



Artículo de revisión

La evolución del aprendizaje: más allá de las redes neuronales

The evolution of learning: beyond neural networks

Alma Dzib Goodin ^{1*}

¹ Learning and Neurodevelopment Research Center- CATEL, Chicago, USA.

Resumen

El tema del aprendizaje, ha sido ampliamente estudiado desde distintas perspectivas y en años recientes gracias al avance tecnológico, ha sido parte de diversos estudios con redes neuronales artificiales, las cuales tienen un punto de engranaje con la evolución de sistemas complejos. El desarrollo de éstas ha permitido comprender cómo la naturaleza ha dotado a los sistemas con la habilidad para adaptarse al medio, que es la línea que permite la pervivencia de las especies, lo cual puede ser clave para la comprensión del aprendizaje, y su necesidad de desarrollarse como un sistema flexible. El presente artículo, centra la investigación en la pregunta: ¿cómo es que el proceso de aprendizaje llegó al cerebro?, y analiza el papel de diversos factores evolutivos relacionados con dicho proceso, desde las proteínas que han heredado la capacidad de ser flexibles en el entorno y cómo este proceso se aplica a sistemas más complejos como las redes neuronales, las cuales han ido moldeando sus características para permitir procesos cognitivos de orden superior como la lectura y la escritura como respuesta evolutiva a la cultura, las cuales se han desarrollado hasta alojarse en la neocorteza, lo cual por supuesto permite el desarrollo del *connectome*, que se caracteriza por la aprehensión de toda acción capaz de crear una respuesta adaptativa al medio.

Palabras clave: aprendizaje, evolución, proteínas, connectome, adaptación al medio

Abstract

Learning has been extensively studied from different perspectives and in recent years thanks to the technological advancement, has been part of several studies with artificial neural networks, which have a point of gear with the evolution of complex systems. The development of these processes have enabled to understand how nature has provided systems with the ability to adapt to the environment, which is the line that allows the survival of the species, which may be the key to understanding of learning and its need to develop as a flexible system. This article focus on the question: How did learning process arrive to the brain? So it discusses the role of diverse evolutionary factors related to learning, since the proteins which have inherited the ability to be flexible into the environment and how this process is applied to complex systems such as neural networks, which have been shaping their characteristics to allow cognitive processes of a higher order such as reading and writing as the evolutionary response to culture and how this makes possible to net on the neocortex, which of course allows the development of the *connectome*, a network characterized by the apprehension of any action which is capable of creating an adaptive response to the environment.

Keywords: learning, evolution, protein, connectome, adaptation to the environment

Introducción

El tema del aprendizaje ha sido desarrollado primordialmente en el área de la educación, como meta específica de las tareas educativas, particularmente en lo que respecta a los problemas específicos del aprendizaje (Defior, 1996) y desde la perspectiva de las neurociencias, se ha analizado los mecanismos anatómico cerebrales de los procesos de la lectura, escritura y aritmética con el fin de ayuda a encontrar estrategias para los niños con dificultades en dichos procesos (Anderson, 1997; Alonso & Fuentes, 2001; Leonard, 2002; Artigas-Pallarés, 2009; Benarós, Lipina, Segretin, Hermida, & Colombo, 2010, Dzib Goodin, 2013).

Sin embargo, han sido pocos los estudios que analicen el papel de la evolución y del aprendizaje como mecanismo natural especializado con la capacidad de apoyar la adaptación al medio ambiente, y con ello la pervivencia de las especies, aún aquellas filogenéticamente menos complejas al cerebro humano (Baldwin, 1896).

La neurología ha estudiado la capacidad de adaptación del cerebro mismo, bajo el principio de plasticidad cerebral mismo que a diferencia de la neurogénesis, la apoptosis o la sinaptogénesis, se refiere a la adaptación en la vías nerviosas y las sinapsis debido a cambios del comportamiento de

los individuos como respuesta al medio ambiente, así como a la capacidad del cerebro para adaptarse en caso de lesiones físicas (Tubino, 2004).

Este concepto viene a modificar la idea de un cerebro fisiológicamente estático y las aplicaciones permiten reconocer los cambios del cerebro durante toda la vida (Coltheart, 1981; Dzib Goodin, 2012) ya que se postula que la plasticidad se produce en diversos niveles, desde cambios celulares y proteínicos hasta la reasignación anatómica cortical como respuesta a una lesión, lo cual se ha estudiado desde hace varios años. Con lo cual se rompen algunos mitos que la sociedad continua sosteniendo, siendo uno de los más arraigados el tema de la rigidez neuronal que supone que no hay modificaciones cerebrales durante el desarrollo y los periodos críticos para el aprendizaje (Dekker, Lee, Howard-Jones, & Jolles, 2012).

En este sentido, surge la necesidad de analizar el tema de la evolución del proceso de aprendizaje en relación a la capacidad de los organismos para adaptarse al medio, partiendo de la necesidad de pervivencia de especies y los cambios que a nivel biológico soportan el proceso. De ahí que para la neurociencia surge un campo de investigación bajo una pregunta un tanto atrevida, pero que gracias a investigaciones recientes es factible lanzar: ¿puede existir aprendizaje sin un cerebro?, ¿el aprendizaje a nivel cerebral obedece a procesos evolutivos determinados?.

La respuesta puede residir en las bases moleculares, en las redes neuronales y la conformación de la neocorteza y la influencia de la cultura.

* Correspondencia: alma@almadzib.com. Learning and Neurodevelopment Research Center (CATEL). 6450 Cape Cod Court, Lisle, Illinois. US.
Recibido: 09-11-12. Revisión desde: 30-04-13. Aceptado: 25-06-13.

