

Plasticidad neural: Bases conceptuales, evidencia y su relevancia para la Psicología contemporánea**Neural plasticity: Conceptual bases, evidence and its relevance to contemporary Psychology****Recibido:** 5 de diciembre de 2025**Aceptado:** 19 de marzo de 2026**Publicado:** 31 de marzo de 2026

Giovanni Tirado-Santiago¹
Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras

Resumen

La plasticidad neural es la capacidad del cerebro para cambiar ante experiencias nuevas. Sin esta capacidad, no pueden surgir y establecerse conductas y estados psicológicos novedosos. En los seres humanos, la plasticidad neural provee un nivel de flexibilidad adaptativa sin paralelo con otras especies. Debido a esto, cualquier explicación sobre el desarrollo psicológico debe dar cuenta de cómo ocurre esta plasticidad. Este ensayo discute lo que es la plasticidad neural, los orígenes del concepto, la evidencia inicial que permitió entender cómo ocurre en mamíferos, y cuáles son los mecanismos que posibilitan el cambio en el sistema nervioso. Luego de esto se discute cómo se ha investigado la plasticidad en seres humanos a través de varios estudios emblemáticos. Se propone que entender la plasticidad neural es de pertinencia a diversas áreas y prácticas de la Psicología.

Palabras clave: plasticidad neural, cerebro, neurodesarrollo, neurociencia

Abstract

Neural plasticity is the brain's capacity to change in response to new experiences. Without this capacity, novel behaviors and psychological states cannot emerge and become established. In humans, neural plasticity provides a level of adaptive flexibility unparalleled with other species. Therefore, any explanation of psychological development must account for how this plasticity occurs. This essay discusses what neural plasticity is, the concept's origins, the initial evidence that allowed us to understand how it occurs in mammals, and what are the mechanisms that enable change in the nervous system. Following this, it discusses how plasticity has been investigated in humans through several landmark studies. The essay proposes that understanding neural plasticity is relevant to various areas and practices within Psychology.

Keywords: neural plasticity, brain, neurodevelopment, neuroscience

¹ Catedrático Asociado en el Departamento de Psicología de la Universidad de Puerto Rico, Recinto de Río Piedras donde se desempeña como coordinador del área de énfasis en Neurocognición y Desarrollo Humano. Además, ostenta roles de liderazgo como presidente del Comité Institucional para el Cuidado y Uso de Animales en el Decanato de Estudios Graduados e Investigación (DEGI) y director de la Facilidad de Recursos para Animales en el DEGI. La correspondencia relacionada con este artículo debe ser dirigida a: giovanni.tirado1@upr.edu. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4208-6980>.

La plasticidad neural es un proceso mediante el cual el sistema nervioso central se modifica como resultado del aprendizaje, la exploración de ambientes nuevos, y otras formas de actividad (Milbocker et al., 2024). La comprensión de este proceso es fundamental para la psicología por varias razones. En primer lugar, para construir nuestra memoria declarativa, tanto la que tenemos sobre nosotros mismos (memoria episódica de tipo autobiográfico) como la que tenemos sobre los objetos (memoria semántica), se requieren modificaciones específicas en el sistema hipocampal y en regiones de la corteza cerebral (Eichenbaum, 2011; Tulving, 1980). Por otro lado, el desarrollo psicológico durante el ciclo vital depende de la plasticidad. Por ejemplo, el desarrollo de estrategias para navegar un ambiente, regular emociones, o relacionarse con otros depende de las experiencias que los seres humanos tengan en contextos diversos: familia, escuela, cultura, ambiente natural, entre otros. Dependiendo de la interacción de las personas con su ambiente, estas estrategias pueden ser adaptativas, lo cual puede promover un desarrollo saludable, o no adaptativas, incidiendo negativamente en la salud mental. Debido a todo lo anterior, el entendimiento de la plasticidad neural no solo es necesario para explicar el origen y el desarrollo de procesos psicológicos, sino que también tiene el potencial de informar intervenciones que se realicen en diversos ambientes, como la clínica, la escuela o el trabajo.

Aunque el concepto de plasticidad neural es tan antiguo como la misma ciencia psicológica, no fue sino hasta el presente siglo que se ha podido estudiar en seres humanos. Previo a que se encontrara evidencia de plasticidad, entre finales del siglo XIX y mediados del XX varios investigadores sostuvieron la hipótesis de que debía existir un proceso de cambio orgánico como condición necesaria para el establecimiento de conductas o procesos psicológicos novedosos (Hebb, 2012; Luria, 1974, 1979a, 1979b, 1982; Piaget, 1969, 1978). Este cambio se visualizaba como estados cada vez más organizados del sistema nervioso. Dar cuenta de esta organización fue central a los modelos explicativos constructivistas, como los de Jean Piaget

(1969, 1978), y neurocognitivos, particularmente los de Donald O. Hebb (2012) y Aleksandr R. Luria (1974, 1979a, 1979b, 1982). Aunque estos modelos no produjeron evidencia directa de cambio orgánico, sentaron las bases para investigaciones que demostraron plasticidad en animales. Estas investigaciones permitieron explicar cómo ocurre la plasticidad a nivel celular-molecular. Partiendo de esta base y gracias al desarrollo de tecnologías no invasivas en este siglo, se comenzó a evidenciar plasticidad neural en seres humanos.

El propósito de este escrito es explicar los conceptos fundamentales de la plasticidad neural, examinando tanto las primeras hipótesis sobre el concepto como la investigación que la evidencia, destacando particularmente la plasticidad en los seres humanos. Se argumentará que este conocimiento no solo permite un desarrollo teórico más integral de la disciplina, superando así debates del tipo naturaleza vs. ambiente, sino que abre avenidas nuevas de investigación que tienen el potencial de impactar prácticas psicológicas.

