almacenamiento remoto, permitiendo así, una consolidación más perdurable en roedores. ¿Posteriormente, se evidenció que hay variaciones en la activación cortical por medio de la exposición o no a un EE, ya que esta condición puede contribuir a la consolidación del recuerdo espacial remoto (Baldanzi et al., 2013). Se ha observado también, que los EE influyen fuertemente la estructura de las espinas dendríticas en la corteza somatosensorial. Así, algunos autores han observado en cerebros postmortem de ratones expuestos a EE un aumento de la densidad de las espinas dendríticas en el hipocampo (Jung y Herms, 2012) y al parecer en la regulación aspectos genéticos vinculados con la neurogénesis en esta estructura (Kempermann, 2019). (Ver figura 50).

Por otro lado, investigaciones realizadas en personas con limitaciones visuales y auditivas mostraron que a pesar de la privación sensorial y gracias a las diversas interacciones con el ambiente, los individuos evidenciaban mecanismos compensatorios y cambios neuroplásticos que podían potenciar la reorganización de la corteza para desempeñar su función primaria (Merabet y Pascual-Leone, 2010).



Figura 50. El dibujo representa los componentes e interacciones propios de un ambiente enriquecido diseñado para roedores.

Fuente: Basado en Kempermann (2019).

Queda claro entonces que los EE tienen un impacto real sobre la reorganización cerebral de diversas funciones cognitivas y sensoriales, que por medio de la constante estimulación cambian en función de las demandas ambientales para facilitar las transmisiones sinápticas y así adaptarse al medio. Aclarando esta parte, cabe preguntarse cuáles serían las posibles influencias que este paradigma podría tener sobre el desarrollo cerebral humano. Existen esfuerzos por integrar el concepto de ambiente enriquecido con espacios de juego estructurados desde la primera infancia, en aras de comprender las implicaciones de los mismos en el desarrollo infantil (Koob, 2019). Sin embargo, estas propuestas aun distan de establecer una conexión precisa con la dimensión neurocientífica. Como afirman diversos autores, entender las relaciones entre los EE y la neurogénesis en animales resulta realmente complejo como para intentar orientar este estudio en humanos (Clemenson et al., 2015). No obstante, en este documento se considerará la cuestión acerca de cómo el ambiente y las actividades que hacen parte del mismo inciden sobre el fenómeno de *reserva cognitiva* en la vejez.

AMBIENTES ENRIQUECIDOS Y NEUROPLASTICIDAD EN LA VEJEZ

Aparte de la posible ganancia en experiencias de vida, aprendizajes y “sabiduría”, la vejez también trae consigo un declive en diversas áreas de funcionamiento cognitivo tales como velocidad mental, memoria episódica, memoria de trabajo, fluidez verbal, entre otras (Jones et al., 2006; Walhoyd, 2014; Sala-Llonch et al., 2015). Es así que los procesos de envejecimiento se han asociado durante mucho tiempo con declives en funciones fisiológicas, cognitivas (Erickson y Barnes, 2003) y en habilidades espaciales (Samson, 2013), convirtiéndose en un campo de estudio complejo debido a los múltiples factores que intervienen en este momento del ciclo vital, así como los diversos aspectos influenciados por la edad (Grady, 2012). Aunque se presentan dificultades al abordar el envejecimiento cerebral, en los últimos años se ha evidenciado que aún en la vejez se conserva parte de la plasticidad cerebral. Actualmente se cuenta con diversos estudios que sustentan los postulados del *paradigma del enriquecimiento ambiental* apoyando la idea según la cual la exposición a *ambientes estimulantes complejos* está vinculada con la atenuación de los declives relacionados con esta última fase de la vida (Sampedro-Piquero et al., 2014).

