

Redes neuronales artificiales y la teoría neuropsicológica de Luria

José León-Carrión

Laboratorio de Neuropsicología. Universidad de Sevilla

Resumen: Los modelos conexionistas, las redes neuronales artificiales o el procesamiento distribuido en paralelo han captado en los últimos tiempos el interés de los neuropsicólogos. Este interés parece lógico, porque si bien estos modelos tienen un alto grado de interdisciplinariedad, las bases conceptuales se sustentan en la investigación llevada a cabo por las neurociencias y un alto grado de investigación neuropsicológica. La evidencia más clara se obtiene comparando los principios conexionistas con la teoría neuropsicológica de Luria. El concepto de Luria sobre el sistema funcional y el procesamiento en paralelo parece ser solo un concepto, el primero es aplicado al cerebro y el segundo a los sistemas artificiales. Los bloques cerebrales, la plasticidad neuronal, el origen de las funciones superiores, etc., serán otros aspectos tratados en los trabajos de Luria recogidos por los modelos artificiales. En general puede afirmarse que los principios conexionistas están muy cerca de la investigación neuropsicológica y específicamente de la teoría desarrollada por A.R. Luria. **Palabras Clave:** procedimiento distribuido en paralelo, modelos conexionistas, redes neuronales artificiales.

Artificial neural networks and Luria's neuropsychological theory

Abstract: Connectionist models, artificial neural networks or parallel distributed processing have caught the interest of neuropsychologists. Their interest seem logical, because even if these models have a high level of interdisciplinarity, the conceptual basis is on the research carried out by neurosciences and to a high degree on neuropsychological research. The clearest evidence is when connectionist principles are compared to Luria's Neuropsychological Theory. Luria's concept of a functional system and parallel processing seems to be only one concept, though the first one is applied to the brain and the second one to artificial systems. Cerebral blocks, brain plasticity, the origin of superior functions, etc. will be other aspects covered in Luria's work gathered by artificial models. In general, it can be said that connectionist principles are very close to the neuropsychological research and specifically to the theory developed by A. R. Luria. **Key Words:** parallel distributed processing, connectionist models, artificial neural network.

Artificial neural networks and Luria's neuropsychological theory

La investigación de redes neuronales artificiales, procesos distribuidos en paralelo o, en general, los modelos conexionistas son un campo de trabajo amplio y creciente que está favoreciendo cambios conceptuales así como la renovación de las ciencias cognitivas. El supuesto fundamental es que el cerebro es un ordenador con 100 billones de células computacionales que interactúan en diversas formas. Las redes neuronales son los sistemas computacionales esenciales del cerebro. Hay muchos tipos de ellos; sistemas receptores y redes de control, etc. (Baron 1987, pág. 1). “El punto en común a todos estos esfuerzos ha sido el interés de observar el cerebro como un modelo de aparato computacional que opera en paralelo muy diferente de aquél ordenador tradicional que operaba en serie. La estrategia ha sido desarrollar modelos matemáticos simplificados de sistemas cerebrales, y posteriormente estudiar éstos para comprender la manera en que varios problemas de cálculo pueden ser resueltos por tales mecanismos”.

De igual manera, McClelland y Rumelhart (1996, pp.11) afirman “Nos pareció que la frase de procesamiento distribuido en paralelo captó bien lo que teníamos en mente. Enfatiza la naturaleza paralela del procesamiento, el uso de representaciones distribuidas y el control distribuido, así como el hecho de que habrá sistemas de procesamiento general, no simplemente en memorias que estamos estudiando, como la frase de “memoria asociativa” sugiere que el trabajo ha sido interdisciplinar y representa lo que consideramos como una aproximación a las verdaderas ciencias cognitivas”.

Los principales contribuyentes y consumistas de las teorías conexionistas son los neurocientíficos, debido a que el estilo computacional del cerebro y el de dichas teorías no son más que una abstracción y formalidad del conocimiento actual acerca de la manera en que el cerebro procesa la información.

