

3.2 Engrama

3.2.1 ¿Qué es un engrama?

Tomado del griego, es la idea de una **huella o línea** (gramma) que se traza en el cerebro; es una estructura de interconexiones neurales estable, un circuito específico de neuronas implicadas asociadas y en una disposición espacial concreta. Configura la arquitectura profunda de nuestro cerebro. Es un circuito específico y forma una red de conexiones neurales que genera el movimiento. Se denomina engrama debido a que se encuentra interrelacionado con otros para determinar respuestas específicas; por tal motivo, es comparable a un engranaje.

Supone la activación de un sistema de neuronas, producida por efecto eferente de la excitación de las terminaciones del sistema nervioso en el medio interno o externo. De este modo, se estimula la activación de estructuras neurales estables eferentes que son las responsables del movimiento propiamente dicho.

Existen algunos movimientos, que no dependen de la participación consciente del sujeto; otros, en cambio, que sí acreditan esta posibilidad (Di Santo, 2014). Como mencionamos, las unidades que constituyen el engrama son las neuronas conectadas entre sí por los impulsos nerviosos transmitidos a través de las conexiones sinápticas. Forman una complejísima red con un orden interno muy definido que les permite activarse coordinadamente. Los engramas producidos se registran en módulos específicos de forma ordenada, es decir, respondiendo a un mapeado en el que los engramas están conectados entre sí, de tal modo que transmiten la activación de una forma lógica, o con sentido de unos a otros.

También se suele hablar de ellos como **bucles o loops**, o bien como **patrones de acción o de movimiento**. Los hay de mayor y menor complejidad, a saber, bucles cortos y largos (Di Santo, 2014). De acuerdo con la cantidad de neuronas que el circuito involucre y los niveles del SN implicados, diferenciamos entre:

- **Bucles cortos:** posiblemente involucre a las vías cortico-corticales y se encargue de movimientos sencillos.
- **Bucles largos:** cumplen funciones en movimientos complejos y compuestos que implican no sólo la corteza.

Es importante mencionar la **memoria motriz**, ya que los engramas son sustratos de ésta. La memoria se basa en reactivaciones de engramas; son marcas que nos singularizan e identifican. Desde esta perspectiva,

también podríamos definir al engrama como la huella neurofisiología en el cerebro y como la base de un recuerdo en la memoria; en suma, como un circuito constituido por neuronas y que, al ser solicitado, recluta fibras musculares y, de ese modo, forma un patrón específico de activación motora.

Para formar un circuito es necesario que la repetición forme un patrón de reacción entre neuronas y que ellas lo hagan específicamente cuando un estímulo determinado es capaz de activar ese circuito (Jacques, 1988).

Tradicionalmente se reconocieron dos componentes básicos de todo engrama: la estructura espacial y temporal. La **estructura espacial** refiere al dónde o a la relación topográfica de los diferentes núcleos articulares implicados (contingentes), mientras que la **estructura temporal** alude a las secuencias específicas de las acciones y, sobre todo, a su proporción temporal. La estructura espacial refiere al dónde, que distingue a ese movimiento de otro; en tanto que la temporal refiere al cuándo o al desenvolvimiento secuencial del movimiento llamado también **faseado** (Jacques, 1988).

En resumen, los engramas:

- Son estructuras de interconexión neural estable.
- Circuitos específicos con neuronas implicadas asociadas y en una disposición espacial concreta.
- Configuran, en definitiva, la arquitectura profunda de nuestro cerebro.
- Forman una complejísima red con orden interno muy definido que les permite activarse coordinadamente.
- Se registran en módulos específicos de forma ordenada.
- Se suele hablar de ellos como “bucles” o “loops”.
- Son considerados como patrones de acción o de movimiento.
- Los hay de mayor y menor complejidad: bucles cortos y largos.
- Constituyen huellas neurofisiológica en el cerebro, que son la base de un recuerdo.
- Son circuitos constituidos por neuronas y que, al solicitarse, reclutan fibras musculares, formando un patrón específico de actividad motora.
- Se tratan de rastros o trazados de la memoria: el substrato neurofisiológico de la misma.
- El engrama neuromuscular es una pauta memorizada de respuesta muscular a una determinada información propioceptiva. Es un componente de la programación inconsciente que se genera en el SNC, para regular el funcionamiento de un sistema muscular.
- Son un conjunto de datos que representan un movimiento.