Estudios llevados a cabo con adultos mayores han mostrado que un entrenamiento cognitivo constante favorece el aprendizaje y el desempeño de los sujetos en tareas específicas. Law et al. (2014), observaron dos grupos de adultos mayores, de los cuales, uno era estimulado cognitivamente, mientras que el otro, se implicaba en condiciones de baja estimulación cognitiva. Luego de examinar ambos grupos, concluyeron que el primero presentó una diferencia significativamente mayor al segundo, lo cual se reflejó en un mejor desempeño del grupo de mayor estimulación cognitiva en tareas que involucran funciones cognitivas generales y resolución de problemas. Otras investigaciones llevadas a cabo con adultos mayores han demostrado cómo el entrenamiento y un ambiente rico en estímulos pueden mejorar el desempeño en tareas de memoria y atención. Tal es el caso de Leung et al. (2015) quienes trabajaron con adultos mayores (que estaban en riesgo de declive cognitivo) mediante un entrenamiento cognitivo de treinta semanas. Esta investigación pudo constatar que el entrenamiento produjo mejoramiento en la atención espacial y visual, así como en la memoria de trabajo. Se ha observado también que las alteraciones relacionadas con la edad a nivel de la conectividad entre la corteza prefrontal y regiones posteriores del cerebro sugieren que los sistemas nerviosos de estos sujetos, parecieran encontrarse funcional y estructuralmente mejor equipados para adaptarse a los cambios neuronales propios de la vejez (Lee et al., 2015). Siguiendo este mismo orden de ideas, el nivel educativo y las actividades ocupacionales en las que participan los sujetos a lo largo de su vida, han sido considerados como factores esenciales en el mantenimiento de las actividades cognitivas durante el proceso de envejecimiento (López et al., 2014). En otras palabras, los adultos mayores que lideran desafíos intelectuales, actividades físicas y compromisos intelectuales pueden mitigar algunas pérdidas cognitivas ligadas al envejecimiento cognitivo (Lindenberger, 2014).

También, se han estudiado los efectos de los ambientes enriquecidos en la memoria operativa de adultos mayores en un rango de edad que oscila entre 50 y 90 años de edad pertenecientes a instituciones geriátricas (Vanegas, Messa, Cardoza, Tovar y Ocampo, 2018). Este tipo de estudios busca establecer el estado actual de la memoria de los participantes para determinar la existencia de alguna diferencia significativa en los procesos mnémicos, en función del contexto en el que se encuentra el adulto mayor. Los resultados evidenciaron que aquellos participantes que hicieron parte de un ambiente geriátrico en el que se proporcionaba una mayor estimulación cognitiva, obtuvieron el mejor rendimiento en tareas relacionadas con la memoria. Por otro lado, los individuos pertenecientes un ambiente geriátrico en el

cual no se contaba con un nivel de educación formal pero que exponía a sus miembros a actividades de la vida diaria, presentaron el segundo mejor puntaje en cuanto a las pruebas aplicadas, mientras que los adultos que hacían parte de un ambiente en el que solo se presentaba estimulación socio-afectiva presentaron el menor puntaje en contraste con los otros dos ambientes. Lo anterior apoya la idea según la cual la estimulación cognitiva constante aún puede ejercer un impacto directo en habilidades cognitivas en etapas relativas al envejecimiento.

Particularmente, los estudios revelan evidencia no concluyente de la relación entre la función ejecutiva y la creatividad. Sharma & Babu (2017) administraron tres pruebas, 1) Torrance Test of Creative Thinking (prueba creatividad figurativa), 2) Stroop (prueba de atención y control inhibitorio) y 3) Mental Balance (escala de memoria), en una muestra de 58 adultos de mediana edad y mayores (50-64 años). El análisis reveló una correlación significativa entre la creatividad y la función ejecutiva, confirmando que las personas que estaban por encima del promedio en creatividad tuvieron un desempeño significativamente mejor en función ejecutiva. Sin embargo, no hubo correlación significativa entre la creatividad y la memoria de trabajo, ni entre la memoria de trabajo y la función ejecutiva. Además, no se encontraron diferencias en cuanto a la edad (excepto por la velocidad de procesamiento, que disminuyó con el aumento de la edad) ni diferencias de género.