Sin embargo, el modelo conceptual que apoya los modelos conexionistas estaba ya presente y se puede encontrar en la reciente historia de la Neuropsicología. La idea de distribuir el procesamiento cerebral como el antecedente conceptual de los modelos de conocimiento conexionista no debe ser solamente atribuido a Hebb (1949). Tal idea se puede encontrar principalmente en la teoría neuronal de Ramon y Cajal (1906) y fue tomada por Hebb (*ibidem*) y Luria (1966).

Hebb propone que el cerebro funciona mediante la “unión de células” que se encuentran más o menos localizadas, relacionadas, o redes neuronales llamadas “secuencias de fases” que están ampliamente distribuidas en el cerebro. Hebb escribió (*ibidem* pp.50) en la introducción y

en el cuarto capítulo del libro “la Organización del Comportamiento”: “La suposición puede ser precisada de la siguiente manera: cuando el axón de una célula A está lo suficientemente cerca para excitar a una célula B y repetidamente toma parte algún proceso de crecimiento o cambio metabólico toma parte en una o ambas células tal que la eficiencia de A, como una de las células disparando otra, es que los botones terminales se desarrollan e incrementan el área de contacto entre el axón aferente y el cuerpo eferente”.

Luria afirmó que no es verdad que exista un centro fijo en el cerebro, donde ciertas funciones psicológicas pueden ser localizadas, a menos que existan como redes funcionales. Por lo tanto dando lugar al concepto de sistema funcional (León-Carrión, 1995). El mismo grupo de procesos de distribución en paralelo localiza la raíz de su modelo en las raíces de neurólogos como Hughling-Jackson y Luria (1966). Jackson fue un enérgico y persuasivo crítico de las doctrinas localizacionistas simplistas de la neurología de la última parte del siglo XIX y abogó también por un concepto distribuido de sistema de procesamiento.

Luria, el psicólogo y neurólogo ruso desarrolló la idea del “sistema dinámico funcional”: cada proceso cognitivo y comportamental resulta de la coordinación de un gran número de distintos componentes, cada uno burdamente localizado en diferentes regiones cerebrales, pero todos ellos trabajando juntos en interacción dinámica. Ni Jackson ni Luria fueron famosos por la claridad de sus visiones, pero hemos visto sus ideas como caracterización del tipo de sistemas de procesamiento de distribución en paralelo que se prevén.

En las siguientes líneas se intentará demostrar que los principios conexionistas tienen una base perfecta, no solamente una burda caracterización en la teoría neuropsicológica que Luria elaboró a lo largo de toda su vida profesional. Para lograr este objetivo se expondrán primeramente los principios conexionistas y posteriormente los principios de la teoría de Luria en los que se basan.

Redes neuronales artificiales/ Sistema funcional cerebral

El primer principio de los modelos conexionistas puede ser resumido como los procesos simbólicos (formación de conceptos, imaginación, planificación conductual, etc.) son el resultado de una gran actividad de unidades de procesamiento neuronal que están estrechamente interconectadas. En consecuencia, los procesos simbólicos por sí mismos no explican el conocimiento. Por lo tanto, la corteza es el principal órgano de almacenamiento cerebral.

La corteza cerebral es el principal órgano de almacenaje. Incluye los estados sensoriales y motores, la memoria almacena estados de objetos y posición de manera ya sea permanente o temporal. El almacenamiento cortical y las redes de procesamiento, así como la información transmitida a través de las diferentes vías son controladas por estructuras cerebrales profundas. Éstas también analizan los estados actuales del cuerpo y la mente y generan patrones describiendo tales estados. Como consecuencia, el almacén y los sistemas de análisis consisten en estructuras que están cerca de la superficie cerebral mientras que todas las actividades computacionales son reguladas por estructuras que yacen en las profundidades del cerebro. (Baron, 1987).

