

TEORÍAS Y MODELOS EN FISIOTERAPIA EN NEUROFACILITACIÓN

Theories and models in physiotherapy in neurofacilitation

Ilse Soto Franco

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2649-2926>

✉ ilse.soto00@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali

3
Capítulo

Cita este capítulo

Franco Soto I. Teorías y modelos en Fisioterapia en Neurofacilitación. En: Calvo Soto AP, Gómez Ramírez E, Daza Arana J, editores científicos. Modelos teóricos para fisioterapia. Cali, Colombia: Editorial Universidad Santiago de Cali; 2020. p. 53-76.

INTRODUCCIÓN

Los cambios en el movimiento ocasionados por patologías de origen neurológico alteran la condición del ser humano, originando deficiencias funcionales y estructurales, que dificultan la capacidad de quien la padece para dar solución a sus necesidades funcionales restringiéndolo participativamente. Es así como la rehabilitación neurológica tiene como objetivo ayudar al paciente a mejorar su capacidad funcional, esto es, la capacidad para realizar sus actividades diarias en diferentes entornos, en diferentes condiciones, con un mínimo de gasto energético y cognitivo (1).

Los procesos de rehabilitación deben permitir al lesionado de origen neurológico identificar las limitaciones pero también las potencialidades de su sistema de movimiento, guiándolo a la planificación de patrones motores que le permitan realizar tareas y analizar los resultados de su ejecución, que les permita afrontar los desafíos que una tarea funcional implica. Para el logro funcional, el fisioterapeuta mediante enfoques de intervención ayuda al paciente a identificar las cualidades y las limitaciones de su movimiento, facilita la planificación de las estrategias, al igual que entornos de retroalimentación a través de la práctica para que el paciente evidencie modos de control y aprendizaje motor, que le permitan regular espacial y temporalmente todas las actividades en los diferentes entornos a los que se enfrenta, acompañados de la motivación y la capacidad para enfrentar los retos que implica ser funcional.

El proceso anteriormente descrito es complejo y requiere que el fisioterapeuta identifique, cree e implemente estrategias, lo que implica un amplio conocimiento sobre el control y aprendizaje motor como base teórica que fundamenta el ejercicio profesional.

El propósito de este capítulo es el de brindar la conceptualización de las teorías y de control y aprendizaje motor como herramienta, para que desde un enfoque teórico evidencie la importancia de las técnicas de intervención, al igual que se fortalezca la investigación con modelos que sustenten los marcos teóricos de la misma.

NEUROPLASTICIDAD

Frente a una lesión del sistema nervioso se suceden una serie de cambios estructurales que afectan en un primer momento la función y la funcionalidad

del paciente, sin embargo, durante la evolución de la misma, se evidencia alguna restitución funcional con recuperación parcial o total de las funciones perdidas, lo que demuestra que un sistema que, en décadas anteriores, se pensaba era irreparable sin posibilidad de recuperación, puede realizar cambios adaptativos y funcionales en pro del mejoramiento de su función, lo que se conoce como neuroplasticidad. Castaño (2002) la define como la propiedad del sistema nervioso de modificar su funcionamiento y reorganizarse en compensación ante cambios ambientales o lesiones (2).

Bayona plantea que el sistema nervioso es un sistema cerrado pero, a la vez, muy dinámico, que asimila, reorganiza y modifica los mecanismos biológicos, bioquímicos y fisiológicos que posee. Esta capacidad se denomina neuroplasticidad e implica cambios en el tejido neural que incluye regeneración axonal, colateralización, neurogénesis, sinaptogénesis y reorganización funcional, entre otros (3).

En los procesos de recuperación funcional de las extremidades, principalmente las superiores, la investigación se ha centrado en explorar cómo interviene la neuroplasticidad para maximizar la función, con enfoques que van desde el aprendizaje de la tarea a través de la experiencia y el entrenamiento de la misma para la reorganización de la corteza sensorial y motora implicada; hasta explicar cómo el no utilizar la extremidad afectada conlleva a una mala adaptación de la plasticidad, llevando a compensaciones motoras que generan patrones indeseables y que pueden desencadenar una discapacidad en la persona que sufre la lesión cerebral adquirida (4).

El fisioterapeuta tiene como base conceptual la neuroplasticidad en los procesos de rehabilitación, lo que evidencia la importancia de reconocer los mecanismos morfológicos y fisiológicos de la misma; frente a los primeros encontramos términos como: la **neurogénesis**, que consiste en un proceso típico de producción de nuevas neuronas y células gliales en diferentes zonas del encéfalo, pero también pueden producirse como respuesta a la lesión del sistema nervioso. Otro de los mecanismos es la **regeneración axonal** como la capacidad del axón de repararse frente a una lesión, se da de una manera lenta y espontánea lo que permite la conducción de los nervios lesionados, se puede dar también en el sistema nervioso Central de una manera limitada. Se evidencia también la **colateralización** que es simplemente la formación de nuevas ramificaciones de conducción, ya sea de axones intactos o de los que han sido lesionados, permitiendo nuevas sinapsis y restableciendo parcial o totalmente la función (5).

Entre los cambios fisiológicos se encuentran términos como la **plasticidad neuronal a corto plazo**, donde se dan procesos sinápticos inertes que se activan frente a situaciones lesivas del sistema nervioso permitiendo la recuperación. Otro mecanismo es la **plasticidad sináptica a largo plazo**, donde potenciando la estimulación del axón a largo plazo se puede facilitar la eficacia de la sinapsis (4).

Plasticidad en el sistema somatosensorial y motor

El estudio de la plasticidad a nivel cortical ha sido organizado a través de los mapas corticales como esquemas que representan la distribución de las cortezas sensoriales y motoras primarias (5). Investigaciones han demostrado como el estímulo de sensaciones y la repetición del gesto motor aumentan el nivel de sinapsis y plasticidad fisiológica en las áreas de la corteza cerebral que representan ese estímulo o gesto. Cuando se presenta una lesión estructural, como es el caso de la amputación de una extremidad donde se origina la sensación del miembro fantasma, el mapa cortical sufre cambios debido a la inactividad sináptica, generando que otros circuitos neuronales que se encuentran activos se encarguen de esa inactividad, conservando entonces parcialmente la percepción del esquema corporal aunque esté inervado de otras partes de la corteza (6).