Así mismo se ha podido observar que la estimulación social que hace parte del EE influye no solamente en las habilidades cognitivas de los roedores sino en relaciones interaccionales que favorecen la calidad de vida de los mismos (Benaroya-Milshtein, 2004; Davidson, 2012; Doulames, 2014). En humanos se ha evidenciado también el efecto de la estimulación social de los EE. Autores como Tost et al. (2015) afirman que las relaciones sociales influyen positivamente en factores de salud incluyendo esferas como la autoestima, la longevidad e incluso en el decrecimiento del riesgo de enfermedades mentales. Estos estudios afirman que también el apoyo social modularía las respuestas emocionales y cognitivas, contribuyendo al decremento de las posibilidades de estados emocionales negativos y respuestas fisiológicas exageradas debido al estrés. Otros estudios han mostrado que los EE reducen la ansiedad y el estrés en ratones en respuesta a sus depredadores potenciales (Ragu Varman y Rajan, 2015).

Por otro lado, diversas investigaciones realizadas con modelos animales sugieren que factores ambientales tales como el aprendizaje de tareas

novedosas, impactan directamente las capacidades implicadas en el desempeño y en algunos casos sirven como barrera protectora frente a los declives asociados con el envejecimiento (Hannan y Ninthianantharajah, 2006; Fares et al., 2013). Estos estudios indican que los cambios provocados por los EE en un entrenamiento formal, incluyen un incremento en las ramificaciones dendríticas, cambios en la estructura glial, desarrollo de nuevas neuronas, así como cambios a nivel molecular y en la neuroquímica cerebral (Kramer et al., 2003; Kramer et al., 2004). Diversas investigaciones llevadas a cabo en laboratorio con modelos animales han mostrado que los EE han sido de gran utilidad en el abordaje de desórdenes psiquiátricos y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer, el Parkinson y la enfermedad de Huntington (dejando claro que el aporte generado por los EE no implica remisión de estas entidades). Según estos autores, los resultados de las investigaciones de los EE en modelos animales, han mostrado un importante descubrimiento en el desarrollo de plasticidad cerebral y conductual incluyendo efectos terapéuticos sobre enfermedades neurodegenerativas e incluso sobre ciertos aspectos del daño cerebral (Laviola et al., 2008).

Como se ha podido evidenciar, la vejez no solo debe atribuirse a un declive cognitivo sino a toda una serie de cambios funcionales en el sistema nervioso, que por medio de una adecuada estimulación pueden optimizarse al momento de resolver problemas. Se ha podido observar que en la vejez se pone en juego un proceso compensatorio cerebral, al parecer con el “objetivo” de compensar las funciones cognitivas que han decrecido con la edad (Grady, 2012). Tal como afirman Kotloski y Sutula (2014) los EE tienen efectos en niveles celulares, moleculares y comportamentales. Estos efectos, a su vez producen cambios en neurotransmisores, factores neurotróficos, morfología neuronal, neurogénesis y correlatos comportamentales en el aprendizaje y la memoria. Además, la exposición a *ambientes enriquecidos* ha demostrado tener efectos en el tratamiento de diversas enfermedades neurodegenerativas incluyendo el Alzheimer, el Parkinson y la enfermedad de Huntington.

Cabe mencionar que Hertzog et al. (2009) plantean que los EE pueden influenciar el curso del desarrollo de la actividad cerebral en la vejez, mediante la disminución del declive cognitivo y el incremento de la habilidad para liderar una vida independiente al posponer, en cierta medida, algunas enfermedades demenciales. Habiendo aclarado la manera en que posiblemente los EE fomentan la neuroplasticidad en la vejez, es necesario

preguntarse específicamente cómo éstos afectan diversas funciones cognitivas como la memoria, puesto que, en esta última etapa, con frecuencia llega a verse comprometida.