Para formar circuitos es necesario que la repetición forme un patrón de relación entre neuronas y que ellas reaccionen específicamente cuando un estímulo determinado sea capaz de activar ese circuito, lo cual supone:

- Cambios en la naturaleza química neural.
- Capacidad de identificar y resonar.
- Nuevas secuencias de aminoácidos.
- Cambios en la concentración de ARN dentro y fuera de la neurona.

3.2.2 Componentes del engrama

La tradición ha reconocido dos componentes básicos de todo engrama: la estructura espacial y la temporal.

- **Estructura espacial:** refiere al dónde o a la relación topográfica de los diferentes núcleos articulares implicados (contingentes).
- **Estructura temporal:** alude a la secuencia específica de las acciones y, sobre todo, a su proporción temporal (también se llama "faseado").

La organización temporal de las secuencias

El movimiento puede ser concebido como un conjunto de elementos motrices de una duración determinada y desencadenada unos después de otros según un orden temporal. Si la duración de cada elemento es programada, basta conocer el orden de las secuencias para desarrollar el programa. De este modo, se ha planteado la cuestión de saber si la organización temporal está codificada y a qué nivel de generalidad. En diversas ocasiones se ha constatado que la invariante es no el tiempo absoluto, sino la duración relativa de las secuencias; la velocidad de un movimiento puede variar, pero la proporción relativa de duración entre sus elementos continua inmutable, es el "**phasing**" (Corraze, 1998).

Asociando el phasing a las relaciones de las fuerzas exigidas por cada elemento motriz, se ha intentado proponer una noción de invariante que en un primer momento se manifiesta contraria al dado por la localización (Corraze, 1988).

Schmidt y col. (1998) habían considerado no introducir el espacio entre las invariantes del programa motriz o, por lo menos, no hacerlo de manera directa. Estimaron entonces, que los invariantes esenciales son las relaciones de fuerzas puestas en juego en cada contracción muscular y las relaciones de duración de cada movimiento (Corraze, 1998).

El movimiento resulta de fuerzas que contraen los músculos y del tiempo durante el cual operan. El programa se puede concebir como el enviado de series de contracciones musculares de una cierta fuerza y de una cierta duración en un orden determinado (Corraze, 1998).