Este principio es una de las principales aportaciones del trabajo de Luria. Según éste último se trata de modificar el concepto localizacionista clásico de función por el de sistema funcional. El concepto de función ya no se entiende como una propiedad directamente relacionada con una u otra área cerebral, sino que la función debe ser considerada como la formación de sistemas dinámicos complejos o centros de combinación que relacionan lugares distantes en el sistema nervioso y que trabajan juntos.

Siguiendo este nuevo concepto de función, nos referimos a un sistema funcional antes que a una función. Este sistema funcional tiene una tarea biológica que cumplir y es apoyada por una red de acciones interrelacionadas que nos llevará al efecto biológico permanente. Luria (1966) señala que el rasgo importante del sistema funcional consiste en que se apoya a sí mismo en una constelación de eslabones localizados en diferentes niveles del sistema nervioso y estos vínculos pueden cambiar sin alterar la tarea psicológica. En este sentido, la localización de los sistemas funcionales se encuentra más relacionada con centros dinámicos que con centros fijos. Los centros dinámicos conservan la diferenciación y llevan a cabo un papel principal especializado en actividades integradas. En este sentido, Rumelhart y McClelland dicen: “Nuestra visión global de la organización de procesamiento es similar a la de Luria. Hemos llegado a creer que tener la idea de subrutinas en un sistema llamando a otro no sea probablemente una buena manera de ver la operación del cerebro sino que, creemos que los subsistemas pueden modular el comportamiento de otros subsistemas”. Por lo tanto, podemos concluir que la idea de las redes neuronales artificiales es una modelización del concepto de sistema funcional de Luria.

Computación/Análisis sindrómico

El segundo principio de los modelos conexionistas puede ser resumido diciendo que los sistemas conexionistas computan con números. Para ellos, el funcionamiento de una red depende del tipo de estimulación, el grado de la activación del código de unidad que compone las redes neuronales y los valores numéricos que mantienen la conexión. Se usan dos métodos distintos para estudiar los logros de interconexión de los grupos celulares. El primero es escoger la red neuronal con la que se pretende trabajar, crear modelos de su estructura e interacciones usando el análisis matemático (Lisrel, Fourier, etc.) o simulación en computadora. Las observaciones llevadas a cabo son comparadas con aquéllas hechas en un sistema biológico. La segunda es “definir las propiedades de entrada-salida deseada de una red y determinar qué tipos de interacción neuronal y estructuras son requeridas para realizar el comportamiento deseado. Dentro de esta metodología, existen consideraciones experimentales y anatómicas generalmente usadas para ajustarse al modelo”.

El modelo de computación de las redes neuronales artificiales se puede observar en el trabajo de Luria, especialmente cuando recomienda el uso del método experimental/patológico para estudiar la manera en que trabaja el sistema funcional. Se trata de un análisis sindrómico de las alteraciones comportamentales debidas al daño cerebral. Es decir, una vez que se conozca cuál es la condición que ha causado la alteración conductual, se analiza su influencia en la actividad psicológica completa del individuo. Por lo tanto, por ejemplo, cuando se ha localizado una lesión focal, se estudian sus repercusiones en varios sistemas funcionales.

Según Luria (1975) el método consiste en que el psicólogo que estudia a fondo a las personas que sufren de daño cerebral que altera algunas de las condiciones del curso normal de los procesos psíquicos, la memoria, o la retención estable del programa de actividad, somete las circunstancias del análisis al curso de un complejo de procesos psíquicos y establece cuáles permanecen igual y cuáles de ellos sufren alteraciones.

Para obtener esto, debe valorar el estado de los distintos sistemas funcionales, ya que las lesiones cerebrales van a producir alteraciones de algunos sistemas en los que toman parte áreas cerebrales dañadas.

Por lo tanto, para comenzar a formular, escoger y valorar el problema, es necesario llevar a cabo lo siguiente: observación y recuperación de información del individuo, formulación de la hipótesis y deducción de las

conclusiones, niveles de ejecución de tareas, contrastar o no la hipótesis, descripción, predicción y toma de decisiones.