LOS AMBIENTES ENRIQUECIDOS COMO CAMPO DE ESTUDIO EN LA CONSOLIDACIÓN DE LA RESERVA COGNITIVA

Es bien sabido que diversos autores han planteado la existencia de factores protectores contra la demencia, tales como el ejercicio físico y la actividad mental constante (Sampedro-Piquero y Begega, 2013; Grossman, 2014), sin embargo, con el objetivo de comprender la influencia que pueden tener los EE en el envejecimiento cerebral y sobre las funciones cognitivas, es necesario considerar dos modelos explicativos que permiten explicar los cambios que experimenta el sistema nervioso a nivel estructural y funcional. Dichos modelos son conocidos como reserva cerebral y reserva cognitiva.

El primero hace referencia al concepto de *reserva cerebral*. La reserva cerebral ha sido vinculada con medidas cuantitativas tales como el tamaño cerebral o el número de sinapsis. Se trata de un tipo de reserva pasiva en la cual las diferencias particulares en cuanto al volumen cerebral, cantidad de neuronas, sinapsis o de ramificaciones dendríticas, le permiten al individuo afrontar de manera más adecuada la patología cerebral. No obstante, este modelo plantea que hay diferencias en la reserva cerebral que se evidencian en la capacidad que tiene el cerebro para tolerar el daño causado por una patología específica (Stern, 2002). Según este autor, las diferencias se ven reflejadas en lo que él denomina “*Límite Crítico*”. El límite crítico se refiere a que, una vez que la patología ha superado determinada frontera, las manifestaciones clínicas o funcionales empiezan a emerger. En este sentido, la reserva cerebral puede asumirse como un “escudo” o “factor de protección” que permite prevenir o disminuir el impacto de la aparición posterior de un cuadro demencial (por ejemplo).

Por otro lado, la *reserva cognitiva* puede ser entendida como la habilidad para optimizar o maximizar el desempeño del individuo a través del aprovechamiento de diferentes redes cerebrales, lo cual se refleja –tal vez– en el uso alternativo de estrategias cognitivas (Stern et al., 2003). De acuerdo con este modelo, una vez que el daño cerebral (o el deterioro cognitivo) se presenta, los mecanismos subyacentes a la reserva cognitiva aprovechan

las redes neuronales intactas, usándolas de una manera más eficiente contribuyendo al logro de un mejor desempeño en tareas específicas (Mayordomo y Sales, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, cabe preguntarse ¿Cómo se verían afectadas este tipo de reservas en la vejez gracias a los ambientes enriquecidos? Haciendo alusión a la explicación de EE expuesta anteriormente, una estimulación cognitiva constante eventualmente aportaría al mantenimiento y la optimización de las diversas redes neuronales para la ejecución de diversas actividades según las exigencias del entorno. Autores como Grady (2012) corroboran que el entrenamiento constante (interacción entre el sujeto y los EE) favorece la actividad cerebral en adultos mayores a nivel de regiones temporales y frontales izquierdas que han sido asociadas previamente con la decodificación y el procesamiento verbal.

Por otro lado, si se considera un modelo específico de memoria, como el modelo multicomponente de memoria operativa propuesto por Baddeley (2000), podría sugerirse que el entrenamiento continuo permitiría la optimización de las principales funciones del ejecutivo central al momento de seleccionar, iniciar y terminar el procesamiento de la información. En otras palabras, al generar escenarios en los que, desde las demandas cognitivas, constantemente el sujeto este expuesto a una estimulación y al almacenamiento de información transitoria para la resolución de tareas específicas, se fomentaría la focalización, división y el cambio atencional. Lo anterior se vería reflejado en un favorecimiento del pensamiento humano al articular procesos como la percepción, la memoria a largo plazo y los sistemas de acción (Ocampo y Sierra, 2014).