La hipótesis de plasticidad como proceso necesario para el desarrollo y la organización de nuevos estados psicológicos

Las primeras propuestas de que el sistema nervioso cambia con la experiencia surgieron a finales del siglo XIX en disciplinas tan dispares como la anatomía y la psicología. El término *plasticidad* fue propuesto por William James en 1890 para explicar hábitos nuevos:

Plasticity, then, in the wide sense of the word, means the possession of a structure weak enough to yield to an influence, but strong enough not to yield all at once. Each relatively stable phase of equilibrium in such a structure is marked by what we may call a new set of habits. Organic matter, especially nervous tissue, seems endowed with a very extraordinary degree of plasticity of this sort; so that we may without hesitation lay down as our first proposition the following, that the phenomena of habit in living beings are due

to the plasticity of the organic materials of which their bodies are composed. (James, 2018, p. 95)

En un intento por explicar las bases biológicas de la vida psicológica, James (2018) argumentaba que la adaptación de los seres humanos a ambientes particulares es posibilitada por procesos que son propiedades de la conciencia. Estas propiedades nos permiten conocer y son estados inherentes del sistema nervioso que promueven la plasticidad: mientras el individuo conoce su ambiente, ocurren cambios paulatinos que transforman su organicidad.

James, filósofo de formación, no abundó mucho sobre cómo podría ocurrir esa plasticidad. Fue el médico español Santiago Ramón y Cajal (1941) quien poco después propuso que la práctica prolongada, necesaria para el desarrollo de capacidades nuevas, provocará transformaciones en las células del sistema nervioso:

Aparte de las circunstancias orgánicas favorables, ciertamente numerosos años de gimnasia mental y muscular se necesitan para convertirse en un pianista, orador, matemático, pensador. ¿Cómo debemos concebir esta transformación y lentitud?

Reconociendo, en primera instancia, que las vías orgánicas existentes son reforzadas por el ejercicio; y por la suposición, en segundo lugar, que nuevas vías se establecen gracias a la cada vez más notable ramificación y crecimiento de dendritas y de arborización. Si este es el caso, ningún talento puede ser adquirido si no es por el establecimiento, a través del ejercicio, de relaciones múltiples y complejas entre grupos celulares en centros mnemónicos primarios y secundarios. (pp. 197-198)

Su hipótesis no se limitaba a intentar describir el funcionamiento neuronal, sino que también buscaba explicar cómo los cambios neuronales posibilitan la creación de cultura. Aunque no usó el término plasticidad, su planteamiento especifica que el fortalecimiento de vías particulares en el sistema nervioso será la base para nuevas conductas o aptitudes. Ramón y Cajal (1941)

evidenció que las neuronas no están interconectadas de forma continua, sino que entre ellas hay un espacio, posteriormente denominado sinapsis por Charles Sherrington (Finger, 1994), que permite que el impulso nervioso viaje solo a regiones específicas que están implicadas en procesos determinados. El desarrollo de destrezas implica por tanto una reestructuración y organización del sistema nervioso. Sin embargo, es necesario señalar que, aunque el descubrimiento de las sinapsis servirá eventualmente como base para la noción que el sistema nervioso opera organizadamente, ello no constituyó evidencia de que el sistema nervioso tiene una propiedad de plasticidad.

Décadas más tarde Karl Lashley (1951), construyendo sobre el argumento de Ramón y Cajal (1941) y en respuesta directa al condicionamiento operante de Skinner (1938), propuso a) que la conducta estaba organizada a nivel del sistema nervioso y b) que todo estímulo es procesado por un sistema activo. Lashley (1951) postuló que la práctica repetida bajo diversas condiciones fomenta cambios en el sistema nervioso que constituirán la base para *esquemas generalizados de acción*. Estos esquemas guiarán conductas voluntarias del organismo en diversas condiciones. Con este argumento, Lashley refutó a Skinner, quien explicaba las conductas nuevas como respuestas mecánicas a estímulos exteriores al organismo. Por el contrario, Lashley (1951) sostenía que cada insumo de información al organismo se hace a un sistema que ya está activo y que tiene algún tipo de organización debido a su historia experiencial. Estos dos conceptos, actividad y organización, serán fundamentales para el desarrollo de una visión cognoscitiva y constructivista en la biopsicología, la cual hoy en día toma como fundamento el proceso de plasticidad neural. Cabe destacar que las ideas de esquema, organización y actividad también eran centrales a los modelos del desarrollo cognitivo de Jean Piaget (1969, 1978) previo a que Lashley hiciera su crítica, por lo que no queda claro hasta qué punto las ideas de uno influyen sobre las del otro. Lo que sí se puede afirmar con claridad es que

la hipótesis que proponía la plasticidad como mecanismo para explicar la génesis y organización de nuevos estados psicológicos surgió en contextos académicos diversos.

Aun cuando las propuestas de Lashley (1951) eran sugestivas, seguían siendo especulativas ya que no podían dar cuenta de cómo ocurría el cambio a nivel celular que proponía Ramón y Cajal. Fue el estudiante doctoral de Lashley en Harvard, el psicólogo canadiense Donald O. Hebb, quien propuso un mecanismo específico de cómo esta plasticidad ocurre en lo que hoy en día se le conoce como *la regla de eficacia sináptica*. Hebb (2012) señaló que la actividad persistente entre dos neuronas llevará a un cambio estructural o funcional a largo plazo en una o ambas neuronas que aumentará la eficacia en la conducción entre estas neuronas. La gimnasia mental a la cual coloridamente Ramón y Cajal hacía referencia conllevaba que se fortaleciera la sinapsis ya fuera en la estructura de las neuronas, o en su funcionamiento. Para Hebb, ese proceso de cambio fomentaría la creación de “ensamblajes neuronales” que sustentarían los esquemas de acción propuestos por Lashley.

Las contribuciones de James, Ramón y Cajal, Lashley y Hebb, aun cuando eran hipotéticas, sentaron la base para que de ahí en adelante se estableciera un proyecto investigativo que buscara evidencia de la existencia de la eficacia sináptica y de cómo esta era necesaria para el establecimiento de estados psicológicos cada vez más complejos. Las décadas a partir de 1960 estuvieron marcadas por un número creciente de estudios en células y animales que buscaba entender los mecanismos mediante los cuales se da la plasticidad neural.