Las bases moleculares

La creencia generalizada de que se requiere un sistema nervioso complejo para que sea posible la adaptación al medio o bien un cambio que desencadene una reacción nueva en un organismo ha quedado atrás y se ha comenzado a reconocer que las redes químicas pueden evolucionar en sistemas simples que permiten analizar la capacidad para operar rutinas por parte de un organismo con fines adaptativos en el ambiente. Ejemplo de esto son los estudios sobre las mutaciones víricas, muestras químicas creadas *in silico* (McGregor, Vasas, Husbands, & Fernando, 2012; Valerio, & Choudhuri, 2012; Liu, Zhou, Cui, Cao, & Xu, 2012), o bien el estudio de *los priones*, que han abierto la puerta a la comprensión de los mecanismos de adaptación a nivel proteínico.

La relación entre estos estudios y el aprendizaje es la capacidad de los virus para mutar, creando mecanismos de adaptación que bloquean el efecto de los fármacos y sobrevivir en el huésped, para mencionar solo tres ejemplos de la capacidad de los virus se pueden mencionar el caso de la Hepatitis B (Kwei et al., 2012), el virus de Ebola, (Martínez et al., 2013) y el virus del SIDA (Ellis et al., 2013), lo cual permite comprender que hay mecanismos primigenios en las especies derivados de un principio común (los coacervados). capaz de mutar y abrir camino a miles de formas de vida conocidas, existentes y extinguidas.

Si bien no se puede estudiar fehacientemente el origen de la vida, actualmente existen investigaciones centradas en el papel de las proteínas y la capacidad de adaptación y cambio ante el entorno, con principios moleculares distintos a los virus ya que no contienen ADN, lo cual ha traído a la neurociencia el estudio del *proteome* desde hace poco más de una década (Zhu et al., 2001).

La relación de éstas con el aprendizaje se centra en la capacidad de mutación proceso compartido con los virus y como se verá más adelante, con las redes neuronales, por lo que algunos sospechan, son la clave para comprender un proceso primitivo de aprendizaje, pensando que se define aprendizaje como la capacidad de adaptación al medio. En este sentido, los estudios actuales se centran en los priones.

Un prion es una proteína patógena con estructura alterada, la cual se ha demostrado que tiene un papel activo en el desarrollo neuronal normal, pues se presenta en procesos de oxireducción y la transducción de señales, la adhesión celular, así como la regulación y distribución de los receptores de acetilcolina (Zou, Zheng, Gray, Gambetti, & Chen, 2004; Prusiner, 2012).

Sin embargo, en un estado patógeno es capaz de crear enfermedades que se presentan tanto en humanos como en animales, y crean una familia de desordenes raros y neurodegenerativos que se distinguen por largos periodos de incubación, pero una vez que se presentan los síntomas son progresivos y mortales.

Entre las enfermedades causadas por priones se encuentran la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y su variante, el síndrome Gerstmann-Strausker-Scheinker, el insomnio familiar fatal, la encefalopatía espongiiforme familiar y el Kuru (Zou et al., 2003; Weissmann, 2012).

Mientras que en los animales se encuentran asociadas a la enfermedad de las vacas locas, el prurito lumbar y la encefalopatía espongiiforme felina.

Un prion es básicamente una glicoproteína de 27-30 kD que tiene la misma estructura primaria que una proteína normal, pero que presenta una modificación estructural no genética, debido a un proceso de postproducción (Kong et al., 2004; Liu, Zhou, Cui, Cao, & Xu, 2012).

Debido a un plegamiento erróneo, lo que debería ser una Prp que tiene una estructura de hélice y 4 regiones de proteína globular, se convierte en una PrpSc que tiene una estructura lámina y es una proteína plana, eso le permite crear daño neurológico irreversible en quienes la portan, creando mecanismos de adaptación al medio en el huésped ya que cuando un prion se activa en un organismo induce a las proteínas existentes a polimerarse que es un agregado que consiste en láminas beta estrechamente empaquetados lo que permite la proliferación del prion creando un crecimiento lineal y la rotura de las células adyacentes (Li, Browning, Mahal, Oelschlegel, & Weissmann, 2010; Castellani et al., 2004).

En este sentido, las investigaciones apuntan a que no es necesario un organismo complejo para adaptarse al ambiente, mutar, atraer formas de nutrición y cambiar un sistema hasta llevarlo al colapso o bien alcanzar un nivel evolutivo extraordinario como el caso de los seres humanos.

Sin embargo, si bien los procesos proteínicos pudieran ser una clave para comprender el aprendizaje, en algún momento del paso entre proteínas y seres complejos, hasta llegar a especies diferenciadas, se encontró en el entorno un concepto clave para la excelencia humana, que es la cultura.

Aprendizaje, procesos complejos y su relación con la cultura

Si las proteínas fueron el principio, la distancia entre ellas y los seres complejos es enorme, es por ello que los estudios se centran en los procesos de adaptación y en el caso del cerebro humano, la investigación actual se centra en la capacidad de cambios adaptativos a partir de los procesos superiores generados gracias al *connectome* que es un mapa de las conexiones neuronales, y que busca describir la estructura cerebral, pues así como el genoma es más que una yuxtaposición de genes, el conjunto de conexiones neuronales es mucho más que la suma de sus componentes individuales y se ha reconocido que tiene una gran flexibilidad generada por principios como la plasticidad cerebral (Biswal et al., 2010; Zuo et al., 2012).

El *connectome* contiene millones de veces más conexiones que las letras del genoma, y la capacidad de moldearse a partir de las interacciones con el medio, por lo que cada uno crea o moldea su propio *connectome* a partir de las experiencias con el medio, el cual se forma a partir de 4 principios: *reponderación* que significa cambios en la fortaleza de las sinapsis; *reconexión* que es la creación y eliminación de sinapsis; *recableado* que es la creación y eliminación de ramas neuronales y *regeneración* que es la creación y eliminación de neuronas (Seung, 2010; 2012), que son principios más complejos que la simple mutación presentada por virus o proteínas en su necesidad de adaptación.