CONSIDERACIONES FINALES

Como se planteó anteriormente, la plasticidad cerebral hace referencia a los cambios a nivel estructural y funcional como consecuencia de la relación entre el sujeto y el contexto en el que se encuentra inmerso. Así, en buena medida, en función de factores específicos que inciden sobre los sujetos y su estilo de vida particular, la plasticidad cerebral puede verse fortalecida o limitada. Por tal razón, la reflexión sobre los ambientes enriquecidos como modelos que permiten favorecer las funciones cognitivas por medio de la exposición a tareas e interacciones sanas y novedosas, podrían contribuir a

los cambios plásticos del cerebro, así como al incremento de la neurogénesis (en regiones restringidas y con efectos aún por estudiar), las ramificaciones dendríticas y los procesos de sinaptogénesis. Sin embargo, en este punto es importante considerar que no todos los contactos sinápticos que se realizan entre las neuronas que se implican en un circuito cerebral son favorables, en ocasiones, por ejemplo, posterior a eventos que lesionan la corteza (como el trauma o la epilepsia) pueden generarse sinapsis “aberrantes” que no favorecen la estabilidad y el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. Por tal razón, pensar en la estimulación, el enriquecimiento ambiental e incluso en la rehabilitación como la piedra angular para favorecer los procesos cognitivos asociados al envejecimiento (y a aquello que puede acompañarlo) también presentaría limitaciones importantes.

Por otro lado, resulta fundamental comprender el envejecimiento en su justa medida. De esta manera, si se asume radicalmente como un proceso en el cual se ven deterioradas diversas funciones cognitivas, tales como la velocidad mental, la memoria, las funciones ejecutivas, entre otras, sería como desdibujar la línea entre el envejecimiento normal y el envejecimiento patológico (asociado, por ejemplo, al impacto de las enfermedades neurodegenerativas). No obstante, es necesario señalar que la relación entre los efectos negativos del envejecimiento y los efectos positivos asociados con los EE pueden proveer un contrapeso a través del cual las diversas redes neuronales y las funciones cognitivas (o comportamentales) podrían verse optimizadas o remitir ciertos avances en términos de restauración de las mismas en condiciones específicas (Mora et al., 2007).

Por último, vale la pena mencionar que durante el proceso de envejecimiento aún se conserva cierto porcentaje de la capacidad plástica del cerebro y qué por medio de la estimulación cognitiva adecuada y un complejo de interacciones sociales particulares, se puede contribuir a la conservación de diversas funciones cognitivas aún intactas, así como a la utilización de éstas como medio para solventar las funciones “perdidas” (o deterioradas como producto del proceso natural de envejecimiento). Por ello se considera fundamental la revisión y realización de investigaciones que permitan la construcción de comprensiones cada vez más precisas acerca de esta problemática. Además, teniendo en cuenta el impacto que los avances a nivel de la medicina y la biología ejercen sobre la expectativa de vida de la especie humana, se hace necesario comprender la dinámica entre los aspectos neurobiológicos, clínicos y contextuales asociados a la senectud.

PREGUNTAS DE AUTOEVALUACIÓN

- ¿Cómo beneficia la influencia ambiental a la plasticidad cerebral?
- ¿Qué aplicaciones podría tener en enriquecimiento ambiental para el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas?
- ¿Por qué es tan importante estudiar la neuroplasticidad en la vejez? ¿Qué beneficios puede traer a la población senecta en su calidad de vida?
- ¿Qué papel juega el enriquecimiento ambiental en la reserva cognitiva?