Primeros estudios que mostraron la existencia de la plasticidad neural

Inspirado por las ideas de Hebb (2012), Rosenzweig et al. (1962a) pusieron a prueba la hipótesis de eficacia sináptica (ver discusión autobiográfica en Rosenzweig y Bennett, 1996). Para ello llevaron a cabo varios estudios que proveen evidencia de que la actividad en diversos ambientes causa efectos específicos tanto en la estructura de las neuronas como en la conducta

(Krech et al., 1962; Rosenzweig et al., 1962a; Rosenzweig et al., 1962b). Notaron que luego de exponer ratas a uno de dos tipos de ambientes, aquellas que fueron expuestas a ambientes que habían sido enriquecidos con muchos objetos mostraron mejoría en la discriminación de objetos, así como mayor rapidez y fuerza que ratas que solo estuvieron expuestas a ambientes simples típicos de albergue en un laboratorio. Estos hallazgos en conducta eran de esperarse. Sin embargo, la contribución de estos estudios fue medir que la mejoría observada estuvo acompañada por un incremento en el número de dendritas y sus ramificaciones (arborización) en diversas áreas de la corteza cerebral. Sus estudios brindaron evidencia empírica de los conceptos ventilados en los 70 años anteriores, lo cual presentaba la oportunidad para abrir nuevas avenidas de investigación.

Pero ¿qué tal respecto a los mecanismos específicos de eficacia sináptica propuestos por Hebb? Los estudios conductuales de Rosenzweig et al. (1962a) mostraban el impacto de la experiencia tanto en el sistema nervioso como en la conducta, pero no estaban dirigidos a explicar los mecanismos a través de los cuales ocurre este cambio. Fue el descubrimiento por Bliss y Lømo (1973) de un fenómeno denominado potenciación a largo plazo lo que comenzó a dar forma al entendimiento sobre cómo ocurren los cambios a nivel celular. Observaron una mejoría casi instantánea en la eficacia sináptica, medida como un aumento tanto en la rapidez como en la intensidad de la respuesta de poblaciones de neuronas, al generar con electrodos un pulso theta en el giro dentado. Usaron el ritmo theta ya que es el tipo de oscilación que se observa en el cerebro de mamíferos cuando exploran y aprenden ambientes novedosos. En los seres humanos este tipo de oscilación cerebral ocurre cuando llegamos y exploramos un lugar que no conocíamos previamente. También se observa durante actividades que conllevan aprendizaje cognitivo, tales como escuchar y entender una clase; leer, entender y recordar un texto; o recordar los eventos que nos ocurrieron durante el día o la trama de una película.

Bliss y Lømo (1973) midieron la actividad en el giro dentado ya que esta estructura es la vía de entrada de la información que proviene de diversas regiones de la corteza cerebral hacia el hipocampo, que es la estructura central para el aprendizaje cognitivo (Eichenbaum, 2017; Milner et al., 1968). Desde ese entonces, la técnica de potenciación a largo plazo generó miles de estudios que luego sentarían las bases para entender los mecanismos celulares de cambios neuroplásticos en diversas áreas del cerebro de mamíferos (Caya-Bissonnette & Béïque, 2024).

Lo que no probaba el estudio de Bliss y Lømo (1973) era si la mejoría en eficacia sináptica lograda en condiciones artificiales representaba la manera en que ocurre el cambio sináptico en el cerebro de mamíferos a partir de la experiencia. Para atender esta interrogante, Barnes (1979) entrenó ratas para aprender un ambiente complejo, y mientras esto ocurría midió la actividad en sus circuitos hipocampales. Barnes observó que ratas jóvenes que aprendían mejor que ratas viejas mostraban mayor fortaleza sináptica que aquellas ratas viejas que mostraban una capacidad disminuida para aprender. De esta manera Barnes presentaba apoyo a la regla de eficacia sináptica de Hebb, estableciendo una relación directa y cuantitativa entre el cambio en conducta y el fortalecimiento sináptico. Luego se encontró lo que representaría tal vez evidencia más directa de la relación entre cambio sináptico y aprendizaje, cuando se midió el fortalecimiento sináptico paulatino en ratas que tenían implantados electrodos en el hipocampo a medida que aprendían una tarea espacial durante el transcurso de varios días (Green et al., 1990). Es decir, se logró medir a nivel celular que el sistema nervioso cambiaba naturalmente a medida que ocurría aprendizaje.

Mecanismos celulares que posibilitan la plasticidad neural

¿Pero cómo ocurre esta plasticidad? A partir de los años 1970s se dio un desarrollo amplio de los estudios sobre aspectos específicos de la plasticidad tanto en células como en organismos vertebrados e invertebrados. Se han estudiado en animales varios mecanismos que muestran cómo distintos partes del sistema nervioso cambian como producto de la experiencia o aprendizaje. Algunos de estos mecanismos comprenden cambios en la estructura celular o en su funcionamiento. Entender estos mecanismos celulares es necesario pues permite retirar un velo que oscurece el entendimiento de cómo la actividad del organismo en su ambiente permite el desarrollo de nuevas conductas, al igual que nuevos estados cognitivos y afectivos. Aunque explicar estos no es el foco central de este escrito, se mencionarán algunos a continuación.