El aprendizaje de nuevas habilidades motoras trae consigo cambios en la plasticidad y por ende en las representaciones corticales, que han sido evidenciadas a través de resonancia magnética (6). Estas habilidades se logran a través de la práctica y la repetición, generando redes neuronales, permitiendo fisiológicamente que el movimiento gane en fluidez y se automatice, siendo esta una de las bases que permiten al fisioterapeuta utilizar mecanismos de repetición y práctica de las actividades a educar o reeducar.

Neuroplasticidad fisiológica vs patológica

Esta clasificación desde la conservación o daño de la estructura nerviosa, genera cambios que pueden ser de reorganización, adaptativos o maladaptativos.

La plasticidad fisiológica se produce en un sistema indemne vinculado con: **el aprendizaje y la memoria** que implica cambios sinápticos a largo plazo, ejemplo de este es el aprendizaje de la marcha en el niño en donde al inicio se da

una gran actividad neural que va disminuyendo a medida que el niño aprende y perfecciona la tarea; y **la habituación** relacionados con cambios sinápticos a corto plazo, ejemplo de esta se encuentra en un estímulo de tipo vestibular como es el cambio abrupto de la posición en donde, en un primer momento de la experiencia, se puede presentar una sensación de vértigo, pero luego de varias repeticiones de la misma posición, se evidencia una disminución de la carga sináptica reduciendo la sensación (7). De esta forma, fisiológicamente la plasticidad facilita el aprendizaje de todo aquello que le permitirá interactuar en el entorno, como son el identificar sensaciones y dar respuestas frente a las mismas, el caminar, el aprender un idioma, el escribir entre otras.

Cuando se aborda el aspecto patológico de la neuroplasticidad, tras una lesión neurológica se pueden dar dos procesos: el de **adaptación** o, el **maladaptativo** (8), en el primer caso, tiene lugar un proceso de reorganización neuronal de las células sanas, formación de nuevas sinapsis y conexiones neuronales que desde el punto de vista funcional permiten la reinervación a nivel periférico, con restitución sensitiva y motora dependiendo del compromiso; en lesiones medulares incompletas la recuperación progresiva de la capacidad para caminar y en lesiones cerebrales una recuperación parcial espontánea durante los primeros meses de evolución (4).

En el proceso de la neuroplasticidad maladaptativa las neuronas no son capaces de filtrar la información para realizar nuevas conexiones y sinapsis asertivas que permitan el procesamiento adecuado de la información neuronal, alterando la integración a nivel central o periférico, lo que genera una recuperación limitada de las funciones afectadas y desencadenando respuestas que alteran el comportamiento motor del individuo, como por ejemplo, la presencia de espasticidad que genera sinergias flexoras o extensoras, movimientos estereotipados, presencia de reflejos patológicos al intentar realizar un movimiento.

La neuroplasticidad en fisioterapia neurológica

Los avances investigativos en neuroplasticidad muestran un panorama de posibilidades en la rehabilitación del paciente con dificultades funcionales de origen neurológico, buscando nuevas y diferentes formas para maximizar el potencial del sistema nervioso para reorganizarse.

Conocer las bases de la neuroplasticidad y cómo influyen en la habilitación o reeducación de patrones de movimiento es una de las herramientas

conceptuales de la intervención del fisioterapeuta en la rehabilitación neurológica, quien crea mecanismos para facilitar patrones motores típicos en el paciente con alteración de origen neurológico, adquiriendo o reestableciendo su funcionalidad; aplicando técnicas de control y aprendizaje motor desde prácticas basadas en la evidencia que le permitan “cambiar la organización somatotópica, incrementar las conexiones sinápticas y a su vez influir en la orientación dendrítica a corto y largo plazo” (8).

El fisioterapeuta junto con un equipo de rehabilitación trabaja hacia la recuperación de las habilidades funcionales, lo que hace que sus planes terapéuticos estén en constante reevaluación y cambio, brindando oportunidades de movimiento frente al déficit, involucrando actividades funcionales que permitan mejorar la plasticidad neural sin recurrir inmediatamente a la compensación y a las situaciones maladaptativas.

El reconocer la existencia de la neuroplasticidad adaptativa y maladaptativa nos debe llevar a entender la importancia de implementar tratamientos que estimulen movimientos automáticos y automatizados que impliquen la utilización de las extremidades evitando la falta de uso de las mismas en las diferentes tareas. De igual forma se requieren intervenciones tempranas que fomenten la adquisición de patrones motores eficientes y ajustados a las necesidades de movimiento, y que a su vez permitan que los sistemas neuronales realicen sinapsis de una manera dinámica, donde la plasticidad se logre a través de la actividad funcional con técnicas como la terapia de movimiento inducido.

Actualmente, se reconoce que el sistema nervioso humano es dinámico con áreas sensoriomotoras que, con la adquisición de las actividades motoras y unidas a la experiencia sensorial, van cambiando no solo de tamaño sino también funcionalmente (9). El aprendizaje de nuevas secuencias de movimiento estimula las partes sensoriales y motoras de la corteza cerebral, creando un mayor número de redes sinápticas, sin embargo, estas últimas cesan su actividad a medida que los patrones motores aprendidos se van automatizando. Cuando se presenta una lesión neurológica, se genera la neuroplasticidad adaptativa que se logra brindando al paciente instrucciones asertivas en el patrón motor que debe o necesita alcanzar desde el inicio del evento lesional; un ejemplo de ello, es el del adulto quien al sufrir un trauma encefálico deja como consecuencia una alteración en su patrón de marcha, en donde la intervención de fisioterapeuta desde inicios tempranos de la lesión brinde estrategias

que le permitan, a nivel estructural, la generación de redes neuronales neuroplásticas adaptativas y a nivel funcional, aprender a marchar en diferentes contextos, permitiendo involucrase en entornos cada día más complejos para la ejecución de patrones de movimiento.