A esto se le han de sumar los miles de años de evolución en que estos procesos se han desarrollando, pues como explica Dehaene (2011) el cerebro representa la respuesta de la evolución lenta de las especies gobernadas por el principio de la selección natural, que se ha perfeccionado a lo largo de los años permitiendo al cerebro optimizar la forma en que procesa el enorme flujo de información sensorial recibida para adaptar las reacciones del organismo a un ambiente competitivo y a veces hostil (Dehaene, 2009).

Esta adaptación al medio es la clave para la pervivencia de la especie, sin embargo, aún hay cambios que se gestan a partir de los elementos disponibles.

En un sistema diseñado por el hombre, los cableados y funciones usualmente se organizan a partir de procesos en perfecto orden y funcionalidad a partir de patrones deseables, pero la naturaleza aún está experimentando con los recursos con los que cuenta es por ello que crea sistemas flexibles que permitan al ser humano crear respuestas creativas y adaptadas al medio ambiente, buscando respuestas lo más eficientes posibles.

En este sentido los sistemas naturales continúan experimentando y haciendo adaptaciones en busca de mejoras, una de las primeros intentos por explicar esto a gran escala fue el llamado *Efecto Baldwin* (Hilton & Nowlan, 1984; Baldwin, 1896), también conocido como la *evolución ontogénica* que es una teoría del probable proceso evolutivo del aprendizaje, la cual fue publicada por primera vez en 1896. La teoría propone un mecanismo para la capacidad de aprendizaje en general, pues los descendientes seleccionados de un grupo, pueden tener mayor capacidad de aprender nuevas habilidades en lugar de limitarse a las capacidades otorgadas por el código genético el cual es relativamente rígido.

Sin embargo, la evolución ontogénica ha recibido distintas críticas, en parte por que es muy difícil controlar los cambios ambientales en las especies superiores. Pero permitió ver a las entidades biológicas desde una perspectiva distinta, por lo que bajo el supuesto de que el cerebro y por supuesto la especie, se puede adaptar y aprender de la experiencia pasada, pues la evolución específica no solo conductas heredadas sino que agrega *metas* heredadas que son usadas para guiar el aprendizaje a partir de dos componentes en las especies.

El primer componente es un grupo de valores iniciales para crear una red de acción que mapea la entrada sensorial para la conducta, la cual se presentan como un conjunto de conductas innatas que son heredadas de los padres (Nolfi, Elman, & Parisi, 1994; Barret, 2012).

El segundo componente es una *red de evaluación* que centra la acción en la entrada sensorial a un valor escalar que ayuda a moverse de una mala a una buena situación modificando su peso en la acción de la red durante el proceso y que los individuos mantienen como metas de aprendizaje (Nolfi et al., 1994).

En este sentido se puede decir que la evolución de las redes neuronales contiene información no solo en términos genéticos, sino también una colección de conductas desarrolladas por los antecesores que puede ser comprendida como la *cultura* (Nolfi & Parisi, 1996; Conrad, 2004; Dehaene, 2009).

El concepto de cultura surgió de la antropología, buscando abarcar una amplia gama de fenómenos humanos que no pueden atribuirse a la

herencia genética, centrándose específicamente en dos significados: (1) la capacidad humana de clasificar y representar experiencias con símbolos, a partir de la imaginación y la creatividad y, (2) las diferentes maneras en que las personas viven representando su experiencia en el medio ambiente (Kohls, 2001).

Es entonces que la cultura tiene un papel primordial debido a que las adaptaciones en el entorno no siempre están determinadas por un código genético cerrado e inflexible y por ende es difícil establecer si las acciones sobre el ambiente se deben a pre programaciones genéticas o bien por mecanismos establecidos por la selección natural que permiten la adaptación como en el caso de los virus y las proteínas generando respuestas específicas al entorno (incluidos los cambios en el entorno social el ambiente físico).

El mejor ejemplo de ello es el lenguaje, ya que anteriormente la especie no era dependiente del habla, hasta que comienzan a evolucionar las capacidades lingüísticas, es así que los procesos de desarrollo que no habían participado con anterioridad en la lengua pueden ser objeto de selección debido a sus efectos en la adquisición del lenguaje, dando por resultado la modificación de adaptaciones cognitivas mayores (Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005; Dick & Roth, 2008; Dehaene, 2009; Barret, 2012).

Sin embargo, la cultura no se refleja en la evolución de todo el cerebro, al menos así lo explica Stanislas Dehaene (2004) en su teoría del reciclado neuronal, cuando dice que las adquisiciones culturales pueden tener lugar en un área limitada de la superficie y acotada por la corteza cerebral. Como ejemplo de esto, el autor analiza la lectura y la aritmética que tienen mayor reproductibilidad en la neocorteza (Dehaene, 2004; Dehaene et al., 2005; Dehaene, 2009).

La teoría de Dehaene ha generado diversas líneas de investigación, por ejemplo en un artículo publicado por Conrad (2004) se presenta una teoría sobre la conformación del sistema nervioso central basado en el procesamiento de la información a partir de la descripción de los sistemas biológicos moleculares. En ella explica que el Sistema Nervioso Central consta de varios tipos de regiones unitarias de las cuales hay muchas replicas intercambiables.

Cada región contiene neuronas cuyo encendido está determinado por las enzimas que reconocen los patrones de entrada específicos de esa región determinados por los genes heredados. Finalmente, el Sistema Nervioso Central tiene circuitos de selección que ponen prueba y evaluación distintas regiones, determinando el control de la producción de genes sobre la base de dicha evaluación (Conrad, 2004; Fernando, & Szathmáry, 2010; Fernando, Szathmáry, & Husbands, 2012).

Al mismo tiempo, existen genes cuya producción es estimulada de manera difusa en las regiones en las que se producen para transformar otras regiones competentes del mismo tipo. En este sentido, la función de las moléculas es la misma en estas nuevas regiones porque la estructura del tejido y propiedades celulares son los mismos (McGregor, Vasas, Husbands, & Fernando, 2012).