Adicional a la mejoría en activación neuronal observada por varios investigadores (Barnes, 1979; Bliss & Lømo, 1973; Green et al., 1990), se ha medido cambios estructurales luego de potenciación a largo plazo, específicamente el crecimiento de espinas dendríticas (Engert & Bonhoeffer, 1999; Lang et al., 2004). Esta formación de espinas es una manera de establecer sinapsis nuevas, lo cual ha sido bastante documentado (Toni et al., 2007), especialmente luego de aprendizaje, pero no luego de actividad motora repetitiva (Black et al., 1990). Otros cambios que se han observado son el aumento en el grosor de axones como consecuencia de la activación neuronal (Chéreau et al., 2017), al igual que mielinización luego de actividad conductual (de Faria et al., 2019). Ambos mecanismos mejoran la conducción del impulso nervioso. A nivel de neurotransmisión, luego de experiencias de aprendizaje y exploración de ambientes novedosos, se ha evidenciado en neuronas corticales el aumento (o inserción) de receptores del neurotransmisor glutamato de tipo AMPA, los cuales son necesarios para el mantenimiento a largo plazo de memorias (Kessels & Malinow, 2009). Finalmente, se ha observado la eliminación de sinapsis luego de aprendizaje motor (Morizawa et al., 2022), lo cual indica que la plasticidad no solamente conlleva la creación de sinapsis nuevas, sino también la

eliminación de sinapsis ya existentes. En conjunto, estas observaciones evidencian el cambio que ocurre en el sistema nervioso como consecuencia de la experiencia, posibilitando así que se den procesos adaptativos durante el desarrollo del individuo.

Plasticidad en seres humanos: Primeros estudios neuropsicológicos

Hasta finales del siglo XX la vasta mayoría de los estudios sobre plasticidad neural se hicieron en animales o en células. A pesar de estos estudios, quedaba la pregunta sobre cómo podría ocurrir la plasticidad en seres humanos ya que no existían técnicas no invasivas que permitieran hacer mediciones similares a las realizadas en animales. La idea no era una mera curiosidad intelectual, sino que tenía alcances clínicos. ¿Podría recuperarse una persona luego de una lesión cerebral? En el siglo XIX hubo varios intentos por lograr que personas con daño cerebral recuperaran funciones. Por ejemplo, en 1833 Jonathan Osborne fue el primero en tratar de manera sistemática a un paciente neuropsicológico (Finger, 1994), específicamente a una persona con afasia de jerga neologística, la cual es una condición que se caracteriza por repetir de manera alterada oraciones que el paciente escucha, con palabras nuevas o sin sentido alguno. Según Osborne, el tratamiento que empleó, en el cual le enseñaba al paciente a hablar como si fuese un niño pequeño, tuvo algunos resultados. Paul Broca también intentó el mismo acercamiento que Osborne con un paciente con afasia motora, logrando mejoría parcial (Finger, 1994). La ausencia de informes detallados sistemáticos en estos casos, sin embargo, no permite un mejor entendimiento sobre qué pudo ocurrir.

Adicional a la ausencia de tecnología no invasiva, uno de los problemas fundamentales que confrontaban los estudios sobre los efectos de la rehabilitación que se intentaba, es que no había modelos teóricos claros sobre las funciones que se intentaba estudiar. Muchos de quienes llevaban a cabo estos intentos eran médicos, quienes no contaban con instrumentos o pruebas de carácter cuantitativo para medir las funciones. Sus informes sobre las intervenciones que

realizaban y sus resultados eran descripciones clínicas informales. No fue sino hasta el siglo XX que se reportaron informes sistemáticos sobre rehabilitación en pacientes neuropsicológicos una vez surgen la psicología y la lingüística como disciplinas establecidas.

Entre los años 1960s y 1970s, Luria y Tsvetkova (1981) y Tsvetkova (1977) llevaron a cabo evaluaciones sistemáticas, con pruebas y baterías neuropsicológicas, de varios pacientes con tumores o lesiones cerebrales que presentaban déficits en diversos procesos cognitivos, como por ejemplo llevar a cabo inferencias lógicas o leer. Observaron que luego de un proceso largo de rehabilitación los pacientes lograron llevar a cabo parcialmente las funciones que se habían afectado. Luria (1988) sostenía que esta rehabilitación se explicaba por la existencia de un *sistema funcional dinámico* que definía como la capacidad que tiene el cerebro durante el ciclo vital para procesar información nueva y realizar ajustes en su funcionamiento, con el propósito de resolver problemas. Para Luria, el concepto de funciones localizadas bajo el cual operaban los neuropsicólogos debía modificarse. La idea prevalente era que, si una función determinada depende de un área específica de la corteza cerebral, una lesión de esta región implicará la pérdida irreversible de esta función. Sin embargo, los diversos casos que Luria y sus colegas estudiaron le llevaron a ver que, con el paso del tiempo, mediante un proceso de reeducación cognitiva estructurada, los pacientes readquirían parcialmente la capacidad que habían perdido como consecuencia de la lesión. Luria por tanto infería que ocurría una reorganización de manera que la función dependía ahora de otras regiones.

Adicional a Luria y sus colegas, otros investigadores observaron fenómenos similares, aunque no a la escala del neuropsicólogo ruso, quien tuvo acceso a una gran población de veteranos de guerra. Sin embargo, fueran estudios de grupo o de casos individuales, todas estas investigaciones tenían el problema de que no podían observar cambios en el tejido nervioso. A partir de la readquisición de funciones luego de programas de rehabilitación neuropsicológica se

infería que debían estar ocurriendo cambios en el sistema nervioso. Sin embargo, esto no era prueba de que había ocurrido un cambio en el tejido cerebral, o de cuál era la naturaleza de este cambio. Esto solo se podría medir luego, con el surgimiento de técnicas de visualización cerebral, el desarrollo de la computación, y la adopción de diseños experimentales. Conjugar estas técnicas provenientes de disciplinas diferentes fue lo que permitió abrir una ventana nueva para estudiar el cerebro humano, en lo que vendría a conocerse como la neurociencia cognitiva.