3.2.3 Destinos de la copia engramática

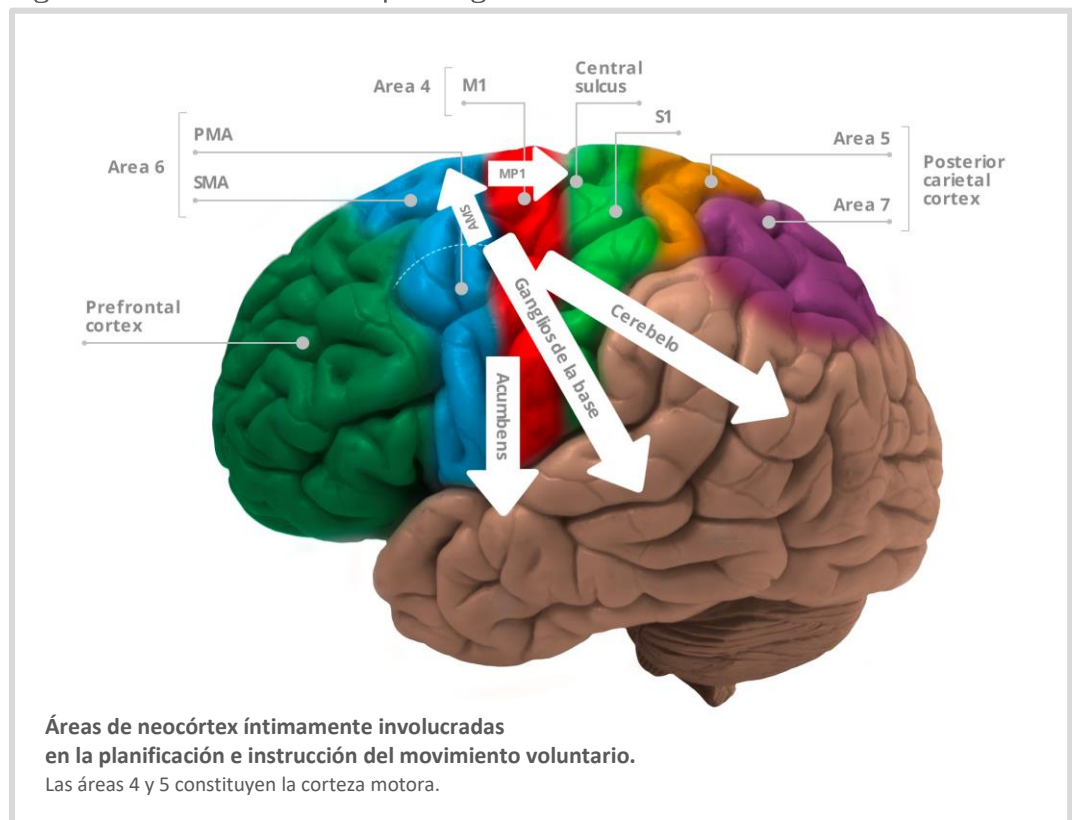
Es también denominado **valor previsto**; varias copias programáticas se distribuyen aun antes de la ejecución propiamente dicha. Todos estos destinos tienen un sentido neurofisiológico.

Los lugares son:

- AMS y pre AMS.
- Cerebelo.
- MP1.
- Ganglios de la base.
- Núcleo acumbens.

La **copia engramática** se dirige al cerebelo para regular la coordinación del movimiento y su tarea es sopesar, comparar el valor previsto con el resultante. La copia engramática se dirige hacia los ganglios de la base para el ajuste tónico adecuado, comandando la actividad del sistema motor gamma (núcleo rojo). Se dirige también a la MP1 para la activación muscular específica por la vía córtico-espinal; la MP1 controla directamente la actividad alfa y por último la copia se dirige al centro Accumbens donde se produce un relevo casi necesario que refuerza el circuito motivacional, o vías de dopamina.

Figura 5: Destinos de la copia engramática



Fuente: Adaptado de Cram. Recuperado el 21/7/2016 de <http://goo.gl/AWvy8U>

3.2.4 ¿Qué pone en marcha el engrama? Movimiento voluntario

La mayoría de los humanos adultos tiene la fuerte sensación de tener control sobre sus acciones. De actuar tal y como lo eligen, sería interesante saber de qué se trata tal sensación. La capacidad para las acciones voluntarias es tan fundamental para nuestra existencia social que los límites y prohibiciones son cuidadosamente justificados y regulados. La acción voluntaria puede acreditar desórdenes de diversa índole, ya sea por estados patológicos como, transitoriamente, por la ingesta de sustancias perturbadoras. Otros estados y procesos mentales, particularmente los emocionales, y otros más profundos y raigales, pueden alterar las funciones normales inherentes al acto voluntario.

Si tendríamos que definir qué es lo particular de un acto voluntario, entraríamos en un fuerte dualismo y seguramente estableceríamos que hay un “yo” que elige conscientemente las acciones; que soy “yo” quien las elige y que se trata de “mí elección”. Este lenguaje es dualista e implica a un “yo” mental que es diferente al cerebro y al resto del cuerpo y que, en cuanto tal, puede disparar eventos cerebrales tales como imágenes, recuerdos y, por supuesto, movimientos (el dualismo de objetos mentales es muy afín a esta objeción); sin embargo, no es esta la perspectiva de la ciencia contemporánea, la cual propone una concepción diferente del fenómeno.