Esto hace posible un proceso de ensayo y error para aprender a ser mediada por los mismos mecanismos que la evolución natural, excepto que es más eficiente debido a los circuitos de selección. Los sistemas que operan sobre la base anterior son capaces de realizar cualquier operación ejecutable como una computadora convencional, pero con ciertas restricciones importantes sobre la programación. Así, estos sistemas también son (estructuralmente) más simples que los dispositivos convencionales de procesamiento de la información y más susceptibles de aprendizaje y evolución (Dehaene & Changeaux, 1993; Conrad, 2004; Lotem & Halpern, 2012).

Esto es claro ya que durante la evolución del cerebro, las propiedades de desarrollo de los tejidos del cerebro están sujetas a modificación evolutiva a partir de los efectos sobre los fenotipos del cerebro. Esto puede ser iniciado por los cambios en los sistemas de desarrollo (por ejemplo, a través de la mutación), los cambios en el entorno en el que se desarrollan (cultura, ambiente), o ambas cosas (Zollo & Winter, 2002; Risi, Hughes, & Stanley, 2010; Barret, 2012; Weber, 2012).

Una idea de cómo ocurre esto es brindada por Fernando, Szathmáry y Husbands (2012) quienes afirman que la evolución darwiniana puede suceder en el cerebro durante por ejemplo, el pensamiento complejo, o el desarrollo del lenguaje en los niños, aunque nada más allá del nivel de la sinapsis se somete a la evolución darwiniana en el cerebro.

Evolutivamente, la ventaja de con algoritmos de replicación que tienen lugar por la selección natural no es observable a simple vista comparada con los modelos de aprendizaje instrumental (Fernando & Szathmáry, 2010). De hecho, la noción de la dinámica de réplica en el cerebro sigue siendo controvertido y la creación de redes neuronales es un

proceso costoso que depende del desarrollo tecnológico, ejemplo de ello es el Blue Brain Project (Krushner, 2011).

Redes neuronales adaptables

Es así que los avances tecnológicos hacen posible la *creación* de redes neuronales que intenta simular la capacidad biológica para adaptarse y aprender de la experiencia pasada que tiene el cerebro.

Sin embargo, aun para los expertos en redes neuronales, la tarea de explicar los mecanismos del aprendizaje no han sido sencillo, pues como explican Iriki y Taoka, (2012) la evolución cerebral tiene 3 componentes esenciales para el proceso: el primero se refiere al desarrollado por la integración multisensorial (ver, oír, oler, sentir), el segundo implicó la transformación de coordenadas para el control de los movimientos en el espacio habitado que es una función esencial del sistema nervioso (lo que se conoce como nicho ecológico). Pero esta mejora neural no es un evento aislado, ya que permitió al cerebro pasar del procesamiento al resumen de información, mediante la aplicación y reutilización de los principios existentes del procesamiento de información espacial que se adaptó para el sometimiento de las funciones mentales y que en última instancia condujo al desarrollo de la lengua con lo que fue posible comunicar localizaciones o espacios, lo cual dio lugar a un nicho cognitivo que involucra al lenguaje, y la comprensión numérica (Dehaene, 1992; Butterworth, 1999; Lieberman, 2002; Haesler, 2007; Ionescu, 2011; Ehn & Laland, 2012).

Aunado a esto, también fue útil la manipulación de la imagen del cuerpo en el espacio, lo cual se volvió indispensable para el manejo de herramientas, que dio como resultado la aceleración de los vínculos interactivos entre las bases neuronales y cognitivas lo cual dio paso al tercer mecanismo que es el de construcción de herramientas para dar respuesta al ambiente diseñando elementos útiles para el cambio ambiental (Iriki & Taoka, 2012).

Esto explica que un ambiente humano modificado ejerce presión sobre las generaciones venideras para adaptarse a él, tal vez mediante la adquisición de nuevos recursos que se han de adecuar a los diferentes órganos, con lo cual es posible explicar la plasticidad inducida *epigenéticamente*, incluyendo el desarrollo de mecanismos de aprendizaje que participan en tales procesos. De esta manera, la información genómica adicional puede ser transmitida entre generaciones a través de las interacciones mutuas entre los nichos ecológico, neuronal y los dominios cognitivos. Este escenario permite comprender al cerebro humano como parte de un ecosistema integral en evolución (Ackley & Littman, 1991; Iriki & Taoka, 2012; Lock & Gers, 2012).

Es así que la lección fisiológica es que la adaptación al medio no es un mecanismo creado a partir de un cerebro flexible que aprende de las experiencias de los organismos que lo portan, sino una herencia evolutiva creada para que los elementos aún los más simples y más adelante las especies se desarrollen y sobrevivan (Conrad, 2004; Halfmann et al., 2012; Collins & Koehlin, 2012).

Es así que el estudio del aprendizaje como proceso complejo, capaz de brindar una respuesta adaptativa, empleada por sistemas tan simples como los virus o los priones fue modificándose con el proceso evolutivo como respuesta de adaptación y heredada entre las especies dando lugar a otros procesos más complejos como las redes neuronales que actualmente se estudian en su conjunto con el nombre de *connectome* y que tratan de emularse con la creación de redes neuronales artificiales que permitan identificar los principios de los procesos complejos a nivel cerebral.

Redes neuronales artificiales

Como un intento de comprender los procesos adaptativos y las respuestas ante el ambiente surge la *neuroevolución* como campo de estudio, la cual busca la creación de Redes Neuronales Artificiales (RNA) a través de algoritmos evolutivos, y que a veces ha centrado sus esfuerzos en las redes neuronales estáticas, las cuales no pueden cambiar los mecanismos de respuesta, ya que son las más sencillas de replicar por medios artificiales (Gauci & Stanely, 2010; Miikkulainen et al., 2012).

