

# *Control motor*

TEORÍA Y APLICACIONES PRÁCTICAS



***Anne Shumway-Cook, Ph.D.***

Coordinadora de Investigación  
Departamento de Fisioterapia  
Northwest Hospital  
Seattle, Washington

***Marjorie H. Woollacott, Ph.D.***

Profesora  
Departamento de Ejercicio y Ciencias del Movimiento  
Instituto de Neurociencia  
University of Oregon  
Eugene, Oregon



**Williams & Wilkins**

---

BALTIMORE · FILADELFIA · HONG KONG  
LONDRES · MUNICH · SYDNEY · TOKIO

---

A WAVERLY COMPANY



*Editor:* John P. Butler  
*Editor Creativo:* Nancy H. Evans  
*Corrector de Manuscritos:* Judith F. Minkove  
*Diseño:* Wilma E. Rosenberger  
*Planificación de Ilustraciones:* Ray Lowman  
*Coordinador de Producción:* Charles E. Zeller  
*Fotografía:* David Trees

Copyright © 1995  
Williams & Wilkins  
428 East Preston Street  
Baltimore, Maryland 21202, USA



Todos los derechos reservados. Esta obra está protegida por los derechos de autor. Ninguna parte de este libro puede ser reproducida de cualquier forma o a través de cualquier medio, incluidas las fotocopias, ni debe ser utilizada por cualquier sistema informático sin una autorización escrita del propietario de los derechos de autor.

*Impreso en los Estados Unidos de América*

Library of Congress Cataloging in Publication Data

Shumway-Cook, Anne, 1947-

Motor Control: theory and practical applications (Control motor: teoría y aplicaciones prácticas) / Anne Shumway-Cook, Marjorie H. Woollacott.— Primera edición.

p. cm.

Incluye índice.

ISBN 0-683-07757-0

1. Fisioterapia. 2. Aprendizaje motor. I. Woollacott, Marjorie., 1946- . II. Título.

RM701.S55 1995

612.7—dc20

94-26889

CIP

97 98 99  
3 4 5 6 7 8 9 10

Traducción:  
Claudia A. Tirado R.  
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso



*Con gran cariño y gratitud dedicamos este libro a todas aquellas personas, incluyendo colegas, examinadores y pacientes, que han contribuido al desarrollo de las ideas que aquí se presentan. Agradecemos a la divina fuente de nuestro entusiasmo, conocimiento y alegría. Dedicamos esta obra, al igual que todas nuestras acciones, a Dios, quien la puso en nuestro camino y nos dio la sabiduría y el apoyo constante durante su creación.*



---

---

## PREFACIO

En los últimos años ha surgido un enorme interés entre los médicos por las nuevas teorías del control motor y sobre su papel en la orientación de la práctica médica. La explosión de nuevas investigaciones en el campo de la neurociencia ha ampliado la distancia entre la investigación / teoría y los procedimientos médicos relacionados con ayudar a los pacientes a recuperar el control motor. Esta obra es un intento de llenar el vacío entre la teoría y la práctica, enfatiza los fundamentos científicos y experimentales de las nuevas ideas y explica como pueden aplicarse los principios de esta ciencia a la práctica médica. Mientras se analizan diferentes teorías, el objetivo principal del texto es presentar una **teoría de sistemas** del control motor y un método clínico para la evaluación y el tratamiento de sus problemas basado en un modelo de sistemas. Nos referimos a dicho enfoque como un “método orientado a la actividad”. La obra se divide en cuatro secciones, la Sección I, titulada “Marco Teórico”, repasa las teorías actuales sobre el control motor, el aprendizaje motor y la recuperación de funciones después de una lesión neurológica. Se discuten las implicancias médicas de diversas teorías, además, se analizan los fundamentos fisiológicos del control y aprendizaje motor. Finalmente, se incluye un capítulo que expone un esquema conceptual que sugerimos para la práctica médica.

Esta primera parte conduce a la sección principal de esta obra, la cual aborda los problemas del control motor relacionados con el control de la postura y del equilibrio (Sección II), movilidad (Sección III) y funciones de manipulación de las extremidades superiores (Sección IV). Los capítulos incluidos en cada una de las secciones mantienen un formato estándar. El primer capítulo discute temas relacionados con procesos de control normales. El segundo (y el tercero en algunos casos) describe problemas vinculados con la edad. El tercer capítulo presenta estudios de funciones anormales, mientras que el último comenta las aplicaciones de la investigación actual a la evaluación y tratamiento de las alteraciones motoras en cada una de las tres áreas funcionales.

Imaginamos que este texto será usado por cursos de pre y postgrado sobre control motor normal, desarrollo motor a través de la vida y rehabilitación en las áreas de fisioterapia y terapia ocupacional así como en kinesiología.

*Control motor: Teoría y Aplicaciones Prácticas* busca proporcionar un sistema que le permitirá al médico incorporar la teoría en la práctica. Aún más importante es nuestra esperanza de que este libro servirá como un trampolín para desarrollar métodos nuevos y más efectivos para evaluar y tratar pacientes con problemas motores.