Entendemos el **movimiento voluntario** desde su perspectiva científica contemporánea, la cual lo define como el final de un continuum que se inicia con un reflejo. A continuación expondremos las diferencias entre movimiento voluntario y un movimiento reflejo:

El movimiento reflejo reviste las siguientes características:

- Inmediatez.
- Estímulo externo necesario.
- Su forma, ocurrencia y *timing* están determinados por el estímulo.
- Nivel medular.
- Sin posibilidad de vetar.
- Sin posibilidad de memoria prospectiva.
- Sin decisiones.

El movimiento voluntario, por su parte, se caracteriza por:

- Mediatez.
- Estímulo externo no necesario.
- No depende del estímulo.

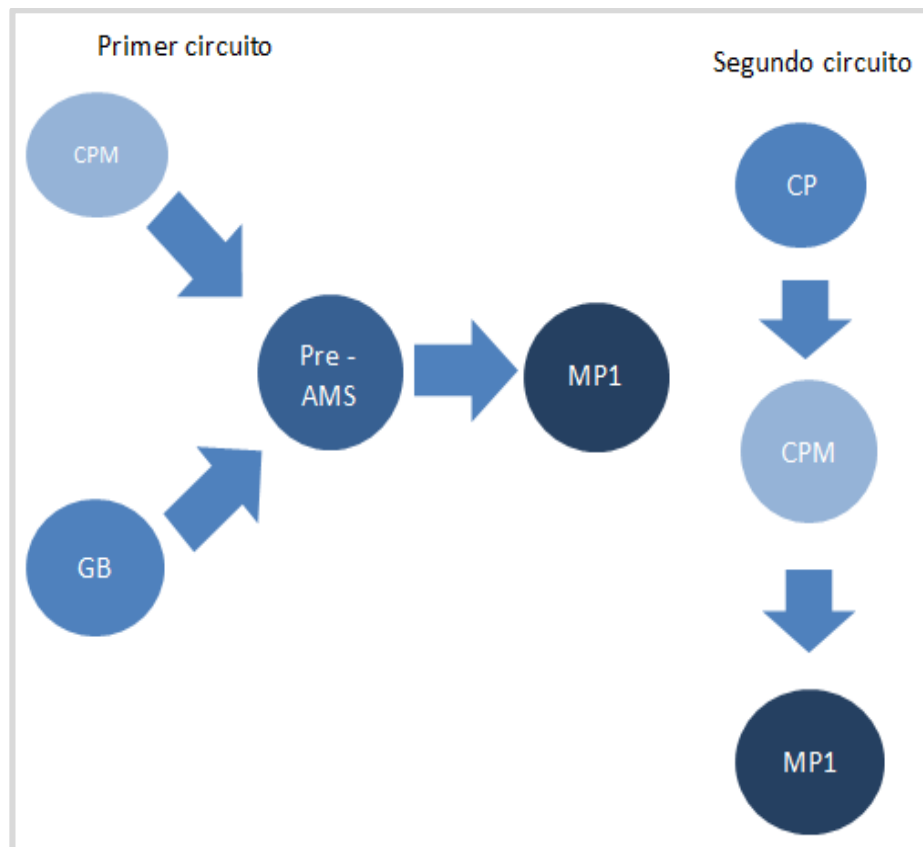
- Nivel cortical.
- Posibilidad de vetar o continuar la acción.
- Posibilidad de memoria prospectiva.
- Posibilidad de decidir objetivos, acciones, programas y si vetar o no.

Durante mucho tiempo, se diferenciaron los movimientos entre automáticos y voluntarios. Una oposición como esta se ha atenuado considerablemente al punto tal que se ha escrito lo siguiente, en un tratado de neurofisiología: "La distinción entre actos reflejos, instintivos y voluntarios se ha esfumado" (Kandel y Schwartz, 1981, p. 273).