Para Luria, la cuestión de la fiabilidad de los resultados obtenidos por este proceso se soluciona por la cantidad de experimentos y el grado de estabilidad de la información obtenida; los resultados se consideran sólidos si la variabilidad de los índices conseguidos es relativamente pequeña. Esta es la sustitución que Luria hace de la. Por lo tanto, la veracidad que depende de la repetición del experimento origina distintos resultados y cuando esto sucede los resultados de cada prueba son poco fiables. Las características específicas de los síndromes cerebrales locales hacen difícil obtener índices de fiabilidad al estilo tradicional. Por ejemplo, los resultados que se obtienen cuando las pruebas y tareas de los pacientes se repiten suelen ser diferentes. Dichas diferencias son usualmente originadas por la evolución específica del síndrome y no por un fallo de la prueba.

Redes neuronales/ bloques cerebrales

El tercer principio conexionista puede expresarse como el funcionamiento de redes neuronales dependiendo del tipo de estimulación, el grado de activación de cada unidad comprendida en la red neuronal y el número de valores que mantienen las conexiones. Aunque cada red neuronal tiene un objetivo de cómputo simple, la eficiencia del cómputo total dependerá no solamente de una red aislada sino de la interacción simultánea de gran número de unidades.

Desde el punto de vista de las redes neuronales artificiales, la información no es más que una configuración de unidades que codifican el conocimiento que es registrado en la entrada de un sistema y es usado para comunicar conocimiento. Cuando se usa para codificar información es estático y cuando se utiliza para comunicar conocimiento es dinámico. De acuerdo con este modelo, los patrones estáticos son el código de conocimiento almacenado y la fuente de todo conocimiento previo que permanece fijo en su medio de apoyo hasta que son moduladas por un activador externo.

Los patrones dinámicos se mueven o transmiten conocimiento de un lugar a otro e interactúan con sistemas de procesamiento de información suministrando la energía necesaria para iniciar operaciones de procesamiento de información. Los patrones dinámicos son patrones espacio-temporales que existen debido al cambio en el medio de apoyo – una señal eléctrica, una luz, una onda, un movimiento mecánico. Dentro del cerebro los patrones dinámicos de las neuronas que descargan son

codificados como patrones parciales de naturaleza bioquímica (Baron, 1987, pp. 22-23).

En breve, el procesamiento de información en redes neuronales artificiales se inicia con la transmisión de información y continúa con la codificación y al final intenta que el sistema tenga su propia planificación y autoregulación. Este modelo conexionista está relacionado con el concepto de Luria del trabajo cerebral organizado en tres grandes componentes: los bloques cerebrales.

Luria explica que las tres partes básicas del cerebro deben estar involucradas para cualquier actividad psicológica que se realice

Bloque 1: bloque regulador del tono y la vigilia.

Bloque 2: recepción, elaboración y almacén de información.

Bloque 3: programación, regulación y control de la actividad.

El Bloque 1 regula el nivel del tono y energía de otras zonas corticales. Se encuentra especialmente controlado por la formación reticular, el cual es un elemento regulador, asegurándose de los cambios en el tono cortical.

Para Luria existen tres diferentes fuentes de estimulación, la primera está relacionada con procesos metabólicos. La segunda se encuentra relacionada con la llegada de estímulos externos al cuerpo, favoreciendo la orientación. Y la tercera se deriva de la “planificación, proyectos y programas que el ser humano elabora a lo largo de su vida consciente”.

El Bloque 2 tiene la función de recibir, elaborar y almacenar información. Es el área posterior del surco central y está principalmente constituida por la región occipital, temporal y parietal; la visual en el área occipital y la táctil en el área parietal; aunque cualquier percepción es una actividad multimodal en trabajo conjunto con las distintas áreas corticales.

El Bloque 3 comprende el lóbulo frontal. Programa, regula y controla la actividad de sujetos y es la base de las acciones humanas. Una lesión en este bloque causa dificultad al individuo, rectificando o valorando los errores cometidos.