---

---

# CONTENIDOS (Parte 1)

*Prefacio*

v

---

## Sección I **MARCO TEÓRICO**

1.	TEORÍAS SOBRE EL CONTROL MOTOR	3
2.	APRENDIZAJE MOTOR Y RECUPERACIÓN FUNCIONAL	19
3.	FISIOLOGÍA DEL CONTROL MOTOR	37
4.	FUNDAMENTOS FISIOLÓGICOS DEL APRENDIZAJE MOTOR Y DE LA RECUPERACIÓN FUNCIONAL	72
5.	MARCO CONCEPTUAL PARA LA PRÁCTICA MÉDICA	84

---

## Sección II **POSTURA / EQUILIBRIO**

6.	CONTROL DE LA POSTURA Y DEL EQUILIBRIO	101
7.	DESARROLLO DEL CONTROL POSTURAL	122
8.	ENVEJECIMIENTO Y CONTROL POSTURAL	146
9.	CONTROL POSTURAL ANORMAL	159
10.	EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO DE PACIENTES CON TRASTORNOS POSTURALES	178



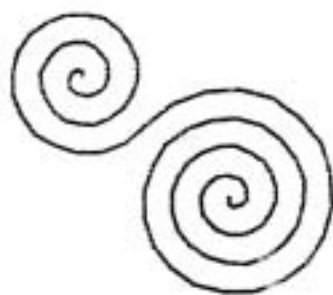
---

Sección I

---

**MARCO TEÓRICO**

---





## TEORÍAS SOBRE EL CONTROL MOTOR

Introducción	Limitaciones
¿Qué es el Control Motor?	Implicancias Clínicas
Estudio de la Acción	Teorías de la Programación Motora
Estudio de la Percepción	Limitaciones
Estudio de la Cognición	Implicancias Clínicas
Interacción del Individuo, Actividad y Ambiente	Teoría de Sistemas
¿Por qué los Médicos Deberían Estudiar el Control Motor?	Limitaciones
¿Qué es una Teoría sobre el Control Motor?	Implicancias Clínicas
¿Cuál es la Relación entre la Teoría y la Práctica?	Teoría de la Acción Dinámica
Sistema para Interpretar el Comportamiento	Limitaciones
Guía para el Procedimiento Clínico	Implicancias Clínicas
Nuevas Ideas: Las Teorías son Dinámicas y Evolutivas	Teoría del Procesamiento de Distribución en Paralelo
Hipótesis de Trabajo para la Evaluación y el Tratamiento	Limitaciones
Teorías sobre el Control Motor	Implicancias Clínicas
Teoría Refleja	Teorías Orientadas a las Actividades
Limitaciones	Limitaciones
Implicancias Clínicas	Implicancias Clínicas
Teoría Jerárquica	Teoría del Medio Ambiente
	Limitaciones
	Implicancias Clínicas
	¿Cuál Teoría sobre el Control Motor es Mejor?
	Resumen

### INTRODUCCIÓN

#### ¿Qué es el Control Motor?

En este texto lo definimos como el estudio de la causa y naturaleza del movimiento. Cuando hablamos sobre control motor, en realidad nos referimos a dos elementos. El primero se asocia con la estabilización del cuerpo en el espacio, o sea, con el control motor aplicado al control de la postura y del equilibrio. El segundo se relaciona con el desplazamiento del cuerpo en el espacio, o sea, con el control motor aplicado al movimiento. De esta forma, aquí definimos el término ampliamente para abarcar tanto el control del movimiento como el de la postura.

#### ESTUDIO DE LA ACCIÓN

Con frecuencia, se describe un movimiento dentro del contexto de la realización de una acción particular. Como resultado, usualmente el control motor se estudia en relación con acciones o actividades específicas. Por ejemplo, los fisiólogos pueden preguntar: ¿cómo es posible que las personas

caminen, corran, hablen, sonrían, se estiren o permanezcan quietas? A menudo, los investigadores estudian el control del movimiento dentro del contexto de una actividad específica, como caminar, esperando que una comprensión de los procesos relacionados con esa acción proporcionará el conocimiento de los principios que controlan todo el movimiento. Por lo tanto, el estudio del control motor incluye el estudio de la *acción*.

#### ESTUDIO DE LA PERCEPCIÓN

Lamentablemente, el término control motor es, en sí mismo, un tanto engañoso, debido a que el movimiento se origina de la interacción de múltiples procesos, que incluye aspectos perceptivos, cognitivos y motores. La percepción es fundamental para la acción, al igual que lo es la acción para la percepción. Las actividades se realizan dentro del contexto de un ambiente. Los sistemas aferentes proporcionan información sobre el cuerpo y el ambiente y, claramente, son esenciales para la capacidad de actuar en forma efectiva dentro de un entorno (1). Así, para comprender el control motor se requiere el estudio de la *percepción*.