Circuitos corticales para el movimiento voluntario: estos circuitos convergen en la MP1. La MP1 ejecuta los comandos motores transmitiéndolos a la médula espinal y los músculos. La MP1 es la vía final común de la corteza cerebral; la motoneurona, de la médula espinal. Recibe inputs de dos circuitos: uno propio del movimiento voluntario y otro propio del movimiento reflejo, aunque también hay otras áreas que proyectan a la médula, las cuales reciben inputs de los mismos circuitos. A nivel cortical, encontramos dos claras alternativas itinerarias, dos claros circuitos corticales, a saber:

Por un lado, encontramos el **circuito corteza pre-motora (CPM) y ganglios basales (GB) con pre-AMS**, que conecta ganglios de la base con corteza (pre-AMS) y la CPM con la pre-AMS y, finalmente, a esta con la MP1, vía final común. Por otro lado, el **circuito parietal-CPM**, el cual también converge en la MP1 y conecta los sectores sensoriales de la corteza parietal con la corteza premotora y, finalmente, a esta con la MP1.

Figura 6: Primer y segundo circuito

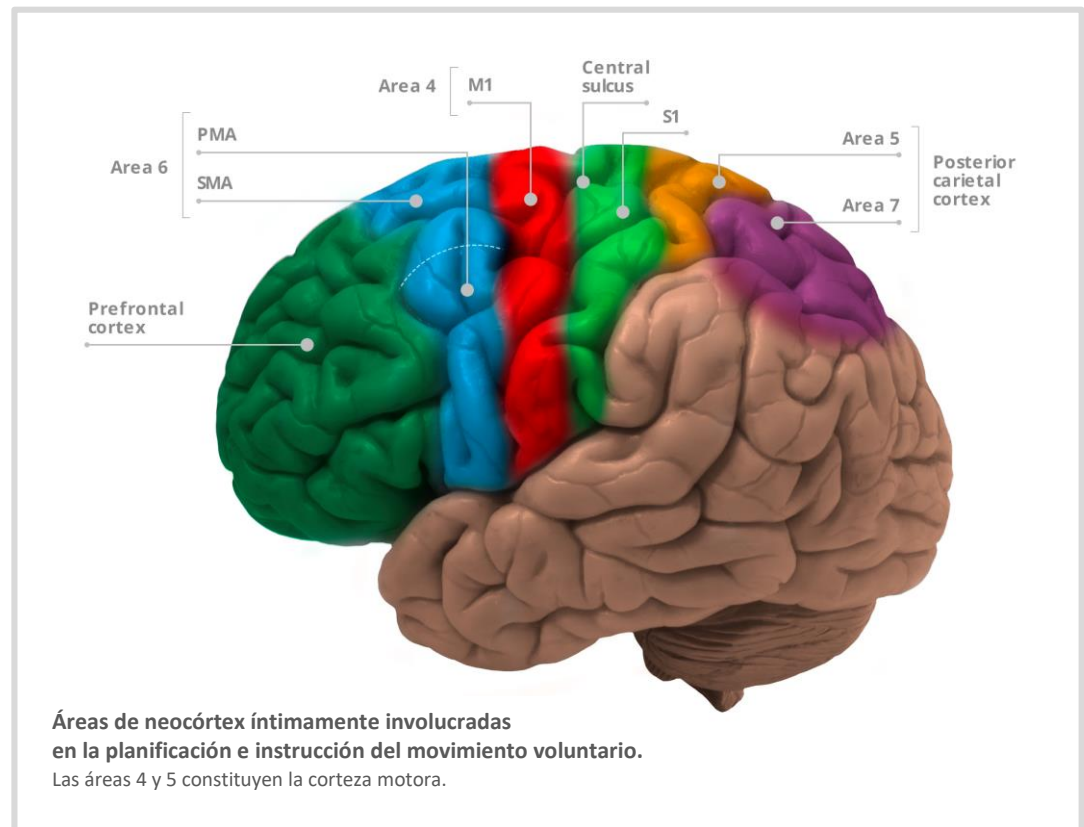


Fuente: Elaboración propia.