Klein y colaboradores (2008) plantean los principios de la neuroplasticidad, haciendo énfasis en que los cambios neuroplásticos se dan no sólo con la repetición sino en contextos de entrenamiento que les permitan la habilidad funcional a través de la experiencia (10). Algunos de estos principios se resumen en la siguiente tabla:

Principios de la plasticidad dependiente de la experiencia	
PRINCIPIO	DESCRIPCIÓN
1. Úselo o piérdalo	El hecho de no conducir una función cerebral específica puede llevar a una degradación funcional.
2. Úselo y mejore	El entrenamiento que impulsa una función cerebral específica puede llevar a una mejora de esa función.
3. Especificidad	La naturaleza de la experiencia de entrenamiento dicta la naturaleza de la plasticidad.
4. La repetición importa	La inducción de la plasticidad requiere suficiente repetición.
5. La intensidad importa	La inducción de la plasticidad requiere suficiente intensidad de entrenamiento.
6. El tiempo importa	Diferentes formas de plasticidad ocurren en diferentes momentos durante el entrenamiento.
7. La saliencia importa	La experiencia de entrenamiento debe ser lo suficientemente notable para inducir la plasticidad.
8. La edad importa	La plasticidad inducida por el entrenamiento se produce más fácilmente en los cerebros más jóvenes.
9. La transferencia	La plasticidad en respuesta a una experiencia de entrenamiento puede mejorar la adquisición de comportamientos similares.
10. La interferencia	La plasticidad en respuesta a una experiencia puede interferir con la adquisición de otros comportamientos.

Fuente: reproducción de la Tabla 1. Página S227 en Kleim JA, Jones TA. Principios de la plasticidad neural dependiente de la experiencia: implicaciones para la rehabilitación después del daño cerebral. Revista de investigación del habla, lenguaje y audición. 2008; 51: S225–S239.

En conclusión, la neuroplasticidad se convierte en el puente que conecta al sistema nervioso central (SNC) con la intervención terapéutica y el logro funcional del paciente con lesión neurológica.

CONTROL MOTOR

La comprensión del funcionamiento del control motor se convierte en un requisito que fundamenta el ejercicio de la fisioterapia, en la comprensión y análisis del movimiento, y aunque es común que sea abordado para comprender los cambios en el comportamiento motor de individuos con deficiencias de origen neurológico, es importante entender que cualquier deficiencia en los diferentes sistemas compromete el control motor.

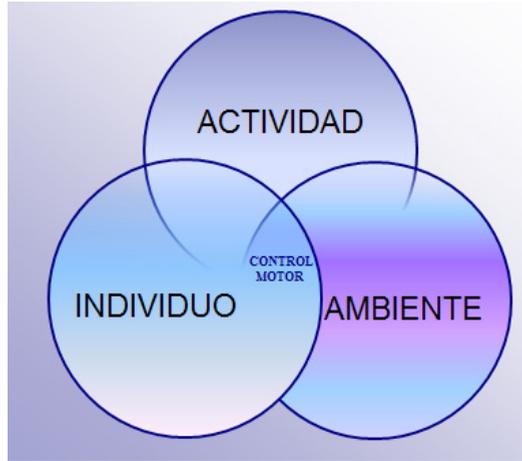
El control motor (CM) hace referencia a la forma como el sistema nervioso analiza el movimiento y lo organiza con armonía, orden y secuencia. Latash (11) lo define como “Un área de la ciencia que explora las leyes naturales que definen cómo el sistema nervioso interactúa con otras partes del cuerpo y el medio ambiente, para producir movimientos voluntarios coordinados”. Shumway et al. (12) lo definen como la causa y naturaleza del movimiento, refiriéndose a dos elementos, el control motor aplicado al control de la postura y el equilibrio y el relacionado con el movimiento.

Una definición más reciente es la planteada por Miangolarra (13) quien la plantea como “la habilidad para regular o dirigir el mecanismo esencial del movimiento. Ejecución de los procesos que conducen al movimiento humano normal y experto, así como los factores que conducen a la interrupción de tales habilidades”.

El CM si bien es cierto requiere del sistema nervioso para organizar el movimiento desde los sistemas sensoriales propioceptivos, los componentes biomecánicos y cognitivos para darle un propósito a ese movimiento, y de elementos biomecánicos que permitan la acción, el CM surge de la interacción entre el individuo, la tarea y el contexto (12) como se muestra en la figura 1:

1. El individuo con sus aspectos cognitivos, perceptivos y motores para entender el movimiento y comprender cuándo y dónde ejecutarlo.
2. La tarea, ya que la naturaleza de la tarea determina el tipo de movimiento que se requiere, no todo nuestro cuerpo actúa de la misma manera, el tronco brinda estabilidad, las extremidades ofrecen movilidad y sus partes distales tanto estabilidad como movilidad.
3. El contexto donde se planea o ejecuta el movimiento que puede ser regulado o normalizado y no regulado.

Figura 1. Control motor y su interacción con la actividad, el individuo y el ambiente.



Fuente: reproducción de la figura 1.1. Página 5 en Shumway Cook A, Woollacott MH. Control Motor: trasladando la investigación a la práctica clínica. 3 Ed [Internet]. Barcelona : Williams & Wilkins. 2007.

Teorías de control motor

La comprensión sobre la regulación del control motor y sus diversas aplicaciones, se aborda a través de diversas teorías. Shumway et al (12) definen una teoría de control motor como “un grupo de ideas abstractas sobre la causa y naturaleza del movimiento” con bases desde la neurofisiología, la biomecánica y hasta la filosofía.

La rehabilitación neurológica ha tenido, a través de la historia, una serie de transformaciones en cuanto a la forma de interpretar el movimiento y su control, de allí han surgido una serie de paradigmas de donde surgen teorías que pretenden dar significado a los mecanismos que originan el movimiento, influyendo en los principios de la intervención terapéutica.

Es así como en sus inicios, la intervención se centraba en la utilización del ejercicio físico enfatizando en el fortalecimiento y acondicionamiento físico, con un enfoque desde la reeducación muscular con un menor gasto energético basado en la identificación de las deficiencias, sin prestar mucha atención a las tareas y los contextos, ya que se creía que el problema del paciente con alteración neurológica era ocasionado por la disminución de la fuerza muscular (1), este enfoque plantea su base teórica desde la biomecánica, la kinesiología

y la prescripción del ejercicio (1). El enfoque de la neurofacilitación basado en el término potencial de recuperación, en donde se involucra el aprendizaje de las actividades funcionales a través de la función y la repetición de un patrón motor normal, en donde se considera la posibilidad de normalizar el tono muscular y controlar la espasticidad frente a un daño neurológico, este enfoque surge de teorías de control motor como la teoría refleja, la jerárquica, la retroalimentación (feedback) (1). Actualmente y sin desconocer los enfoques anteriormente mencionados, la intervención en neurorrehabilitación se fortalece a través de un enfoque de aprendizaje motor basado en la tarea, que contrario a los planteamientos anteriores, basa sus principios en que los pacientes necesitan aprender a recuperar su función motora de la manera más independiente posible, a través de la exploración estructurada de tareas motoras, la autoevaluación, el procesamiento de la información, la autocorrección y la práctica; este enfoque se ha basado en teorías evolutivas como la psicología cognitiva y conductual, la neurociencia, la ecológica y la cibernética (1).