Tomar el reto ha llevado un largo tiempo de aprendizaje, ya que cómo bien sabe Henry Markram, al cerebro le ha llevado billones de años evolucionar y tiene muchas reglas, por lo que el reto de la neuroevolución es describirlas cuidadosamente empleando leyes matemáticas y si es posible lograr eso, el reto entonces será construir un modelo realista del cerebro (Kushner, 2012).

Sin embargo, los sistemas simples como la creación de la red neuronal motora no resultan suficientes para explicar la complejidad del aprendi-

zaje en ambientes cotidianos, ya que un gran problema con la evolución de los sistemas adaptativos artificiales es que aprender a aprender es un proceso muy engañoso, como explican Risi, Hughes y Stanley (2010), porque las respuestas ante el medio no se basan en la adaptación heurística, esto es aprender una tarea rígida sin mayor toma de decisiones, lo cual es un modelo alejado de la realidad a la que se enfrentan cada día las especies en su lucha por mantenerse sobre la faz de la tierra.

Es por ello que los estudios con redes neuronales toman en cuenta un principio que hace más complejo al sistema, ya que el cerebro aprende a manipular la información bajo principios combinatorios, ampliamente flexibles, adaptables y combinables (Mennes, Kelly, Colcombe, Castellanos, & Milham, 2012).

¿Cómo se adaptan entonces los procesos de aprendizaje?

Si como se ha analizado las redes neuronales son flexibles, a partir de mecanismos biológicos y evolutivos posiblemente compartidos por los virus y las proteínas como es el caso de los priones, los procesos relacionados con el aprendizaje también lo son.

En el ámbito de la *metacognición* desde hace algunos años se comenzó a hablar del pensamiento flexible como habilidad y algunos comenzaron a desarrollar investigación desde la perspectiva educativa. Pero hay autores como Ionescu (2011) que explican que la flexibilidad es una propiedad cognitiva del sistema y no una habilidad que se adquiera en el entorno, por supuesto esto tiene sentido si como especie la meta es adaptarse.

Esa flexibilidad parece estar relacionada a nivel bioquímico con la motivación, la cual por supuesto va de la mano del proceso de la memoria, sin embargo aún no se logra dilucidar del todo sus componentes, pues comprende aspectos citoarquitectónicos, bases celulares y la forma en que las redes neuronales codifican los recuerdos, y la manera en que se recuperan (Ruiz Vargas, 2000; Marin Padilla, 2001; Mennes et al., 2012).

Junto con la memoria y la motivación se analiza el papel de la capacidad de razonamiento y toma de decisiones y para ello es necesario dirigir las acciones y el aprendizaje con el fin de maximizar las recompensas, cuando no se tiene éxito en algo, se reformula la acción y el plan de acción, a partir de lo que se encuentra en el almacén de la memoria a largo o mediano plazo, se analizan las posibilidades, y la probabilidad de éxito, sin embargo como lo explican Collins y Koechlin (2012), la función ejecutiva humana tiene una capacidad de supervisión limitada a tres o cuatro estrategias de comportamientos.

Esta limitación es compensada por la estructura binaria de control ejecutivo que en situaciones ambiguas y desconocidas promueve la exploración y creación de nuevas estrategias de comportamientos. Los resultados apoyan un modelo de función frontal humana que integra habilidades de razonamiento, aprendizaje y creativas al servicio del comportamiento de toma de decisiones con el fin de lograr la adaptación (McGilchrist, 2011).

Hay algunos otros elementos que interactúan en el aprendizaje y su flexibilidad como la senso percepción, pues sin entrada de estímulos ambientales las compensaciones del sistema cognitivo son mayores. Tal es el caso de las personas sordas ciegas, quienes son capaces de aprender, pero bajo contextos sensoriales específicos, lo cual hace que el proceso dependa de un sistema en constante alerta y adaptación (Lotem & Halpern, 2012; Iriki & Taoka, 2012).

Es por eso que en el tema del aprendizaje no deben dejarse de lado los procesos adaptativos y el rol de la evolución de los organismos (Nolfi & Parisi, 1996), la flexibilidad cerebral que permite una mejor adaptación al medio y con ello un aprendizaje más provechoso, el papel de la cultura y las adaptaciones consecuentes como respuestas ejecutivas que retroalimentan a todo el proceso (Fernando & Szathmáry, 2010; Fernando, Szathmáry, & Husbands, 2012).

A pesar de ello, el cerebro de los humanos nace con más herramientas de las necesarias ya que no es posible saber que herramientas cognitivas se van a necesitar a lo largo de la vida a partir del ambiente circundante, por lo que el proceso evolutivo crea primariamente habilidades otorgadas genéticamente similares todos en la especie, y será el modelamiento ambiental lo que le permita ir determinando cuales son las aquellas secuencias adecuadas para conservar y que sea posible la adaptación al medio (Tubino, 2004; Dehaene, 2004).

Para ello, el proceso evolutivo en general, específicamente hablando de los cerebros humanos y redes neuronales, requiere de múltiples repeticiones de movimiento o de acciones de aprendizaje, que proveen de respuestas ante el ambiente, lo cual genera en el cerebro conexiones entre sus unidades estructurales que se constituyen como la base de la organización

de las sensaciones, las emociones, el aprendizaje, la memoria, el pensamiento y el lenguaje. De ahí que cada experiencia sea una estructura de la cadena de eventos que culminan en el desarrollo del aprendizaje como conjunto de respuestas modeladas ante la cultura y el ambiente (Lieberman, 2002; Collin & Koechlin, 2012).

Para ello, la naturaleza dotó al cerebro de mecanismos específicos, por ejemplo el cerebro se pliega sobre sí mismo, buscando economizar y aprovechar al máximo sus engranajes y, de este modo, dar mejores respuestas a las necesidades medio ambientales a las que se enfrenta (Marin Padilla, 2001; Lieberman, 2002), ya que con ello mantendrá aquellas conexiones cerebrales que sean útiles en respuesta a la interacción con el medio y otras personas (Hinton & Nowlan, 1987; Anderson, 1997; Dick & Roth, 2008; Risi, Hughes, & Stanley, 2010).