Primer circuito

Este circuito es el que más empleamos ante la falta de estímulos externos: la pre-AMS se activa cuando no hay estímulos externos, junto a los circuitos cognitivo-motores, la CPM, corteza cingulada y corteza fronto-polar. La pre-AMS niega la acción o prolonga su inicio; pero cuando la misma se desencadena, la pre-AMS conecta con la AMS y de ahí con la MP1. Para el inicio de la acción es clave el input de los ganglios de la base. El circuito GB pre-AMS juega un papel clave en el inicio de la acción: la pre-AMS inhibe la acción y los GB inhiben la inhibición. En el mal de Parkinson, los GB no inhiben la inhibición de la pre-AMS y es por ello que inician menos acciones.

Figura 7: Áreas motoras



Fuente: Adaptado de Cram. Recuperado el 21/7/2016 de <http://goo.gl/AWvy8U>

Segundo circuito

Utilizamos este circuito para acciones como sujetar o agarrar. Promueve acciones orientadas a objetos y también participa en el movimiento voluntario pero es más inmediato que el anterior, en tanto promueve las acciones inmediatas.

Encontramos dos circuitos según la inmediatez:

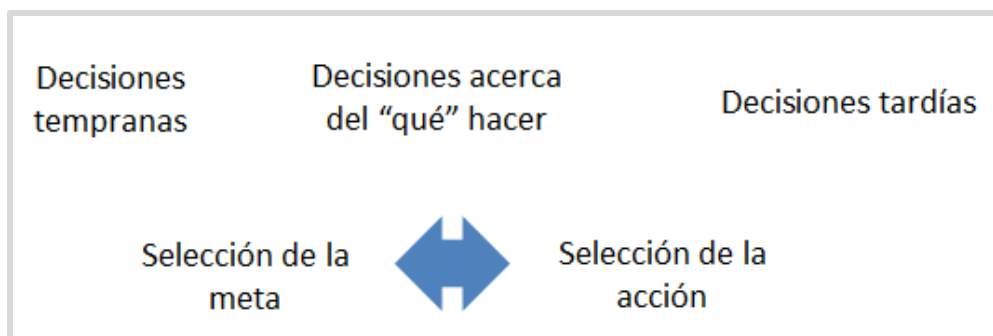
- El ventral involucra a la pre-AMS y a los GB es, por lo que es más **mediato** (no lo empleamos en acciones repentinas).
- El segundo es empleado cuando el factor tiempo apremia: es **inmediato**.

En el movimiento voluntario hay un momento mental de elección; existen también decisiones perceptuales, que difieren de las inherentes a las acciones. Encontramos:

- **Decisiones tempranas:** primero hay una decisión temprana acerca de hacer o no la acción. Esta decisión se sostiene en las motivaciones de tres tipos:
 - Necesidades.
 - Deseos.
 - Otras razones.

- **Decisión acerca del qué:** refiere a qué acción voluntaria hacer y adopta dos posibilidades:
 - Selección de la meta.
 - Selección de la acción voluntaria para alcanzar esa meta.
- **Decisión acerca de la meta:** las metas pueden ser variadas; sin embargo, se ordenan en el tiempo aunque hay síndromes en los que el orden se descompagina. Al tener una meta fija, la CF y la pre-AMS cumplen un rol clave, el cual consiste en mantener la voluntad enfocada en un propósito o conectando intención y acción. La pre-AMS suprime el inicio automático de la acción frente a los estímulos del ambiente: si hay lesión, hay híper-reactividad. Decidir entre metas involucra el CF y participa también la pre-AMS.
- **Decisión sobre la selección de movimientos:** la mayoría de los objetivos pueden lograrse a través de diferentes movimientos
- **Decisión tardía:** esta acción implica la dicotomía “hacer o no hacer”.
 - *Chequeo:* las decisiones acerca del “qué” activan circuitos motores específicos; en este caso, se trata del chequeo predictivo o veto.
 - *Tasación:* supone tasar el costo de la acción elegida. Aquí el chequeo final ocurre antes de que la acción se emita o gatille.
 - *Acción:* como resultado del chequeo, la acción puede ser promovida (y el movimiento se gatilla) o vetada (y, por tanto, no se genera la acción).
 - *Prudencia:* cancelar la acción a veces supone sabiduría, pero a veces supone exactamente lo contrario.