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Buylla, A. y Lois, C. (2006). Mecanismos de Desarrollo y Plasticidad del Sistema Nervioso Central. En Álvarez, F. & De la Fuente, R. (Comp.), *Biología de la Mente*. (pp. 124-138). México: Fondo de Cultura Económica. DOI: 10.7714/CNPS/12.2.201.
- Ardila, A & Roselli, M. (2007). Envejecimiento Normal y Patológico. En *Neuropsicología Clínica*. México: Editorial Manual Moderno. (pp. 227-253).
- Baddeley, A. D. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01538-2).
- Bonaccorsi, J., Cintoli, S., Mastrogiacomo, R., Baldanzi, S., Braschi, C., Pizzorusso, T., ... & Berardi, N. (2013). System consolidation of spatial memories in mice: effects of enriched environment. *Neural plasticity*, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/956312>.
- Benaroya-Milshtein, N.C. (2004). Environmental Enrichment in Mice Decreases Anxiety Attenuates Stress Responses and Enhances Natural Killer Cell Activity. *European Journal of Neuroscience*, 20(5), 1341-1347. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2004.03587.x>.
- Bliss, T. V., & Lomo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *The Journal of physiology*, 232(2), 331-356. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010273>.
- Clemenson, G., Deng, W. y Gage, F. (2015). Environmental enrichment and neurogenesis: from mice to humans. *Behavioral Sciences*, 4, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.cobeha.2015.02.005>.

- Davidson, R.S. (2012). Social Influences on Neuroplasticity: Stress and Interventions to Promote Well-Being. *Nature Neuroscience*, 15(5), 689-695. <https://doi.org/10.1038/nn.3093>.
- Doulames, V.B. (2014). Environmental Enrichment and Social Interaction Improve Cognitive Function and Decrease Reactive Oxidative Species in Normal Adult Mice. *International Journal of Neuroscience*, 124(5), 369-376. <https://doi.org/10.3109/00207454.2013.848441>.
- Erickson, C. A. & Barnes, C. A. (2003). The neurobiology of memory changes in normal aging. *Experimental Gerontology*, 38, 61-69. [https://doi.org/10.1016/S0531-5565\(02\)00160-2](https://doi.org/10.1016/S0531-5565(02)00160-2).
- Fares, R.P., Belmequenal, A., Sanchez, P. E., Kouchi, H Y., Bodenec, J., Morales, A., & Bezin, L. (2013). Standardized Environmental Enrichment Supports Enhanced Brain Plasticity in Healthy Rats and Prevents Cognitive Impairment in Epileptic Rats. *PLoS ONE*, 8(1), 1-20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0053888>.
- Grady, C. The cognitive neuroscience of ageing. *Nat Rev Neurosci* 13, 491–505 (2012) doi:10.1038/nrn3256
- Grossman, E. (2014). Environmental Influences on the Aging Brain. *Environmental Health Perspectives*, 122(9), 239-243. <https://doi.org/10.1289/ehp/122-A238>.
- Hannan, A & Nithianantharajah, J. (2006). Enriched environments, experience-dependent plasticity and disorders of the nervous system. *Nat Rev Neurosci* 7, 697–709. doi:10.1038/nrn1970.
- Hannan, A. (2014) Environmental enrichment and brain repair: harnessing the therapeutic effects of cognitive stimulation and physical activity to enhance experience-dependent plasticity. *Neuropathology and Applied Neurobiology*, 40, 13-25. <https://doi.org/10.1111/nan.12102>.
- Hertzog, C., Kramer, A., Wilson, R. & Lindenberger, U. (2009) Enrichment Effects on Adult Cognitive Development: Can the Functional Capacity of Older Adults Be Preserved and Enhanced? *Psychological Science*, 9(1), 1-65. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01034.x>.
- Jones, S., Nyberg, L., Sandblom, J., Neely, A., Ingvar, M., Petersson, K. and Bäckman, L. (2006). Cognitive and neural plasticity in aging: General and task-specific limitations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 30, 864-871. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2006.06.012>.
- Jung, C. & Herms, J. (2012). *Structural Dynamics of Dendritic Spines are Influenced by an Environmental Enrichment: An In Vivo Imaging Study*. Oxford: Oxford University Press, 24, 377-384. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs317>.