Aprendizaje/ Plasticidad cerebral

Para los teóricos conexionistas, el aprendizaje es un reajuste de los pesos de los valores de conexiones hasta que el sistema logre la reproducción del modelo así como sus propiedades estadísticas. (Fodor y Pylyshin, 1988). Para Rumelhart y McClelland el aprendizaje involucra conexiones cambiantes, el conocimiento está en las conexiones en vez de en las unidades en sí. Es decir, desde un punto de vista paralelo, acerca de la plasticidad del cerebro.

A modo de resumen, para los conexionistas, existe una regla de aprendizaje donde los patrones de conexión son modificados por la experiencia. Esto señala lo mismo que Luria: las funciones corticales superiores tienen un origen socio-cultural.

Para Luria (1974, pp.31) la localización de los procesos superiores de la corteza cerebral humana no permanece constante o estática, sino cambiantes durante el desarrollo de la niñez, así como en los períodos posteriores al aprendizaje. “Esta proposición que en primera instancia pudiera parecer poco común, es de hecho bastante natural. El desarrollo de cualquier tipo de actividad compleja consciente comienza primeramente a expandirse y requiere de ciertos números de mecanismos externos, posteriormente y de manera gradual se condensa hasta que se desarrolla como una habilidad motora autónoma”. Los procesos mentales son establecidos mediante la ontogénesis. Tales procesos comienzan como una serie completa y extensa de movimientos manipulativos, los cuales se condensan con el tiempo y adquieren el carácter de acciones mentales internas. De manera paralela, se dice lo mismo acerca de la plasticidad cerebral. En dicho sentido, si para los conexionistas el aprendizaje es sólo un ajuste de valores, para Luria ese reajuste se lleva a cabo por la organización extracortical de la función mental. Es decir, son formados con la ayuda de herramientas auxiliares o mecanismos externos.

Sin embargo, un aspecto fundamental en la teoría de Luria es la importancia del lenguaje en el desarrollo de la conciencia y el conocimiento. El lenguaje permite al hombre ser capaz de destacar aquéllos objetos del mundo externo que son relevantes para el aprendizaje, ya que cuando sobresalen, la atención se fija en ellos y se retienen en la memoria. De tal manera que el ser humano es capaz de relacionarse él mismo con los objetos del mundo externo aun cuando éstos no se encuentran delante de él. El lenguaje nos permite almacenar información proveniente del exterior y crear un mundo de imágenes internas, permitiendo de esta manera la abstracción y la generalización. Más aun, éste se hace más que un instrumento de comunicación; se vuelve una herramienta del pensamiento asegurando el progreso de lo sensorial a lo que es racional.

En este sentido, los conexionistas entienden el reajuste del peso de conexiones, de la misma manera que se lleva a cabo el lenguaje para Luria, con excepción del hecho de que para los conexionistas el lenguaje será un “lenguaje matemático” sofisticado. Un ejemplo de esto puede verse en la teoría de la armonía: “Es un marco matemático para estudiar clases de sistemas dinámicos que realizan tareas cognitivas de acuerdo a un paradigma simbólico. Los sistemas dinámicos pueden servir como modelos

para los sistemas cognitivos humanos. El objetivo final es el desarrollo de un cuerpo de resultados matemáticos para la teoría del proceso de la información que complemente los resultados de la teoría clásica de la computación simbólica. Debe señalarse que la teoría de la armonía es una teoría en sentido matemático, no en sentido científico. El objetivo de la armonía es proveer un lenguaje potente para expresar teorías en el paradigma subsimbólico, un lenguaje que complemente las lenguas existentes para la manipulación simbólica. Debido a que la teoría de la armonía se concibe como lenguaje para unificar el paradigma subsimbólico para describir la cognición, éste emprende los reclamos científicos fundamentales del paradigma”.

Especialización de redes / Especialización funcional

En los modelos conexionistas, cada unidad neuronal tiene como objetivo un simple cómputo. Aunque la eficacia del cómputo total dependerá no sólo de una unidad neuronal aislada, sino en la interacción simultánea.