Pero, esta visión no es blanco y negro, si bien existen heredados por los miles de años de evolución de la especie, el aprendizaje en el caso de los humanos está ligado con la cultura y la estimulación del entorno, si bien los niños aprenden respuestas por sí mismos, éstas deberán desarrollar aquellas conexiones cerebrales que se manifestarán en habilidades de aprendizaje social y culturalmente aceptables, ya sea en las áreas del lenguaje, pensamiento o en actividades motoras dependiendo de las necesidades ante el entorno (Pinker, 1995; Olarreta, 2005; Villarroel Villamor, 2009).

Aprendiendo del aprendizaje

Comencé este artículo con la pregunta si puede existir aprendizaje sin cerebro y cómo llegó este proceso a ser tan complejo, partiendo del recorrido entre los virus, los priones, las redes neuronales y sus procesos evolutivos que dieron paso al cerebro complejo que actualmente se estudia con tanto ahínco.

Los priones, que son material proteínico sin ADN permiten analizar que la adaptación al medio en los medios naturales da como resultado la búsqueda de mecanismos capaces de mutar para imitar a otras proteínas y que estos principios moleculares pueden ser el principio rector de las redes neuronales que son flexibles y se ajustan como respuesta al medio ambiente y cultural de manera tan coordinada, que se ha buscado emularlas en sistemas artificiales.

Esto muestra que aunque el aprendizaje está genéticamente programado, existen principios que permiten que el sistema, cualquiera que este sea, logre lo mejor de sí mismo. Por un lado, se encuentra la flexibilidad cerebral con elementos que permitan la interconexión neuronal probablemente heredada de los elementos más primitivos de la evolución en la faz de la tierra, ya que se encuentra que todas las especies por más elementales tienen la capacidad para el desarrollo de respuestas ante el entorno habilidades. De ahí se cree que los sistemas más básicos son aquellos que dan respuesta ante los estímulos del medio, como son los procesos sensoriales, luego sistemas de movimiento ante dichos estímulos y finalmente procesos cognitivos, capaces de crear cambios ya sea a través de herramientas o de ideas para resolver problemas (Dick & Roth, 2008; Villarroel Villamor, 2009; Benarós et al., 2010).

En segundo lugar, debe existir la necesidad de aprender esquemas integrados útiles dentro del ambiente. Este principio de la lucha de las conexiones más fuerte se hará evidente a lo largo de todo el desarrollo cerebral (Marin Padilla, 2001). Esto sucede aún en situaciones donde las estructuras cerebrales no se integran del todo, como en los trastornos del desarrollo (Leonard, 2002; Dzib, 2010), debido a que aun en esos casos, la respuesta del organismo se centra en las exigencias del entorno a las que debe de dar respuesta (Risi, Hughes, & Stanley, 2010; Dzib Goodin, 2012).

Además, cabe mencionar que la base de todo aprendizaje social es el lenguaje, este es necesario para la lectura, la escritura y el aprendizaje de las matemáticas, de las cuales, solo los números están genéticamente programados como parte del repertorio de habilidades puestas para la sobrevivencia de la especie (Alonso & Fuentes, 2001; Leonard, 2002; Dehaene & Cohen, 2007; Lock & Gers, 2012).

Ambos son la respuesta de procesos adaptativos necesarios para el mejoramiento cultural. No así la lectura y la escritura, que surgen en fechas muy recientes en la historia de la humanidad, prácticamente con el perfeccionamiento de la imprenta y que no han sido parte del desarrollo del niño dentro de la familia hasta que la escuela se convierte en una institución formal socialmente (Pinker, 1995; Olarreta, 2005; Artigas-Pallarés, 2009; Leonard, 2002; Haesler, 2007; Lock & Gers, 2012).

Para finalizar, esta perspectiva evolutiva, rompe con el mito ampliamente conocido de que las diferencias cerebrales marcan el destino, como es posible analizar, la adaptación es una capacidad primigenia, que depende del entorno, de tal suerte que un niño con trastornos del

desarrollo, bajo los principios correctos, es capaz de adaptarse y finalmente, aprender.