Plasticidad en seres humanos: Evidencia reciente desde la neurociencia cognitiva

La primera evidencia sobre plasticidad en seres humanos ocurrió a inicios del presente siglo gracias al desarrollo de las técnicas de neuroimagen funcional por resonancia magnética. Una de las investigaciones que usualmente se cita como pionera en el estudio de la plasticidad en seres humanos fue hecha por Maguire et al. (2000) quienes, mediante imagenología por resonancia magnética (técnica mejor conocida como MRI, por sus siglas en inglés), midieron el hipocampo de taxistas en Londres. Para este estudio de corte transversal, reclutaron taxistas que contaban con entre 1.5 y 43 años de experiencia guiando en la ciudad de Londres. Para obtener su licencia, estos taxistas pasaban un promedio de 2 años de adiestramiento, en buena medida porque debían demostrar un conocimiento amplio de todos los sectores y calles de la ciudad. La ausencia de sistemas de geoposicionamiento global (GPS, por sus siglas en inglés) para cuando se llevó a cabo la investigación, combinado con la complejidad espacial de una ciudad grande sin un plan urbano cuadriculado, hace que ejercer como taxista allí requiera de unas destrezas muy superiores a las que deba tener un conductor promedio.

Luego de escanear el cerebro de los taxistas, Maguire et al. (2000) encontraron una relación directamente proporcional entre el número de años que habían ejercido como taxistas y el tamaño del hipocampo, estructura importante tanto para el aprendizaje cognitivo como para la navegación espacial. Comparando los datos con las imágenes de MRI de un banco de imágenes

de personas que no conducían taxis, observaron que el hipocampo posterior de los taxistas era mayor que el de los controles, mientras que el hipocampo anterior de los taxistas era menor. Adicional a esto, en el grupo de los taxistas, observaron que el tamaño de cada subregión hipocampal estaba directamente relacionado al tiempo que habían ejercido como taxistas: a mayor número de años, mayor era el hipocampo posterior, pero menor era el hipocampo anterior. Debido a que en estudios previos con animales y pacientes neurológicos se había observado que el hipocampo posterior es necesario para navegar espacios complejos, los investigadores concluyeron que las habilidades de navegación de los taxistas eran dependientes de una redistribución de la materia gris en el hipocampo. Este estudio no solo demostró una correlación directa entre experiencia y cambio en estructuras específicas del cerebro, sino que también demostró que la plasticidad neural puede implicar tanto aumento como disminución de una región cerebral como producto de la experiencia.

Luego del estudio anterior, otras investigaciones en seres humanos mostraron cómo el tamaño de regiones cerebrales se relacionaba con la experiencia que hubiesen tenido. Gaser y Schlaud (2003) encontraron en músicos profesionales (específicamente tecladistas) un volumen mayor en regiones necesarias para procesar música, comparado a músicos amateurs y a personas que no tocan instrumentos musicales (Maguire et al., 2000). Las estructuras principales que mostraron incremento en volumetría fueron el giro precentral izquierdo (implicado en movimiento), el giro de Heschl izquierdo (necesario para procesar tonos), y la corteza parietal superior derecha (relevante para procesamiento visoespacial). Cuando compararon a los músicos amateurs con los no músicos encontraron que los músicos amateurs, a pesar de tener menor volumen de materia gris en estas regiones corticales que los músicos profesionales, mostraban mayor volumen que los no músicos. Este hallazgo es similar al de Maguire et al. (2000) en el

sentido que, a mayor experiencia, mayores eran las regiones cerebrales implicadas en el tipo de procesamiento estudiado.

Los estudios anteriores tienen como limitación el que no son experimentales, ya que solo establecen correlaciones entre años de experiencia y magnitud de cambio en las estructuras cerebrales estudiadas. Debido a esto, es difícil establecer una relación causal entre las diferencias observadas y el tiempo empleado en desarrollar la destreza estudiada. Sería legítimo argumentar que las diferencias anatómicas observadas pudiesen deberse a otros factores no estudiados. Aunque es menos probable, cabe incluso la duda sobre si particularidades anatómicas de los participantes previo a comenzar cualquier exposición musical pudiesen ser responsables de su nivel de destreza.

Para zanjar interrogantes sería necesario hacer estudios de corte experimental. Draganski et al. (2006) fueron de los primeros grupos en hacer este tipo de estudio. Investigaron los efectos que en plasticidad podía tener el tiempo que estudiantes de medicina pasaron estudiando para sus exámenes sobre conocimiento preclínico (en materias como anatomía, fisiología y bioquímica). Usando la técnica de MRI escanearon el cerebro de los estudiantes en tres momentos: tres meses antes del examen, uno o dos días luego del examen, y tres meses después. Compararon los datos con imágenes cerebrales obtenidas de estudiantes de terapia física que no habían estudiado para exámenes por lo menos en seis meses. Encontraron que en los estudiantes de medicina la materia gris en el hipocampo posterior y en las cortezas parietales, tanto posterior como lateral, aumentaron como producto del estudio cuando compararon el inicio del periodo de estudio y justo luego de haber tomado el examen. Este aumento permanecía igual en las cortezas parietales tres meses después de haber tomado el examen, mientras que el hipocampo posterior continuó aumentando tres meses luego del examen. Ninguno de estos cambios se observó en el grupo de estudiantes controles.

Otros estudios experimentales sobre los efectos de experiencias de diverso tipo, que han incluido varias sesiones de MRI hechas previo y luego de entrenamiento, y con grupos experimental y control, también han observado cambios en plasticidad neural, tanto funcional como estructural. Por ejemplo, luego de cinco semanas de entrenamiento para potenciar la memoria de trabajo se ha observado un aumento en la actividad del giro frontal medio y de las cortezas parietales inferiores (Olesen et al., 2004). En adultos mayores se ha observado aumento en volumen de materia gris en el área medial temporal de la corteza visual luego de entrenamiento de una destreza motora que requiere coordinación motora y visual (Boyke et al., 2008), siendo este uno de los primeros estudios que mostró plasticidad neural en personas mayores (edad promedio de 60 años). En torno a videojuegos, se ha observado un aumento en la materia gris de regiones importantes para la navegación espacial (hipocampo derecho), ejecución motora (cerebelo bilateral), y planificación estratégica y memoria de trabajo (corteza dorsolateral prefrontal derecha), luego de practicar diariamente por dos meses el videojuego Super Mario (Kühn et al., 2014). Finalmente, se ha observado que los cambios en plasticidad no solo están circunscrito a las neuronas, sino que también se ha observado cambios en materia blanca, la cual es necesaria para las conexiones entre diversas estructuras cerebrales. Específicamente Scholz et al. (2009) fueron los primeros en descubrir cambios en la materia blanca como producto del aprendizaje de destrezas motoras complejas, específicamente en el surco parietal-occipital luego de una tarea que conlleva coordinación visual y motora.