La siguiente tabla esquematiza los enfoques, las bases teóricas y las principales características y limitaciones de los mismos.

Tabla 1. Enfoques de la intervención en la rehabilitación neurológica.

ENFOQUE	PROponentes PRINCIPALES	BASES TEÓRICAS	CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	MAYORES LIMITACIONES
REEDUCACIÓN MUSCULAR	Jacobson; DeLorme; Goldthwait y Kendall; Kenny	Fisiología muscular; Importancia del conocimiento y la motivación del paciente. Activación consciente y relajación de los músculos.	Uso de señales verbales para motivar actividades de contracción y relajación conscientes; Ejercicio de resistencia progresiva; Énfasis en la fuerza y la resistencia; Ejercicios aislados de fortalecimiento muscular	El supuesto de que el aumento de la fuerza y la resistencia da como resultado directamente una función mejorada; Poca consideración para la adaptación en pacientes con lesiones del SNC.
NEUROFACILITACIÓN	Cruz; Knott y Voss; Bobath; Brummstrom; Johnstone	Modelos reflejos y jerárquicos de control motor; Importancia de los reflejos posturales "normales" y el tono motor.	Uso de estímulos sensoriales y técnicas de facilitación/ inhibición manual para alterar el tono motor y promover patrones de movimiento "normales"; "maniobras" y "normalización" del tono muscular antes de practicar el control voluntario; Uso de los "puntos clave de control" de la cabeza y el tronco para establecer el control postural; tratar los puntos proximales del cuerpo antes de las extremidades; Practicar tareas funcionales en "patrones de movimiento normales" / evitar movimientos compensatorios; Disminución del énfasis fuera del contexto funcional.	Enfoque impulsado por el terapeuta que trata las deficiencias antes que las limitaciones funcionales Énfasis en lograr patrones de movimiento específicos para el desempeño funcional; Énfasis en la adquisición de movimientos con poca evidencia de transferencia a la retención y transferencia; Un mínimo énfasis en la resolución de problemas del paciente, la corrección de errores y la planificación.
APRENDIZAJE MOTOR	Schmidt; Winstein; Carr y Shepherd; Sotavento; Magill Gentile; Lee	Ciencias del movimiento; Psicología cognitiva	Énfasis en el enfoque orientado por el paciente a la planificación motriz, la detección de errores y la resolución de problemas; Énfasis en la importancia de la tarea y el medio ambiente; Uso de la configuración de tareas y entorno, entrega de información y práctica estructurada para el aprendizaje motor; Movimientos compensatorios vistos como un componente del aprendizaje; De-énfasis en la instrucción verbal y la facilitación manual / inhibición de movimientos; Énfasis en la retención de habilidades motoras y las transferencias.	Teoría del aprendizaje motor basada en gran parte en estudios de sujetos sanos que realizan tareas experimentales; Basado en gran parte en los principios del aprendizaje motor explícito; Poco disponible para pacientes con deficiencias motoras graves o limitaciones funcionales profundas; Disminución del énfasis en las técnicas de tratamiento no funcionales potencialmente eficaces que ayudan a mejorar las discapacidades motoras (fortalecimiento, movilización conjunta)

Fuente: reproducción y traducción de la Tabla 14-1. Página 456 en LIFESPAN NEUROREHABILITATION: A Patient-Centered Approach from Examination to Interventions and Outcomes. Estados Unidos. Filadelfia, PA: FA Davis Company, [internet] 2018.

Esta serie de cambios en los paradigmas de intervención y sus bases teóricas para el paciente con alteración del movimiento de origen neurológico, han permitido trascender de un enfoque centrado en el déficit y transitar hasta llegar a lo que hoy se trabaja como el logro funcional, para llevar al paciente a la realización de tareas funcionales antes de llegar a que se logre el control motor selectivo, enfocando la intervención en rehabilitación hacia la resolución de problemas funcionales y no solo al mejoramiento de patrones motores específicos o mal llamados “anormales”.

El fisioterapeuta desde su objeto de estudio, el movimiento corporal humano, reconoce las teorías de control motor (CM) como base para una intervención fisioterapéutica en neurología, fundamentada en la evidencia, fortaleciendo el campo disciplinar e investigativo.

CLASIFICACIÓN DE LAS TEORÍAS DE CONTROL MOTOR

Estas teorías de control motor son abordadas desde diferentes líneas disciplinares, entre los que se encuentran: las neurofisiológicas enfocada a la comprensión desde los componentes del sistema neuromuscular; la psicológica desde el comportamiento neuromotor basados en modelos del procesamiento de la información, y la ingenieril que pretende la integración de los componentes anatomofisiológicos para dar una respuesta neuromotora (14).

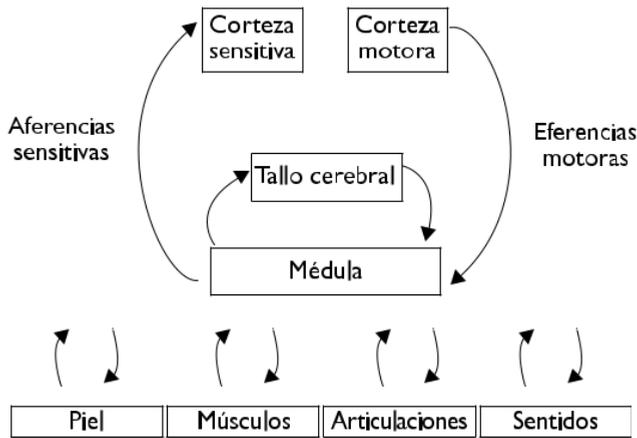
Teoría refleja

En 1906, el neurofisiólogo Sir Charles Sherrington estableció la base para el modelo reflejo del control motor (14). Según sus planteamientos los reflejos eran los componentes básicos de un comportamiento complejo destinado a lograr un objetivo común. Comprobó que al realizar estímulos sensitivos o aferentes en músculos, articulaciones y receptores de dolor en una lesión del SNC se presentan movimientos estereotipados como respuesta, y describió este comportamiento en términos de reflejos compuestos y su acción combinada o encadenada (Figura 2). Un estímulo provoca una respuesta, que se transforma en el estímulo de la siguiente respuesta (13).