Referencias

- Ackley, D., & Littman, M. (1991). Interactions between learning and evolution. En C. G. Langton, C. Taylor, J. D. Farmer, & S. Rasmussen (Eds.), *Artificial life II, SFI studies in the sciences of complexity*. (pp. 487-510). United States: Addison-Wesley.
- Alonso, D., & Fuentes, L. (2001). Mecanismos cerebrales del pensamiento matemático. *Revista de Neurología*, 33(6), 568-576.
- Anderson, R. (1997). A neurocognitive perspective on current learning theory and science instructional strategies. *Science Education*, 81, 67-89.
- Artigas-Pallarés, J. (2009). Dislexia: enfermedad, trastorno o algo distinto. *Revista de Neurología*, 48(Supl 2), S63-S69.
- Baldwin, J. A. (1896). A New Factor in Evolution. *American Naturalist* 30, 441-451, 536-553.
- Barret, H. C. (2012). A hierarchical model of the evolution of brain specializations. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 19(Supl 1), 10733-10740.
- Benarós, S., Lipina, S. J., Segretin, M. S., Hermida, M. J., & Colombo, J. A. (2010). Neurociencia y educación: hacia la construcción de puentes interactivos. *Revista de Neurología*, 50(3), 179-186.
- Biswal, B. B., Mennes, M., Zuo, X. N., Gohel, S., Kelly, C., Smith, S. M., ... Milham, M. P. (2010). Toward discovery science of human brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4734-4740.
- Butterworth, B. (1999). *The mathematical brain*. London: MacMillan.
- Castellani, R. J., Colucci, M., Xie, Z., Zou, W., Li, C., Parchi, P., Capellari, S., Pastore, M., Rahbar, M. H., Chen, S. G., & Gambetti, P. (2004). Sensitivity of 14-3-3 Protein Test Varies in Subtypes of Sporadic Creutzfeldt-Jakob Disease. *Neurology*, 63(3), 436-42.
- Collins, A., & Koehlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: Frontal lobe function and human decision-making. *Plos Biology*, 10(3), e1001293. doi:10.1371/journal.pbio.1001293
- Coltheart, M. (1981). Disorders of reading and their implications for models of normal reading. *Visible language*, 15(2), 245-286.
- Conrad, M. (2004). Evolutionary learning circuits. *Journal of theoretical Biology*, 46(1), 167-188.
- Defior, S. (1996). *Las dificultades del aprendizaje un enfoque cognitivo: lectura, escritura, matemáticas*. España: Aljibe.
- Dehaene, S. (1992). Varieties of numerical abilities. *Cognition*, 44, 1-42.
- Dehaene, S., & Changeaux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 390-407.
- Dehaene, S. (2004). Evolution of human cortical circuits for Reading and arithmetic: the neuronal recycling hypothesis. En S. Dehaene, J. R. Duhamel, M. Hauser & G. Rizzolatti (Eds.), *From monkey brain to human brain* (pp. 133-158). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural Recycling of cortical maps. *Neuron*, 56(2), 384-398.
- Dehaene, S. (2009). *Reading in the brain: The science and evolution of a human invention*. USA: Viking, Penguin Group.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. USA: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9, 335-341.
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuro-myths in education: Prevalence and predictors of mis-conceptions among teachers. *Frontiers in Educational Psychology*. Available at: http://www.frontiersin.org/Educational_Psychology/10.3389/fpsyg.2012.00429/full
- Dick, U., & Roth, G. (2008). Intelligence evolved. *Scientific American mind*, 19(4), 70-77.
- Dzib Goodin, A. (2010). Alteraciones del desarrollo por dificultades perinatales y la confusión con los trastornos del espectro autista. *Revista de Neuropsicología*, 5(1), 4-9.
- Dzib Goodin, A. (2012). El virus HHV-6 y sus efectos en el neurodesarrollo: un estudio de caso. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 13(3), 150-153.
- Dzib Goodin, A. (2013). La arquitectura cerebral como responsable del proceso de aprendizaje. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 14(2), 81-85.
- Ehn, M., & Laland, K. (2012). Adaptive strategies for cumulative cultural learning. *Journal of Theoretical Biology*, 301, 103-111.
- Ellis, G. M., Vlaskin, T. A., Koth, A., Vaz, L. E., Dross, S. E., Beck, I. A., & Frenkel, L. M. (2013). Simultaneous and sensitive detection of human immunodeficiency virus type 1 (HIV) drug resistant genotypes by multiples oligonucleotide ligation assay. *Journal of Virological Methods*, 192(1-2), 39-43.
- Fernando, C., & Szathmáry, E. (2010). Natural selection in the brain. En B., Glatzeder, V. Goel, & A. Muller (Eds.), *Towards a theory of thinking: building blocks for a conceptual framework* (pp. 291-322). Alemania: Springer.
- Fernando, C., Szathmáry, F., & Husbands, P. (2012). Selectionist and evolutionary approaches to brain function. A critical appraisal. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 6(Art. 24). Disponible en http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC_3337445/pdf/fncom-06-00024.pdf
- Gauci, J., & Stanley, K. O. (2010). Autonomous evolution of topographic regularities in artificial neural networks. *Neural Computation*, 22(7), 1860-1898.
- Haesler, S. (2007). Programmed for speech. *Scientific American Mind*, 18(3), 66-71.
- Halfmann, R. Jarosz, D. F. Jones, S. K., Chang, A, Lancaster, A. K., & Linquist, S. (2012). Prions are a common mechanism for phenotypic inheritance in wild yeast. *Nature*, 482, 363-368. doi:10.1038/nature10875
- Hinton, G. E., & Nowlan, S. J. (1987). How learning can guide evolution. *Complex Systems*, 1, 495-502.
- Ionescu, T. (2011). Exploring the nature of cognitive flexibility. *New Ideas in Psychology*, 30(2), 190-200.
- Iriki, A., & Taoka, M. (2012). Triadic (ecological, neural, cognitive) niche construction: a scenario of human brain evolution extrapolating tool use and language from the control of reaching actions. *Philosophical Transactions of the Royal Society Biological Science*, 367, 10-23.
- Kohls, L. R. (2001). *Survival kit overseas living: for americans planning to live and work abroad*. USA: Intercultural Press.
- Kong, Q., Goldfarb, L., Gabizon, R., Montagna, P., Lugaresi, E., Piccardo, P., Petersen, R. B., Parchi, P., Chen, SG., Capellari, S., & Ghetti, B. (2004). Inherited Prion Diseases. En SB, Prusiner (Eds.), *Prion Biology and Diseases* (pp. 673-776). Cold Springs Harbor Laboratory Press.
- Krushner, D. (2011). The man who builds brains. *The Brain, Discovery Magazine*. Disponible en red: <http://discovermagazine.com/2009/dec/05-discover-interview-the-man-who-builds-brains>
- Kwei, K., Tang, X., Lok, A. S., Sureau, C., García, T., Li, J., Wands, J., & Tong, S. (2012). Impaired Virion secretion by hepatitis B virus Immune escape mutants and its rescue by wild-type envelope proteins or second site mutation. *Journal of virology*, 87(4), 2352-2357.
- Leonard, L. (2002). *Children with specific language impairment*. Boston: MIT Press.
- Li, J., Browning, S., Mahal, S. P., Oelschlegel, A. M., & Weissmann, C. (2010). Darwinian evolution of prions in cell culture. *Science*, 327(5967), 869-872.
- Lieberman, P. (2002). On the nature and evolution of the neural bases of human language. *American Journal of Physiology and Anthropology*, 45, 36-62.
- Liu, Q., Zhou, H., Cui, J., Cao, Z., & Xu, Y. (2012). Reconsideration of In-Silico siRNA design based on feature selection: A cross-platform data integration perspective. *Plos One*, 7(5), e37879. doi:10.1371/journal.pone.0037879
- Lock, A., & Gers, M. (2012). The cultural evolution of written language and its effects: A Darwinian process from prehistory to the modern day. En E. L. L., Grigorenko, E. Mambrino, D. D., Preis (Eds.) *Writing: A mosaic of new perspectives* (pp. 11-36). New York: Psychology Press, Taylor & Francis Group.
- Lotem, A., & Halpern, J. Y. (2012). Coevolution of learning and data acquisition mechanisms: a model for cognitive evolution. *Philosophical transactions the Royal Society: Biological Science*, 367(1063), 2686-2694.
- Marin Padilla, M. (2001). Evolución de la estructura de la neo-corteza del mamífero: nueva teoría citoarquitectónica. *Revista de Neurología*, 33(9), 843-853.