Estudios con diseño experimental como los descritos arriba, que incluyen una preprueba y al menos una posprueba en participantes experimentales y controles, han permitido proveer evidencia de que la plasticidad neural es un hecho en seres humanos. El empleo de técnicas no invasivas, combinado con el refinamiento de diseños experimentales ha permitido abrir una gran avenida para el estudio de la plasticidad neural en los seres humanos. Ansari (2012) señala que el

estudio de la plasticidad neural, que hasta finales del siglo XX se dedicó a buscar evidencia y entender los mecanismos celulares y moleculares con estudios animales sobre enriquecimiento y privación sensorial, ahora podía explorar de formas novedosas procesos e influencias complejas en los seres humanos como la cultura, la alfabetización, la educación y la migración.

Del debate naturaleza vs. ambiente a una visión interactiva del desarrollo: Implicaciones conceptuales y aplicadas de la plasticidad neural

Uno de los debates en la psicología que a veces parece no acabar de morir, el de naturaleza vs. ambiente, proponía que el origen de conductas se debe a uno de dos factores: herencia o ambiente (Luria, 1979a). Las limitaciones de esta dicotomía han sido expuestas desde diversas perspectivas y disciplinas (Barlow, 2019; Dawkins, 1976; Lewkowicz, 2011). La experiencia no solo modifica el sistema nervioso, sino que inclusive tiene efectos en la expresión genética (Garland & Howard, 2009). Esto ha dado al traste con la presunción de que los procesos psicológicos eran producto de solo un factor, sustituyendo esta visión por una de interacción. La postura actual puede resumirse en la aseveración de Ogren y Lombroso (2008) quienes señalan que “los hallazgos sobre la interacción genes-ambiente han puesto énfasis en la importancia de la interacción entre la constitución genética y el ambiente en lugar de enfocar sobre la importancia de uno o el otro” (p. 240).

Lo anterior no quiere decir que no hay un desarrollo neural predecible y organizado. El desarrollo cerebral sigue un curso relativamente regular. A los cuatro años ya se observa madurez –medida mediante volumetría de materia gris cortical– en regiones asociadas a funciones sensoriomotoras, como las cortezas motora, somatosensorial y visual primarias. Este proceso continúa hasta aproximadamente los 22 años, cuando se alcanza la madurez en regiones vinculadas a funciones ejecutivas, particularmente en el lóbulo prefrontal (Gogtay et al., 2004). Estudios más recientes sobre conectividad estructural muestran que este desarrollo no es de

carácter lineal, aunque tiene una progresión bastante predecible. Específicamente, Mousley et al. (2025), en un estudio a gran escala con 4,216 personas (de entre 0 y 90 años), observaron que existen cuatro momentos en los cuáles se da un cambio marcado en conectividad entre diversas regiones cerebrales. Al analizar imágenes obtenidas mediante la técnica de tensor de difusión por resonancia magnética observaron que a los 9, 32, 66 y 83 años ocurre una reorganización prominente en diversos circuitos que marcan cinco periodos del ciclo vital: infancia, adolescencia extendida, adultez, adultez madura, y vejez. El comienzo de cada uno de estos periodos se caracterizó por un cambio en la eficiencia de circuitos asociados a funciones cognitivas que ocurren en cada uno de esos periodos.

Si bien es cierto que el neurodesarrollo sigue un curso predecible, se sabe que esto no es un producto único de factores genéticos. Por ejemplo, estresores ambientales severos (asociados a estatus socioeconómico, dinámica familiar, o conflictos bélicos, entre otros) pueden incidir en actitudes y conductas que a largo plazo impactan la plasticidad neural y la expresión genética (Liston et al., 2009; Lupien et al., 2009; McEwen, 2012). Una de las maneras en las que esto ocurre es cuando el estrés por circunstancias ambientales (asociado a trastornos de ánimo), afecta la expresión de factores neurotróficos a nivel celular que son necesarios para el mantenimiento y supervivencia neuronal (Calabrese et al., 2009). Esta alteración reduce la plasticidad neural, afectando por lo tanto el desarrollo típico de circuitos asociados al manejo de estrés.

Intervenciones psicoterapéuticas dirigidas a atender síntomas que surgen luego de estresores ambientales pueden también tener efectos sobre la plasticidad neural y la expresión genética. Por ejemplo, se ha observado un aumento en el factor neurotrófico derivado del cerebro (una proteína codificada por el gen BDNF) y una reducción en síntomas asociados a trastornos de ánimo como consecuencia de varias modalidades psicoterapéuticas usadas para tratar diversos trastornos de ánimo (Claudino et al., 2020; Piotrkowicz et al., 2021). También se han medido

cambios en el volumen de estructuras límbicas (específicamente el hipocampo y la amígdala) luego de terapia cognitivo conductual (Zwiky et al., 2025). En general, tanto factores estresantes como intervenciones psicoterapéuticas dirigidas a manejar síntomas asociados al estrés tienen efecto sobre la plasticidad neural.