Desde esta teoría se enfocan las intervenciones terapéuticas que tienen en cuenta los mecanismos reflejos para la regulación del movimiento. Plantea que a través de un estímulo se crea una respuesta a través de un receptor y un

efector, este estímulo siempre tiene un propósito, en donde se percibe el mensaje a través de receptores aferentes que asciende a corteza motora, produciendo una respuesta que es llevada por vías eferentes al músculo, generando el movimiento. Igualmente plantea el encadenamiento de reflejos en donde un estímulo genera una respuesta en cadena (figura 2). Esto tiene como implicación clínica el aumentar o inhibir diversos reflejos, que permitan adquirir un control del movimiento incidiendo de forma refleja, ya que para este modelo los reflejos son la base del movimiento.

Figura 2: Modelo reflejo de control motor.



Fuente: reproducción de la figura 1. Página 47 en Nicolsky, Gabriela. “Teorías de control motor ¿Nuevos conceptos en rehabilitación neuropediátrica kinésica del niño con parálisis cerebral? En “Arch Neurol Neuroc Neuropsiquiatr. 2007.

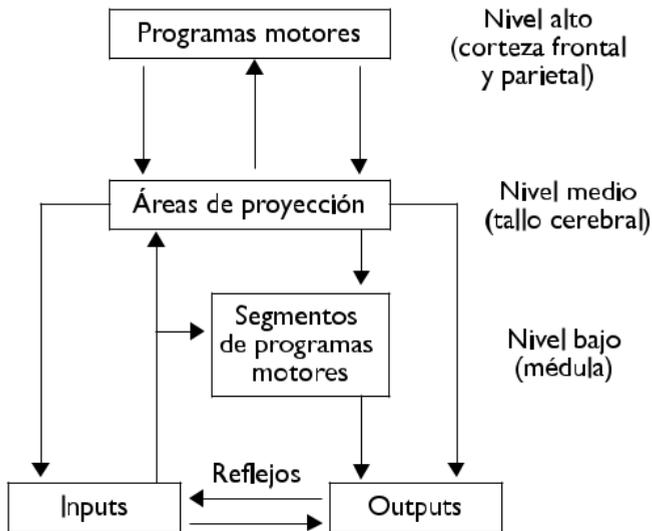
Las técnicas de tratamiento en lesión neurológica que se basan en esta teoría se enfocan al control de la espasticidad a través del estiramiento y estímulo o inhibición del arco reflejo, sin embargo, una de las mayores limitaciones es considerar el arco reflejo como la unidad básica del comportamiento motor, restando importancia a la generación de nuevos patrones de movimiento y la secuencialidad de los mismos en el control motor.

Un ejemplo de la intervención se da cuando un adulto con hemiparesia se encuentra influenciado por un reflejo tónico cervical asimétrico, liberando este reflejo al realizar unos giros de cabeza, lo que realiza el terapeuta es inhibir la presencia de estos reflejos alineando la cabeza en línea media y desencadenando reacciones de enderezamiento.

Teoría jerárquica

La teoría jerárquica desarrollada por Jackson J.H. (1932), establece que el movimiento en el sistema nervioso central (SNC) está organizado en niveles jerárquicos, de manera que las áreas de mayor asociación se encuentran en la corteza motora o nivel superior, el nivel intermedio dado por el tallo cerebral y el nivel inferior en médula espinal. Cada nivel superior controla el nivel inferior según una estricta jerarquía vertical. Las líneas de control no se cruzan, y los niveles inferiores no pueden ejercer control (12).

Figura 2A: Modelo jerárquico de control motor.



Fuente: reproducción de la figura 1. Página 47 en Nicolsky, Gabriela. "Teorías de control motor ¿Nuevos conceptos en rehabilitación neuropediátrica kinésica del niño con parálisis cerebral? En "Arch Neurol Neuroc Neuropsiquiatr. 2007.

El desarrollo motor normal se atribuye al aumento de la corticalización del SNC, que da lugar a la aparición de niveles más altos de control sobre los reflejos de nivel inferior; la maduración del SNC es el principal agente de cambio en el desarrollo, con una participación mínima de otros factores. La teoría jerárquica ha evolucionado y los científicos reconocen que cada uno de los niveles, puede actuar sobre los demás dependiendo de la actividad realizada. Los reflejos ya no se consideran el único determinante del CM, sino uno de los muchos procesos esenciales en la iniciación y el control del movimiento.

Esta teoría también plantea que el control del movimiento se da con el entrenamiento y la repetición. En la aplicación clínica se enseña un patrón de movimientos de un nivel, el paciente lo repite, lo aprende y lo ejecuta, adquiriendo la experiencia, es decir, que a medida que la experiencia del individuo se va volviendo más compleja lleva a la perfección de los movimientos del mismo.

Dentro de la implicación clínica se encuentra que para adquirir un movimiento voluntario, se requiere de la inhibición de los reflejos primitivos como son los tónicos cervicales permitiendo la estimulación de la acción en la corteza cerebral, estos reflejos no desaparecen durante el desarrollo del movimiento sino que se integran en los patrones de movimiento generando movimientos planeados e intencionados; esto explica el porqué de la presencia de reflejos primitivos frente a un daño de nivel superior, ya que al lesionarse la estructura que permitía su inhibición genera la presencia de movimientos estereotipados bajo una influencia refleja (12).

Teoría de sistemas

Con un enfoque desde la biomecánica está basada en los estudios de Nikoli Bernstein (1967) explica que el control neuronal sobre el movimiento no se puede entender sin una comprensión previa de los sistemas que se mueven. Afirma que los movimientos no se controlan ni central ni periféricamente, sino que se efectúan mediante interacciones entre múltiples sistemas (16). El cuerpo es considerado como un sistema mecánico sujeto tanto a fuerzas internas como a fuerzas externas (gravedad).