- Martínez, O., Ndungo, E., Tantral, L., Happy Miller, E., Leung, L. W., Chandran, K., & Basler, C. F. (2013). A mutation in the Ebola virus envelope glycoproteins restricts viral entry in a host species- and cell type-specific manner. *Journal of Virology*, 87(6), 3324-3334.
- McGilchrist, I. (2011). *The divided brain*. RSA Animated. Disponible en red: <http://www.youtube.com/watch?v=dFs9WO2B8uI>.
- McGregor, S., Vasas, V., Husbands, & Fernando, C. (2012). Evolution of associative learning in chemical networks. *Plos Computational Biology*. Disponible en <http://www.ploscompbiol.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pcbi.1002739>
- Mennes, M., Kelly, C., Colcombe, S., Castellanos, F. X., & Milham, M. P. (2012). The extrinsic and intrinsic functional architectures of the human brain are not equivalent. *Cerebral Cortex*. Disponible en red: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/early/2012/01/31/cercor.bhs010.full.pdf+html>
- Miikkulainen, R., Feasley, E., Hohnson, L., Karpov, I., Rajagopalan, P., Rawal, A., & Tansey, W. (2012). Multiagent learning through neuroevolution. *Advances in Computational Intelligence*, 7311, 24-46.
- Nolfi, S., & Parisi, D. (1994). Good teaching inputs do not correspond to desired responses in ecological neural networks. *Neural Processing Letters*, 1, 2(11/94), 1-4.
- Nolfi, S., & Parisi, D. (1996). Learning to adapt to changing environments in evolving neural networks. *Adaptive Behavior*, 5(1), 75-88.
- Nolfi, S., Elman, J., & Parisi, D. (1994). Learning and evolution in neural networks. *Adaptive Behavior* 2(1994), 5-28.
- Olarreta, A. (2005). *Orígenes del lenguaje y selección natural*. Madrid: Sirius.
- Pinker, S. (1995). *El instinto del lenguaje*. Madrid: Alianza.
- Prusiner, S. B. (2012). A unifying role for prions in neuro-degenerative diseases. *Science*, 336, 1511-1512. doi:10.1126/science.1222951
- Risi, S., Hughes, C. E., & Stanley, K. (2010). Evolving plastic neural networks with novelty search. *Adaptive Behavior*, 18(6), 470-491.
- Ruiz Vargas, J. M. (2000). La organización neurocognitiva de la memoria. En J. M. Ruiz Vargas (Ed.), *Psicología cognitiva de la memoria* (pp. 33-54). España: Anthropos.
- Seung, H. S. (2012). *Connectome: How the Brain's Wiring Makes Us Who We Are*. New York: Houghton Mifflin Harcourt.
- Seung, S. (2010). *Sebastian Seung: I am connectome*. TED Talks. Disponible en http://www.ted.com/talks/sebastian_seung.html
- Tubino, M. (2004). Plasticidad y evolución: papel de la interacción cerebro- entorno. *Revista de estudios neurolingüísticos*, 2(1), 16-25.
- Valerio, L. G., & Choudhuri, S. (2012). Chemoinformatics and chemical genomics: potential utility of in silico methods. *Journal of Applied Toxicology*, 32(11), 880-889.
- Villaroel Villamor, J. D. (2009). Origen y desarrollo del pensamiento numérico: una perspectiva multidisciplinar. *Journal of Research in Educational Psychology*, 17(7), 555-604.
- Weber, M. (2012). Microglia eliminate unnecessary synapses during brain development. Disponible en red: <http://neuroscience-news.com/microglia-synapse-c3-protein-brain-development-neurology/>
- Weissmann, C. (2012). Mutation and selection of prions. *Plos Pathogens*, 8(3), e1002582. doi:10.1371/journal.ppat.1002582
- Zhu, H., Bilgin, M., Bangham, R., Hall, D., Casamayor, A., Bertone, P., ... & Snyder, M. (2001). Global Analysis of protein activities using proteome chips. *Nature*, 293(5537), 2101-2105.
- Zollo, M., & Winter, S. G. (2002). Deliberate learning and evolution of dynamic capabilities. *Organization Science*, 13(3), 339-351.
- Zou, W., Capellari, S., Parchi, P., Sy, M. S., Gambetti, P., & Chen, S. G. (2003). Identification of Novel Proteinase K-resistant C-terminal Fragments of PrP in Creutzfeldt-Jakob Disease. *Journal of Biological Chemistry*, 278(42), 40429-40436.
- Zou, W., Zheng, J., Gray, D. M., Gambetti, P., & Chen, S. G. (2004). Antibody to DNA Detects Scrapie but not Normal Prion Protein. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(5), 1380-1385.
- Zuo, X. N., Ehmke, R., Mennes, M., Imperati, D., Castellanos, J., Sporns, O., & Milham, M. P. (2012). Network centrality in the human functional. *Cerebral Cortex*, 22(8), 1862-1875.