El estudio de la plasticidad neural para entender procesos psicológicos no solo ha permitido superar dicotomías teóricas sobre el desarrollo psicológico. Actualmente provee una visión integrativa de cómo ocurre el desarrollo de destrezas cognitivas, estados afectivos, y diferencias individuales. Este conocimiento tiene el potencial de impactar varias prácticas psicológicas, entre ellas educativas y psicoterapéuticas. Entender cómo el cerebro cambia con la experiencia es de gran relevancia para distintas áreas y prácticas de la psicología. Debido a esto, los currículos universitarios de psicología deben fomentar el entendimiento e investigación de este conocimiento.

Referencias

- Ansari, D. (2012). Culture and education: New frontiers in brain plasticity. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(2), 93-95. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2011.11.016>
- Barlow, F. K. (2019). Nature vs. nurture is nonsense: On the necessity of an integrated genetic, social, developmental, and personality psychology. *Australian Journal of Psychology*, 71(1), 68-79. <https://doi.org/10.1111/ajpy.12240>
- Barnes, C. A. (1979). Memory deficits associated with senescence: A neurophysiological and behavioral study in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 93(1), 74-104. <https://doi.org/10.1037/h0077579>
- Black, J. E., Isaacs, K. R., Anderson, B. J., Alcantara, A. A., & Greenough, W. T. (1990). Learning causes synaptogenesis, whereas motor activity causes angiogenesis, in cerebellar cortex of adult rats (paramedian lobule/neural plasticity/exercise). *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 87, 5568-5572.
- Bliss, T. V. P., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *Journal of Physiology*, 232, 331-356.
- Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Büchel, C., & May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *Journal of Neuroscience*, 28(28), 7031-7035. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0742-08.2008>
- Calabrese, F., Molteni, R., Racagni, G., & Riva, M. a. (2009). Neuronal plasticity: a link between stress and mood disorders. *Psychoneuroendocrinology*, 34 Suppl 1, S208-16. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.05.014>
- Caya-Bissonnette, L., & Béïque, J. C. (2024). Half a century legacy of long-term potentiation. *Current Biology*, 34(13), R640-R662. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2024.05.008>

- Chéreau, R., Saraceno, G. E., Angibaud, J., Cattaert, D., & Nägerl, U. V. (2017). Superresolution imaging reveals activity-dependent plasticity of axon morphology linked to changes in action potential conduction velocity. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*, 114(6), 1401-1406. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607541114>
- Claudino, F. C. de A., Gonçalves, L., Schuch, F. B., Martins, H. R. S., & Rocha, N. S. da. (2020). The effects of individual psychotherapy in BDNF levels of patients with mental disorders: A systematic review. *Frontiers in Psychiatry*, 11, 445. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2020.00445>
- de Faria, O., Gonsalvez, D. G., Nicholson, M., & Xiao, J. (2019). Activity-dependent central nervous system myelination throughout life. *Journal of Neurochemistry*, 148(4), 447-461. <https://doi.org/10.1111/jnc.14592>
- Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C., & May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. *Journal of Neuroscience*, 26(23), 6314-6317. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4628-05.2006>
- Eichenbaum, H. (2011). *The cognitive neuroscience of memory: An introduction* (2nd ed). Oxford University Press.
- Eichenbaum, H. (2017). Memory: Organization and control. *Annual Review of Psychology*, 68, 19-45. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010416-044131>
- Engert, F., & Bonhoeffer, T. (1999). Dendritic spine changes associated with hippocampal long-term synaptic plasticity. *Nature*, 399, 66-70. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/19978>
- Finger, S. (1994). *Origins of neuroscience: A history of explorations into brain function*. Oxford University Press.

- Garland, E. L., & Howard, M. O. (2009). Neuroplasticity, psychosocial genomics, and the biopsychosocial paradigm in the 21st century. *Health & Social Work, 34*(3), 191-199.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience, 23*(27), 9240-9245. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003>
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, a C., Nugent, T. F., Herman, D. H., Clasen, L. S., Toga, A. W., Rapoport, J. L., & Thompson, P. M. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, 101*(21), 8174-8179. <https://doi.org/10.1073/pnas.0402680101>
- Green, E. J., McNaughton, B. L., & Barnes, C. A. (1990). Exploration-dependent modulation of evoked responses in fascia dentata: dissociation of motor, EEG, and sensory factors and evidence for a synaptic efficacy change. *Journal of Neuroscience, 5*, 1455-1471.
- Hebb, D. O. (2012). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Psychology Press.
- James, W. (2018). *Principles of psychology. Volumes I and II*. Pantianos Classics.
- Kessels, H. W., & Malinow, R. (2009). Synaptic AMPA receptor plasticity and behavior. *Neuron, 61*(3), 340-350. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2009.01.015>
- Krech, D., Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1962). Relations between brain chemistry and problem-solving among rats raised in enriched and impoverished environments. *Journal of Comparative and Physiological Psychology, 66*(5), 801-807. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/h0044220>
- Kühn, S., Gleich, T., Lorenz, R. C., Lindenberger, U., & Gallinat, J. (2014). Playing Super Mario induces structural brain plasticity: Gray matter changes resulting from training with a

- commercial video game. *Molecular Psychiatry*, 19(2), 265-271.
<https://doi.org/10.1038/mp.2013.120>
- Lang, C., Barco, A., Zablow, L., Kandel, E. R., Siegelbaum, S. A., & Zakharenko, S. S. (2004). Transient expansion of synaptically connected dendritic spines upon induction of hippocampal long-term potentiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 101(47), 16665-16670. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407581101>
- Lashley, K. S. (1951). The problem of serial order in behavior. En L. A. Jeffress (Ed.), *Cerebral mechanisms in behavior* (pp. 112-131). Wiley.
- Lewkowicz, D. J. (2011). The biological implausibility of the nature-nurture dichotomy and what it means for the study of infancy. *Infancy*, 16(4), 331-367. <https://doi.org/10.1111/j.1532-7078.2011.00079.x>
- Liston, C., McEwen, B. S., & Casey, B. J. (2009). Psychosocial stress reversibly disrupts prefrontal processing and attentional control. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 106(3), 912-917. <https://doi.org/10.1073/pnas.0807041106>
- Lupien, S. J., McEwen, B. S., Gunnar, M. R., & Heim, C. (2009). Effects of stress throughout the lifespan on the brain, behaviour and cognition. *Nature Reviews. Neuroscience*, 10(6), 434-445. <https://doi.org/10.1038/nrn2639>
- Luria, A. R. (1974). *Cerebro y lenguaje* (L. Flaquer, Trad.). Fontanella.
- Luria, A. R. (1979a). Lugar de la psicología entre las ciencias sociales y biológicas. *Infancia y Aprendizaje*, 5, 56-62. <https://doi.org/10.1080/02103702.1979.10821727>
- Luria, A. R. (1979b). *The making of mind* (M. Cole, Trad.). Harvard University Press.
- Luria, A. R. (1982). *Language and cognition* (J. V. Wertsch, Ed.). V. H. Winston & Sons.
- Luria, A. R. (1988). *El cerebro en acción* (M. Torres, Trad.). Ediciones Martínez Roca.