Bernstein observó que el movimiento surge de una variedad de grados de libertad con los que cuentan los nervios, músculos, articulaciones y la forma como se coordinan para participar en una tarea específica en el entorno, de tal forma que nunca se realiza una tarea motora de la misma manera, sino guiados por la representación interna de una acción intencional, por fuerzas externas (gravedad) y mecánicas que afectan nuestro cuerpo en movimiento, unidas a las características mecánicas intrínsecas del sistema musculoesquelético. “Por ejemplo, al caminar a una velocidad normal, se produce la plantiflexión del tobillo con el solo contacto del talón en el piso y desde allí se generan una serie de combinaciones de movimiento coordinados de las extremidades para resolver lo que Bernstein llamo “el programa motor”, que en el ejemplo anterior no es la simple contracción muscular, sino la activación efectiva de los músculos que participan en ese movimiento para compensar y

optimizar las fuerzas externas que surgen durante la ejecución de la marcha (1) (véase Figura 3).

La teoría de sistemas predice el comportamiento real con mucha más precisión que las teorías anteriores, ya que considera no solo lo que el sistema nervioso contribuye al movimiento, sino también las contribuciones de los diferentes sistemas junto con las fuerzas de la gravedad y la inercia (16).

Figura 3: Teoría de sistemas. Diseño del autor.



Fuente: elaboración propia.

Teoría de la acción dinámica o de patrones dinámicos

Teoría basada en los estudios de Bernstein que busca identificar cómo los grados de libertad neuromusculares pueden organizarse de manera coordinada. Este enfoque observa al individuo en movimiento desde una nueva perspectiva (13). Teniendo en cuenta el principio de auto organización, la teoría establece que cuando se integra un sistema formado por partes individuales, sus partes actuarán colectivamente de manera organizada. La proposición principal es que los patrones de movimiento coordinados son los elementos primarios del comportamiento motor humano, en lugar de movimientos aislados y hace énfasis en que “los “cambios de fase”, ocurren desde un patrón de coordinación preferido o un estado de atracción a otro, a medida que cambian

las condiciones de la tarea o el entorno” (1) sin necesidad de programas motores. La teoría de la acción dinámica minimiza la importancia de la idea de que el SNC envía comandos para controlar el movimiento, y busca explicaciones físicas que también puedan contribuir a las características del movimiento.

Una explicación a la teórica se presenta con el patrón de escritura, a medida que se inicia la escritura lenta, se realizan una patrón motor de orden a partir de una serie de movimientos que se organizan para realizarla con una adecuada coordinación, sin embargo, en la medida en que se aumenta la velocidad de la escritura se intenta perder la coordinación y la secuencia del programa motor, entonces el sistema crea u ordena mecanismos que se auto organizan para realizar la tarea de manera efectiva.

Esto demuestra que, a ciertas velocidades, ningún estado atractivo (patrón de movilidad) puede ser óptimo, y pueden ocurrir comportamientos incoherentes o erráticos a medida que el sistema se esfuerza por encontrar estabilidad. En la teoría de patrones dinámicos, los aumentos en la variabilidad motora se identifican como un acontecimiento natural durante una transición de fase, no necesariamente un error de movimiento (1).

Teoría de los sistemas dinámicos

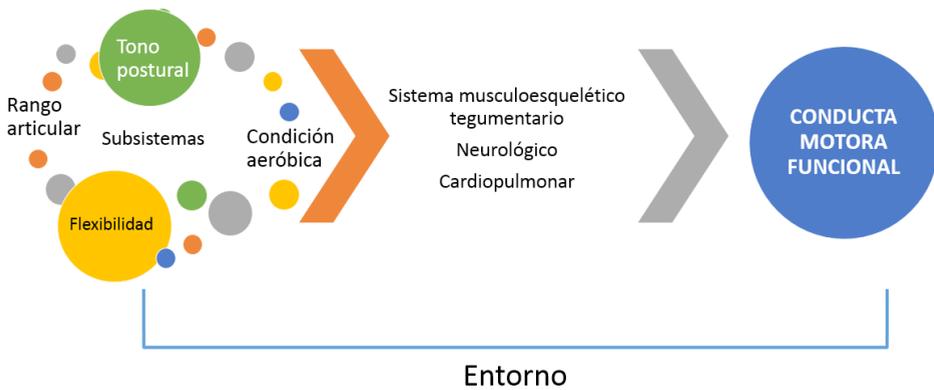
“Thelan y et al. (Heriza, 1991; Thelan, 1986; Thelan y Ulrich, 1991) adaptaron una serie de conceptos de la teoría de patrones dinámicos para desarrollar un enfoque de “sistemas dinámicos” para comprender el comportamiento motor humano” (1). El comportamiento motor emerge gracias a la influencia del entorno y numerosas estructuras y funciones corporales que definieron como “subsistemas”, entre los que se encuentran la percepción, la biomecánica, la cognición, la generación de fuerza, el procesamiento sensorial, el estado emocional, el entorno, entre otros. Esto quiere decir que el comportamiento motor de un sistema solo ocurre cuando estos subsistemas hayan alcanzado el punto crítico de participación que les corresponde dentro de ese sistema (véase figura 5).

Para ejemplarizar esta teoría se tomará un paciente con hemiparesia, quien presenta un patrón flexor en miembro superior parético y extensor en miembro inferior, quien durante la deambulación crea mecanismo de compensación con la extremidad no comprometida en un aumento desmedido de su balanceo, junto con una marcha con una base de sustentación amplia debido a su temor a caer al deambular por terrenos irregulares, generando entonces

que todos los subsistemas que participan en esta actividad generen mecanismos de protección para evitar la caída.

Es así como este modelo de sistemas dinámicos brindan herramientas para entender que el movimiento no depende solo de un sistema, sino de la interacción de los subsistemas para que se cambien de conductas motoras limitadas a conductas más funcionales.

Figura 4: Teoría de los sistemas dinámicos. Thelan y et al.

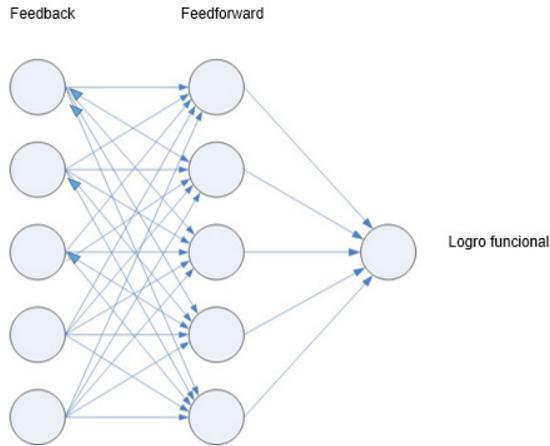


Fuente: elaboración propia.