- Kandel, E., Barres, B. y Hudspeth, (2013). Nerve Cells, Neural Circuitry, and Behavior. En Kandel, E., Schwartz, J., Jessel, T., Siegelbaum, S. y Hudspeth, A. (Eds.) *Principles of Neural Science*. USA: Mc Graw Hill. (pp. 21-38).
- Kempermann, G. (2019). Environmental enrichment, new neurons and the neurobiology of individuality. *Nature Reviews Neuroscience*, 20(4), 235-245. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0120-x>.
- Konorski, J. (1948). *Conditioned Reflexed and Neuron Organization*. Cambridge: Cambridge Univ. Press.
- Koob, C. (2019). An Analysis of the Developmental Enrichment of the Seattle Children's PlayGarden.
- Kotloski, R. & Sutula, T. (2014) Environmental enrichment: Evidence for an unexpected therapeutic influence. *Elsevier*, 264, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2014.11.012>.
- Kramer, A., Bherer, L., Colombe, S., Dong, W. and Greenough, W. (2004) Environmental Influences on Cognitive and Brain Plasticity During Aging. *Journal of Gerontology: Medical Sciences*, 59A (9), 940- 957. <https://doi.org/10.1093/gerona/59.9.M940>.
- Kramer, A., Erickson, K. and Willis, S. (2003). Cognitive Plasticity and Aging. En Rose, B. (Ed) *The Psychology of Learning and Motivation*. Academic Press, 43, 267-302.
- Laviola, G., Hannan, A., Macri, S., Solinas, S. and Jaber, M. (2008). *Effects of enriched environment on animal models of neurodegenerative diseases and psychiatric disorders*. Elsevier, 31, 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.nbd.2008.05.001>.
- Law, L., Barnett, F., Yau, M. and Gray, M. (2014). *Effects of functional task exercise on older adults with cognitive impairment at risk of Alzheimer's disease: a randomised controlled trial*. *Age and Ageing*, 0, 1-8. <https://doi.org/10.1093/ageing/afu055>.
- Lee, A., Ratnarajah. N., Tuan, T.A., Chen, S. A, & Qiu, A. (2015). Adaptation of Brain Functional and Structural Networks in Aging. *Plos ONE*, 10(4), 1-16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123462>.
- Leung, N., Tan, E., Chu, L., Know, T., Chan, F., Lam, L., Woo, J. & Lee, T. (2015). Neural Plastic Effects of Cognitive Training on Aging Brain. *Hindawi*, 2015, 1-9. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/535618>.
- Lindenberger, U. (2014). Human Cognitive Aging: Corriger la Fortune? *Science*, 346(6209) 572-578. DOI: 10.1126/science.1254403
- Lømo, T. (2003). The discovery of long-term potentiation. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1432), 617-620. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1226>.

- López, M., Aurtinetxe, S., Pereda, E., Cuesta, P., Castellanos, N., Bruña, R., Niso, R., Maestú, F. y Bajo, R. (2014). Cognitive reserve is associated with the functional organization of the brain in healthy aging: a MEG study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00125>.
- Mayordomo, T. y Sales, A. (2015). Compensation strategies in older adults: Sociodemographic and cognitive reserve differences. *Anales de Psicología*, 31(1), 310. DOI:10.6018/analesps.31.1.163621.
- Merabet, L. & Pascual-Leone, A. (2010). Neural Reorganization Following Sensory Loss: The Opportunity of Change. *Nature Reviews*, 11(1), 44-52. <https://doi.org/10.1038/nrn2758>.
- Mikolajewska, E. & Mikolajewski, D. (2012). Computational Approach to Neural Plasticity of Nervous System on System Level. *Journal of Health Sciences*, 2(4), 39-47.
- Mora, F., Segovia, G. y del Arco, A. (2007). Aging, plasticity and environmental enrichment: Structural changes and neurotransmitter dynamics in several areas of the brain. *Elsevier*, 55, 78-88. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2007.03.011>.
- Ocampo Gaviria, T. y Sierra Fitzgerald, O. (2014). Análisis del Funcionamiento de la memoria operativa en niños con trastornos en el aprendizaje. *Acta Colombiana de Psicología*, 17 (2), pp 81-90. DOI:10.14718/ACP.2014.17.2.9
- Pascual-Leone, A., Amedi, A., Fregni, F. & Merabet, L. (2005). The Plastic Human Cortex. *Annual Reviews*, 28, 377-401. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>.
- Patel, T. (2012) Environmental Enrichment: Aging and Memory. *Yale Journal of Biology and Medicine*, 85, 491-500.
- Pinel, J. (2011). Development of the Nervous System: From the Fertilized Egg to You. En *Biopsychology*. (pp. 219-267). PEARSON.
- Pinel, J. (2011) Learning, Memory and Amnesia: How Your Brain Store Information. En *Biopsychology*. (pp. 268-297). PEARSON.
- Sánchez, A. P. (2002). *Cajal y el cerebro plástico*. España: Sociedades Españolas de Patología y Citología.
- Ragu Varman, D., & Rajan, K.E. (2015). Environmental Enrichment Reduces Anxiety by Differentially Activating Serotonergic and Neuropeptide Y (NPY)-Ergic System in Indian Field Mouse (*Mus booduga*): An Animal Model of Post-Traumatic Stress Disorder. *Plos One*, 10(5), 1-23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127945>.
- Sala-Llonch, R., Bartrés-Faz, D. & Junqué, C. (2015). Reorganization of Brain Networks in Aging: A review of Functional Connectivity