Dicho principio también se puede encontrar en la teoría neuropsicológica de Luria, en donde explica que los procesos neuronales humanos toman parte en las estructuras cerebrales que trabajan de forma regulada para cada una de estas estructuras, las cuales son efectivas en contribuciones particulares en la organización del sistema funcional. En pocas palabras, este principio puede ser asimilado a aquél expuesto de sistema cerebral funcional / redes neuronales artificiales.

Reorganización funcional del sistema

Para los conexionistas un proceso simbólico puede ser llevado a cabo aun si parte del sistema ha sido dañado. En la teoría neuropsicológica de Luria es este el principio fundamental, en el que, cuando un sistema es dañado, las funciones no desaparecen, es sólo que existe una desorganización funcional y el sistema no es capaz de funcionar adecuadamente. El sistema se reajusta dependiendo del tipo, cantidad y calidad de la lesión, lográndose una reestructuración funcional dinámica. En este sentido, las partes integradas en el sistema son capaces de asumir las funciones de organización vinculadas directamente a las áreas dañadas. Luria (1966) concluye su nuevo concepto de sistema funcional y selecciona en una localización central las funciones cognitivas superiores del hombre. Afirma que una lesión cerebral focal difícilmente se acompaña por una pérdida completa de la función, la desorganización es más frecuente. Debido a esto la función

aparece patológicamente cambiante y es sólo interrumpida en condiciones especiales.

Rummelhart y McClelland escribieron acerca del mismo concepto: “Parece ser que en el cerebro los sistemas son altamente redundantes y capaces de operar con una pérdida de ejecución más o menos similar a la magnitud del daño. Esta es una característica de ejecución natural de los modelos de Procesamiento de Distribución en Paralelo”.

Conclusión

Los modelos conexionistas de Redes Neuronales Artificiales y Procesamiento de Distribución en Paralelo han sido desarrollados con la participación de varias disciplinas.

Sus ideas pueden encontrarse en el libro de teoría de neuropsicología humana de Luria. La teoría neuropsicológica de dicho autor tiene sus orígenes en distintas fuentes, de las que se pueden nombrar los trabajos de Ramón y Cajal y Hebb. El paralelismo de los modelos conexionistas y del modelo neuropsicológico de Luria comienza con la similitud entre el concepto de procesamiento paralelo y los conceptos de plasticidad cerebral de Luria, para terminar con el concepto idéntico de reorganización funcional del sistema. Debido a lo anterior, es lógico pensar que la relación entre los modelos conexionistas, las teorías y la investigación neuropsicológica puede hacer ambas disciplinas crecer y de esta manera servir en breve como apoyo en el campo de las Neurociencias.

Referencias

Baron, R.J. (1987). *The cerebral computer*. Londres: Lawrence Erlbaum.

Fodor, J.A. & Pylyshin, Z.W. (1988). Connectionism and cognitive architecture: a critical analysis. *Cognition*, 28 (1-2): 3-71

Hebb, D.O. (1949). *The organization of behavior: a neuropsychological theory*. Nueva York: John Wiley and Sons.

León-Carrión, J. (1995). *Manual de Neuropsicología Humana*. Madrid: Siglo XXI.

Luria, A.R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Londres: Tavistock.

Luria, A.R. (1974). *Fundamentos de neuropsicología*. Barcelona: Fontanela.

Luria, A.R. (1975). Neuropsychology: its sources, principles and prospects. En: F.G. Worden, J.P. Swazey, & G. Adelman (comps.). *The neurosciences: paths of discovery*. Cambridge (Mass.), pp. 335-361.

McClelland, J.L., & Rumelhart, D.E. (1996). Distributed memory and representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, (2): 159-188

Ramon y Cajal, S. (1906). The structure and connections of neurons. En *Physiology of medicine: Nobel lectures including presentation, speeches and laureates' biographies*. (1967). Nobel Foundation, vol 1: 220-253, Nueva York: Elsevier.

Recibido 28 Agosto, 2002
Aceptado 04 Septiembre, 2002