Modelos de redes neuronales

Establecen que el movimiento se da por interacción del entramado en red a nivel neuronal, que establece interconexiones donde se establece una multidireccionalidad dentro del SNC, cuando un componente del sistema es perturbado, este sistema se modifica de manera rápida, de tal manera que el sistema de control a través de la comunicación basada en el feedback y el feedforward permite el logro de un objetivo funcional y no de patrones de movimiento aislados (17). Estos modelos demuestran en la práctica rehabilitadora que cuando se presenta una alteración del movimiento, su recuperación es posible en la medida que se realice en entornos que exijan la realización de acciones funcionales complejas, de esta manera las redes neuronales actúan codificando y organizando la información, y utilizando los mecanismos de control necesarios para que el movimiento sea eficiente y funcional (véase figura 5).

Figura 5: Modelo de redes neuronales.



Fuente: modificado de IBM.

https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/SS3RA7_sub/modeler_mainhelp_client_ddita/components/neuralnet/neuralnet_model.html

Teoría Ecológica

Conocida como la teoría de la percepción-acción por Gibson (1960), plantea que el comportamiento motor del ser humano está íntimamente relacionado con la forma como interpreta el entorno, como interactúa y percibe el mundo físico en relación con su propia morfología, y atributos personales tales como la estatura, el peso, el tamaño de sus extremidades, entre otros, y de esta manera darle sentido al movimiento y desarrollar un comportamiento orientado a objetivos (1).

Se plantea entonces que para que el movimiento se produzca de una manera asertiva y ajustada a las necesidades del individuo, este debe convertirse en un gran perceptor de las posibilidades y las limitaciones que existen en el entorno. En conclusión, la percepción del individuo dentro del entorno determina el comportamiento motor que emerge promoviendo el desempeño de actividades que son ambientalmente apropiadas (16).

Dentro del campo de la rehabilitación, con esta teoría se evidencia la importancia de que el paciente realice tareas funcionales con objetos reales en entornos que le permitan percibir no solo el espacio, sino también la morfología de los mismos optimizando de esta manera su capacidad funcional.

TEORÍAS DE LA ACCIÓN

El organismo y el ambiente interactúan para generar el movimiento en un espacio perceptual-motriz. Se clasifican las siguientes teorías:

Teoría orientada a la actividad

La teoría orientada a la actividad se basa en la premisa de que el objetivo de CM es dominar el movimiento involucrado en completar una acción específica, y no solo moverse por el simple hecho de moverse. El control del movimiento se organiza de acuerdo con el comportamiento funcional orientado a objetivos (11).

APRENDIZAJE MOTOR

La capacidad que tiene el ser humano para realizar una tarea en un contexto determinado permite identificar las bases del aprendizaje motor. Cano de la cuerda et al (16), definen el aprendizaje motor como “el conjunto de procesos internos asociados a la práctica y la experiencia, que producen cambios relativamente permanentes en la capacidad de producir actividades motoras, a través de una habilidad específica”. Este aprendizaje motor parte de entender el proceso que favorece el dominio o la habilidad del movimiento y los factores que facilitan o inhiben ese desarrollo (17).

Schmidt(18) plantea el aprendizaje motor como “un conjunto de procesos asociados con la práctica o la experiencia que llevan a cambios relativamente permanentes en la capacidad por responder”. El aprendizaje motor implica un conjunto de procesos internos, que incluyen la percepción de sí mismo, la planificación, la ejecución motriz, la experiencia, el procesamiento de la información y el refinamiento de la ejecución motriz. “El aprendizaje motor no es simplemente la adquisición de un nuevo comportamiento; es la retención y transferencia de ese comportamiento” (18).

MODELOS Y TEORÍAS DE APRENDIZAJE MOTOR

Modelo de las tres fases de Titts y Posner

Describieron tres etapas en el aprendizaje motor para la adquisición de habilidades motoras. La **fase cognitiva**, el paciente aprende una nueva habilidad, o

reaprende una existente. Los pacientes deberán practicar la tarea con frecuencia, con supervisión y orientación externas; es importante cometer errores y saber cómo corregirlos en este proceso. La **fase asociativa**, el paciente ha seleccionado la mejor estrategia para realizar la tarea, puede realizar la tarea en una situación con restricciones ambientales específicas, el paciente cometerá menos errores durante la actividad y la completará más fácilmente y comienza a perfeccionar la tarea. Los pacientes comenzarán a entender cómo se relacionan los diferentes componentes de una habilidad. Durante la **fase autónoma**, el paciente puede moverse en una variedad de movimientos automatizados, requiriendo de un menor grado de atención manteniendo la habilidad durante la ejecución de las tareas (16).

Teoría de sistemas de tres fases

El modelo de Bernstein enfatiza en la cuantificación de los grados de libertad del movimiento durante la adquisición de una habilidad motora, o enfatiza la cuantificación de los grados de libertad, planteando cuantos movimientos necesita para realizar una acción. Este modelo de aprendizaje incluye tres etapas. Durante la etapa inicial, el individuo simplificará sus movimientos al reducir los grados de libertad. En la etapa avanzada, el individuo obtendrá algunos grados de libertad, lo que permitirá el movimiento en más una de las articulaciones involucradas en la tarea. Por último, el sujeto en la etapa de experto, posee todos los grados de libertad necesarios para llevar a cabo la tarea de manera efectiva y coordinada (16).

Modelo de dos fases de Gentile

Plantea la adquisición de la habilidad motora en dos fases. Primera fase desarrolla la comprensión del propósito de la tarea, desarrollando estrategias de movimiento apropiadas para completar la tarea e interpretar información ambiental que sea relevante para organizar el movimiento, aprendiendo a distinguir los elementos relevantes del movimiento. Una segunda fase, la de fijación o diversificación, el sujeto pretende redefinir el movimiento, que incluye desarrollar la capacidad para adaptar el movimiento a los cambios en la tarea y en el entorno realizando la tarea de manera eficiente (17).