Figura 8: Selección de la meta y acción



Fuente: Elaboración propia

Sustrato neural de la cancelación

Es anterior a pre-AMS y su rol es específico en cuanto a vetar acciones. La corteza anterior fronto-medial, rostral o anterior a la pre-AMS y el lóbulo

de la ínsula, son claves en el autocontrol. Estos procesos están íntimamente relacionados con la conducta de la prudencia.

Consideramos los dos extremos en las decisiones:

- 1) **Temprana:** consiste en si lo hago o no.
- 2) **Tardía:** consiste en el chequeo final y veto de la acción.

Las dos justifican la responsabilidad individual. Las otras (el qué, cómo y cuándo) son menos importantes. La responsabilidad puede depender de la razón que disparó el proceso neural que culminó en la acción y del chequeo final, esto es, si debió o no, vetar o dejar seguir la acción. Las dos tienen un fuerte elemento normativo. A pesar de que el cerebro de una persona decide las acciones, la cultura y la educación enseñan a las personas cuál es una razón aceptable para actuar, cuál no la es y cuándo un chequeo final predictivo recomienda sostener la acción sin ejecutarla.

Referencias

Arthur C. Guyton, J. E. (2006). Tratado de Fisiología Médica. 11ª Edición. Barcelona: Elsevier.

Asociación Educar (2015). <http://www.asociacioneducar.com/>.

Baddeley, A. (1983). Working memory. Oxford.

Bañuelos, F. S. (1990). Didáctica de la Educación Física y el Deporte. Madrid: Gymnos.

Bermeosolo, J. (2012). Working memory and procedural memory in Specific Learning and Language Difficulties: some finding. Revista Chilena de Fonaudiología, 18.

Boulch, J. L. (1989). El deporte educativo; psicokinetica y aprendizaje motor. Buenos Aires: Paidós.

Boulche, J. L. (2002). Hacia una ciencia de movimiento humano. Barcelona: Paidotribo.

Corraze, J. (1988). Bases neuropsicológicas del movimiento. Barcelona: Paidotribo.

Cratty, B. (1974). Motricidad y psiquismo. Madrid: Miñón.

Damasio, A. (2006). El error de descartes. Buenos Aires: Critica.

Damasio, A. (2007). En busca de Spinoza. Barcelona: Critica.

Davids, K., Button, C., & Bennett, S. (2008). Dynamics of skill acquisition. Canada: Human Kinetics.

Desarrollo y aprendizaje motor. (2009). Córdoba, Córdoba, Argentina: IPEF

Di Santo, A. (2016). Sistema Sensorial [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (2015). "Influencia de Antonio Damasio" [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (2015). Eferencia central [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (2015). Imagen del movimiento [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (2015). Pensando en movimiento [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (2015). Programación neuromotora [Grabado por N. Acosta]. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Di Santo, M. (14 de octubre de 2015). Toma de decisión y lógica motriz. Córdoba, Córdoba, Argentina.

Digby, E., & Khan, M. (2010). Vision and goal-directed movement. Canada: Human Kinetics.

Domjan, M. (2009). Principios de aprendizaje y conducta. Madrid: Rogar.

Eccles, J. (1994). How the Self Controls Its Brain. Australia: Springer-Verlag.