- Luria, A. R., & Tsvetkova, L. S. (1981). *La resolución de problemas y sus trastornos* (M. Cervera, Trad.). Fontanella.
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97(8), 4398-4403. <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>
- McEwen, B. S. (2012). Brain on stress: How the social environment gets under the skin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(Supplement 2), 17180-17185. <https://doi.org/10.1073/pnas.1121254109>
- Milbocker, K. A., Smith, I. F., & Klintsova, A. Y. (2024). Maintaining a dynamic brain: A review of empirical findings describing the roles of exercise, learning, and environmental enrichment in neuroplasticity from 2017-2023. *Brain Plasticity*, 9(1-2), 75-95. <https://doi.org/10.3233/bpl-230151>
- Milner, B., Corkin, S., & Teuber, H.-L. (1968). Further analysis of the hippocampal amnesic syndrome: 14-year follow-up study of H.M. *Neuropsychologia*, 6, 215-234. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90021-3](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90021-3)
- Morizawa, Y. M., Matsumoto, M., Nakashima, Y., Endo, N., Aida, T., Ishikane, H., Beppu, K., Moritoh, S., Inada, H., Osumi, N., Shigetomi, E., Koizumi, S., Yang, G., Hirai, H., Tanaka, K., Tanaka, K. F., Ohno, N., Fukazawa, Y., & Matsui, K. (2022). Synaptic pruning through glial synapse engulfment upon motor learning. *Nature Neuroscience*, 25(11), 1458-1469. <https://doi.org/10.1038/s41593-022-01184-5>
- Mousley, A., Bethlehem, R. A. I., Yeh, F.-C., & Astle, D. E. (2025). Topological turning points across the human lifespan. *Nature Communications*, 16(1), 10055. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-65974-8>

- Ogren, M. P., & Lombroso, P. J. (2008). Epigenetics: behavioral influences on gene function, part I. Maternal behavior permanently affects adult behavior in offspring. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 47(3), 240-244.
<https://doi.org/10.1097/CHI.0b013e3181635e13>
- Olesen, P. J., Westerberg, H., & Klingberg, T. (2004). Increased prefrontal and parietal activity after training of working memory. *Nature Neuroscience*, 7(1), 75-79.
<https://doi.org/10.1038/nn1165>
- Piaget, J. (1969). *Biología y conocimiento*. Siglo XXI Editores.
- Piaget, J. (1978). *Adaptación vital y psicología de la inteligencia*. Siglo XXI Editores.
- Piotrkowicz, M., Janoska-Jazdzik, M., Koweszko, T., & Szulc, A. (2021). The influence of psychotherapy on peripheral brain-derived neurotrophic factor concentration levels and gene methylation status: A systematic review. *Journal of Clinical Medicine*, 10(19), 4424. <https://doi.org/10.3390/jcm10194424>
- Ramón y Cajal, S. (1941). *El pensamiento vivo de Cajal*. Losada.
- Rosenzweig, M. R., & Bennett, E. L. (1996). Psychobiology of plasticity: effects of training and experience on brain and behavior. *Behavioural brain research*, 78(1), 57-65.
[https://doi.org/10.1016/0166-4328\(95\)00216-2](https://doi.org/10.1016/0166-4328(95)00216-2)
- Rosenzweig, M. R., Krech, D., Bennett, E. L., & Diamond, M. C. (1962a). Effects of environmental complexity and training on brain chemistry and anatomy: A replication and extension. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55(4), 429-437.
<https://doi.org/10.1037/h0041137>
- Rosenzweig, M. R., Krech, D., Bennett, E. L., & Zolman, J. F. (1962b). Variation in environmental complexity and brain measures. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 55(6), 1092-1095. <https://doi.org/10.1037/h0042758>

Scholz, J., Klein, M. C., Behrens, T. E. J., & Johansen-Berg, H. (2009). Training induces changes in white-matter architecture. *Nature Neuroscience*, 12(11), 1370-1371.

<https://doi.org/10.1038/nn.2412>

Skinner, B. F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Appleton-Century.

Toni, N., Teng, E. M., Bushong, E. A., Aimone, J. B., Zhao, C., Consiglio, A., Van Praag, H., Martone, M. E., Ellisman, M. H., & Gage, F. H. (2007). Synapse formation on neurons born in the adult hippocampus. *Nature Neuroscience*, 10(6), 727-734.

<https://doi.org/10.1038/nn1908>

Tsvetkova, L. S. (1977). *Reeducación del lenguaje, la lectura y la escritura*. Fontanella.

Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381–403). Academic Press.

Zwiky, E., Borgers, T., Klug, M., König, P., Schöniger, K., Selle, J., Küttner, A., Brunner, L., Leehr, E. J., Dannlowski, U., Enneking, V., & Redlich, R. (2025). Limbic gray matter increases in response to cognitive-behavioral therapy in major depressive disorder.

Translational Psychiatry, 15(1), 301. <https://doi.org/10.1038/s41398-025-03545-7>