PRIMERA FASE	SEGUNDA FASE
Comprensión de la tarea dinámica, planeación previo al movimiento. Permite aprender a distinguir elementos relevantes (reguladores entorno) de aquellos no relevantes	Tiene una fijación o diversificación; el objetivo es redefinir el movimiento adaptando cambios de la tarea y el entorno para desarrollarla, coherente y eficiente

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Fell, Dennis W, Lunnen, Karen Y, Rauk, Reva P .LIFESPAN NEURO-REHABILITATION: A Patient-Centered Approach from Examination to Interventions and Outcomes. Estados Unidos. Filadelfia, PA: FA Davis Company, [internet] 2018 [revisado noviembre 22 de 2018]. Disponible en: https://books.google.com.co/books/about/LIFESPAN_NEUROREHABILITATION.html?id=ZShFDwAAQBAJ&redir_esc=y
2. Castaño J. [Plasticidad neuronal y las bases científicas de la neurohabilitación]. Revista de Neurología [internet]. 2002 febrero [citado noviembre 15 de 2018]; 34 Suppl 1: S130-5. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.bdigital.ces.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=cmedm&AN=12447803&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
3. Bayona Prieto Jaime, Bayona Edgardo A, León-Sarmiento Fidias E. Neuroplasticidad, Neuromodulación y Neurorehabilitación: Tres conceptos distintos y un solo fin verdadero. Salud, Barranquilla [internet]. 2011 enero [citado diciembre 03 de 2018]; 27 (1): 95-107. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-55522011000100010&lng=en.
4. Gómez-Soriano J., Taylor j. Neuroplasticidad. De la Cuerda, RC Neurorehabilitación: Métodos específicos de valoración y tratamiento. España: Médica Panamericana. 2012. P. 89-96.
5. Buonomano, Dean V. y Michael M. Merzenich. "Plasticidad cortical: de las sinapsis a los mapas". Revisión anual de neurociencia 21.1 (1998): 149-186.
6. Schwartz D. Mejora de la función de la mano en niños con parálisis cerebral: teoría, evidencia e intervención. Diario de la terapia de la

- mano [internet]. 2009 1 de enero [citado 02 diciembre de 2018]; 22 (4): 382-3. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.bdigital.ces.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0894113009000763&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
7. Bisbe, Marta, C. Santoyo, and V. Segarra. Anatomofisiología del sistema nervioso: de la fisiología a la patología. “Fisioterapia en neurología: procedimientos para restablecer la capacidad funcional. Madrid. Panamericana. 2012. p. 7-10.
 8. León-Sarmiento, F.E., Jaime Bayona-Prieto, and Yuli Cadena. “Plasticidad neuronal, neurorehabilitación y trastornos del movimiento: el cambio es ahora.” Colombia [internet] 2008 [consultado diciembre 01 de 2018] Acta Neurol Col 24 (2008): 40-2. Disponible en: <https://scholar.google.com/scholar?oi=gsb95&q=Plasticidad%20neuronal%2C%20neurorehabilitaci%C3%B3n%20y%20trastornos%20del%20movimiento%3A%20el%20cambio%20es%20ahora%20Neuronal%20plasticity%2C%20neurorehabilitation%20and%20movement%20disorders%3A%20the%20change%20is%20now&lookup=0&hl=es>.
 9. Nudo RJ. Plasticidad adaptativa en la corteza motora: implicaciones para la rehabilitación después de una lesión cerebral. Revista de Medicina de Rehabilitación [internet]. Mayo de 2003 [citado diciembre 05 de 2018]; (41 Suppl): 7–10. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.bdigital.ces.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=mdc&AN=12817650&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
 10. Kleim JA, Jones TA. Principios de la plasticidad neural dependiente de la experiencia: implicaciones para la rehabilitación después del daño cerebral. Revista de investigación del habla, lenguaje y audición: JSLHR [internet]. Febrero de 2008 [citado 2019 el 15 de julio]; 51 (1): S225-39. Disponible en: <http://search.ebscohost.com.bdigital.ces.edu.co:2048/login.aspx?direct=true&db=cmedm&AN=18230848&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
 11. Latash ML. Fundamentos del Control de Motores [internet]. Vol. 1ª ed. Londres, Reino Unido: Academic Press; 2012 [citado 2018 el 4 de diciembre]. Disponible en: <http://usc.elogim.com:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=464865&lang=es&site=eds-live>.
 12. Shumway cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice 3 Ed [internet]. Barcelona : Williams & Wilkins.

- 2007.; [cited 2018 septiembre 22]. Available from: <http://bdigital.ces.edu.co:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02435a&AN=odin.183289&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
13. Miangolarra J.C. Alguacil I.M. teorías sobre el control motor. Control y aprendizaje motor: Fundamentos, desarrollo y reeducación del movimiento humano. España. Médica Panamericana, 2016 p.29-33.
 14. Levine DN. Sherrington's "The Integrative action of the nervous system": A centennial appraisal. *Journal of the Neurological Sciences* [Internet]. 2007 Feb 15 [cited 2018 Dec 5];253(1/2):1–6. Available from: <http://bdigital.ces.edu.co:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=asn&AN=23870477&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
 15. Nicolsky, Gabriela. "Teorías de control motor; Nuevos conceptos en rehabilitación neuropediátrica kinésica del niño con parálisis cerebral. En " *Arch Neurol Neuroc Neuropsiquiatr* [internet]. 2007 [Consultado 23 junio 2019] volumen 14(1); páginas 41-47. Disponible en: <https://www.cursosdekinesiologia.com/wp-content/uploads/2015/03/Teor%C3%ADas-del-Control-Motor.pdf>.
 16. Cano-de-la-Cuerda R, Molero-Sánchez A, Carratalá-Tejada M, Alguacil-Diego IM, Molina-Rueda F, Miangolarra-Page JC, et al. Review article: Theories and control models and motor learning: Clinical applications in neurorehabilitation. *Neurología (English Edition)* [internet]. 2015 Jan 1 [cited 2018 Dec 5];30:32–41. Available from: <http://bdigital.ces.edu.co:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S2173580814001424&lang=es&site=eds-live&scope=site>.
 17. Miangolarra J.C. Modelos y teorías sobre el control motor. En: Cano-de-la-Cuerda R. *Neurorrehabilitación*. Primera edición. España. Médica Panamericana; 2012. p. 105-125.
 18. Schmidt, Richard A., et al. Control motor y aprendizaje: un énfasis de comportamiento. *Human Kinetics*; 1988. P.346