Ernst, M. (2002). Neural Systems and Cue-Induced Cocaine Craving. <http://www.nature.com/npp/journal/v26/n3/full/1395814a.html>, 7.

Etchepareboda, M., & Abad-Mas, L. (2010). <http://www.lafun.com.ar/>.

Fairbrother, J. (2010). Fundamentals of motor behavior. Canada: Human Kinetics.

Gardiner, P. (2011). Advanced neuromuscular exercise physiology. Canada: Human kinetics.

Grosser, M. (1988). Principios del entrenamiento deportivo. España: Martinez Roca.

Guyton, C., & Hall, J. (2006). Tratado de fisiología medica. Barcelona: Elsevier.

Jeanne, L., & Seidler, R. (2011). Age differences in callosal contributions to cognitive processes <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3137668/>

Kandel, E. (1997). Neurociencia y Conducta. Madrid: Prentice Hall.

Kurt, M., & Günter, S. (1987). Teoría del movimiento; motricidad deportiva. Buenos Aires: 1987.

Lacey, S., & Lawson, R. (2013). Multisensory imagery. New York: Springer.

Latash, M. (2008). Neurophysiological basis of movement (2 ed.). Estados Unidos: Human Kinetics.

Latash, M. (2012). Fundamentals of motor control. Estados unidos: AP.

Loyber, I. (1988). Funciones motoras del sistema nervioso. Córdoba: El Galeno.

Loyber, I. (2012). Funciones motoras del sistema nervioso. Córdoba: El Galeno.

Loyber, I. (2012). Introducción a la fisiología del sistema nervioso. Córdoba: El Ganelo.

Luria, A. (1973). The working brain, and introduction to neuropsychology. Londres: Penguin Books.

Mark, L. (2008). Synergy. Inglaterra: Oxford University.

Munuera, A. J., Tallens, I. P., Pertegaz, N. C., & Munuera, F. C. (2003). Educación física. Sevilla: Mad.

Neumaier, A. (2002). Entrenamiento de la técnica. Barcelona: Paidotribo.

Cardinali, D. (2007). Neurociencia aplicada: sus fundamentos. Buenos Aires: Panamericana.

Pérez, L. M. (1994). Deporte y aprendizaje. Madrid: Visor.

Purves, D. (2007). Neurociencias. Buenos Aires: Panamericana.

Rachel, S., Jin, B., & Anguera, J. (2013). Neurocognitive Contributions to Motor Skill Learning: The Role of Working Memory <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3534841/>.

Richard, S., & Timothy, L. (2014). Motor learning and performance. Canada: Humanic Kinetics.

Richardson, J. (1996). Working memory and human cognition. Oxford: Oxford University.

Rigal, R. (1979). Motricidad Humana. Madrid: Pila Teleña.

Ripoll, R. D. (2014). Neurociencia cognitiva. Madrid: Panamericana.

Roger M, E. (2008). Neuromechanics of human movement. Canada: Human Kinetics.

Ruiz Pérez, L. (1994). Deporte y Aprendizaje. Visor: Madrid.

Snell, R. (1999). Neuroanatomía. Cuarta Edición. Buenos Aires: Panamericana.

Stefano, T. (2009). Neurociencias y deportes. Barcelona: Paidotribo.

Suárez, G. R., Rodríguez, G. A., Ramos, J. A., Trujillo, J. O., & Silva, W. R. (2013). Aprendizaje motor, precisión y toma de decisiones en el deporte. Antioquia: Funámbulo editores - Universidad de Antioquia.

Tamorri, S. (2004). Neurociencia y deporte. Barcelona: Paidotribo.

Tamorri, S. (2004). Neurociencia y deporte. Psicología deportiva procesos mentales del atleta. Barcelona: Paidotribo.

Weineck, J. (2006). Entrenamiento total. Barcelona: Paidotribo.

Zhou. (2000). El entrenamiento cruzado: una posibilidad del mantenimiento de la forma ante lesiones unilaterales. Medicina Esport, 15.