- Studies. *Frontiers in Psychology*, 61-11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00663>.
- Sampedro-Piquero, P. y Begega, A. (2013). ¿Previene la actividad física y mental el deterioro cognitivo? Evidencia de la investigación animal. *Escritos de Psicología*, 6(3), 5-13. DOI: 10.5231/psy.writ.2013.2607
- Sampedro-Piquero, P., De Bartolo, P., Petrosini, L., Zancada-Menendez, C., Arias, J.L. y Begega, A. (2014). Astrocytic plasticity as a possible mediator of the cognitive improvements after environmental enrichment in aged rats. *Neurobiology of Learning and Memory*, 114, 16-25. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2014.04.002>
- Samson, R. A. (2013). Impact of Aging Brain Circuits on Cognition. *European Journal of Neuroscience*, 37(12), 1903-1945. <https://doi.org/10.1111/ejn.12183>.
- Sharma, S., & Babu, N. (2017). Interplay between creativity, executive function and working memory in middle-aged and older adults. *Creativity Research Journal*, 29(1), 71-77. <https://doi.org/10.1080/10400419.2017.1263512>
- Stern, Y. (2002) What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 8, 448-460. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355617702813248>.
- Stern, Y., Zarahn, E., Hinton, H.J., Flynn, J., DeLaPaz, R. y Rakitin, B. (2003). Exploring the Neural Basis of Cognitive Reserve. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25, 691-701. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.5.691.14573>.
- Tost, H., Champagne, F. & Meyer-Linderberg, A. (2015). Environmental Influence in the Brain, Human Welfare and Mental Health. *Nature Neuroscience*, 18(10), 4121-4131. <https://doi.org/10.1038/nn.4108>.
- Van Praag, H., Kempermann, G. & Gage, F. (2000). Neural Consequences of Environmental Enrichment. *Nature Reviews*, 1, 191-198. <https://doi.org/10.1038/35044558>.
- Vanegas, A. G., Messa, J. A., Cardoza, D., Tovar, J. R., & Ocampo, Á. A. (2018). Ambientes Enriquecidos, Sujetos Geriátricos y Procesos de Memoria; Un Acercamiento a los Procesos Cognitivos en la Edad Adulta. *Cuadernos de Neuropsicología/Panamerican Journal of Neuropsychology*, 12(2), 1-36.
- Walhovd, K.T. (2014). Cognitive Decline and Brain Pathology in Aging-need for a Dimensional Lifespan and Systems vulnerability view. *Scandinavian Journal of Psychology*. 55(3), 244-254. <https://doi.org/10.1111/sjop.12120>.