## ESTUDIO DE LA COGNICIÓN

Además, debido a que generalmente un movimiento no se realiza sin un propósito, los procesos cognitivos son fundamentales para el control motor. En esta obra se definen ampliamente para incluir la atención, la motivación y los aspectos emocionales, base de la determinación de propósitos u objetivos. El control motor incluye los sistemas perceptivos y de acción, organizados para alcanzar dichos objetivos o propósitos específicos. De esta manera, el estudio del control motor debe comprender el análisis de los **procesos cognitivos** ya que se relacionan con el control de la percepción y de la acción.

## INTERACCIÓN DEL INDIVIDUO, ACTIVIDAD Y AMBIENTE

Aunque cada uno de los aspectos del control motor— percepción, acción y cognición— puede ser estudiado aisladamente, creemos que una verdadera visión de su naturaleza no puede alcanzarse sin una síntesis de la información de cada uno de ellos.

No obstante, la investigación enfocada sólo en aquellos procesos interiores de los individuos sin considerar los medios en que se desenvuelven o las actividades que realizan, proporcionará una perspectiva incompleta. En consecuencia, en este libro, nuestro análisis se centrará en la interacción entre el individuo, la actividad y el ambiente. La Figura 1.1 ilustra el concepto de que el movimiento surge de la interacción entre estos tres factores.

**¿Por qué los Médicos Deberían Estudiar el Control Motor?**

¿Por qué los médicos deberían interesarse por el estudio del control motor? Ellos pasan una cantidad considerable de tiempo reeducando las alteraciones motoras en pacientes con limitaciones funcionales. Los médicos han sido llamados “fisiólogos del control motor aplicado” (2). Sus acciones se basan en la creencia de que el control motor es importante, incluso fundamental, para lograr la competencia funcional. Debido a que es el estudio de la causa y naturaleza del movimiento, comprenderlo es esencial para la práctica médica.

Entender el control motor, es más fácil decirlo que hacerlo. Esto se debe a que no existe un acuerdo universal entre los científicos o los médicos sobre la causa y naturaleza del movimiento. No existe una



**Figura 1.1.** El control motor surge de la interacción entre el individuo, la actividad y el ambiente.

teoría única que sea aceptada por todos. Entre las diversas teorías que se discutirán en este capítulo, cada una ha hecho aportes específicos al campo y posee implicancias para el médico que trata los problemas motores.

**¿QUÉ ES UNA TEORÍA SOBRE EL CONTROL MOTOR?**

Una *teoría* sobre el control motor es un grupo de ideas abstractas sobre la causa y naturaleza del movimiento. Frecuentemente, aunque no siempre, se basan en modelos de función cerebral.

¿Qué es un *modelo*? Un modelo es una representación de algo, usualmente es una versión simplificada de lo real. Mientras mejor sea, mejor predecirá la forma en que el elemento real se comportará en una situación real. ¿Por qué se necesita un modelo de la función cerebral? Porque el cerebro es muy complejo, un modelo puede representar y hasta cierto punto simplificar conceptos difíciles. Un molde de la función cerebral, relacionada con el control motor, es una representación simplificada de la estructura y función del cerebro ya que se asocia con la coordinación del movimiento. Entonces las teorías del control motor y los modelos de la función cerebral están unidos.

La idea de que habría más de una teoría sobre el control motor podría ser un concepto nuevo para muchos terapeutas. Los diferentes planteamientos reflejan criterios filosóficamente distintos sobre la forma en que el cerebro controla el movimiento. A menudo, estas teorías manifiestan diferencias en las opiniones sobre la importancia relativa de los diversos

componentes neurales del movimiento. Por ejemplo, algunas enfatizan las influencias periféricas, otras las centrales, mientras aún otras pueden destacar la función de la información del entorno en el control del comportamiento. Así, las teorías son más que un simple planteamiento para explicar la acción. Con frecuencia destacan aspectos diferentes de la organización de la neurofisiología y neuroanatomía subyacentes a esa acción. Algunas teorías ven al cerebro como una caja negra y simplemente estudian las reglas mediante las cuales esta caja interactúa con los ambientes variables.

### ¿Cuál es la Relación entre la Teoría y la Práctica?

¿Realmente las teorías influyen en lo que los terapeutas hacen con sus pacientes? ¡SÍ! Las prácticas de rehabilitación reflejan las teorías, o las ideas básicas, que tenemos acerca de la causa y la naturaleza de la función y disfunción (3). Entonces, por lo general, las prácticas de los médicos se basan en suposiciones derivadas de tales teorías. Los métodos específicos usados para evaluar y tratar a pacientes con problemas motores son determinados por las suposiciones fundamentales sobre la causa y naturaleza del movimiento. Así, la teoría del control motor es parte de la base *teórica* de la práctica médica.

¿Cuáles son las ventajas y desventajas de aplicar las teorías en la práctica? Las teorías ofrecen:

- un sistema para interpretar el comportamiento;
- una guía para el procedimiento médico;
- nuevas ideas; e
- hipótesis de trabajo para la evaluación y el tratamiento.

### SISTEMA PARA INTERPRETAR EL COMPORTAMIENTO

La teoría puede ayudar a los médicos a interpretar el comportamiento o las acciones de las personas que atienden. Permiten que el terapeuta vaya más allá del comportamiento de un paciente y amplíe su aplicación a un mayor número de casos (3).

Las teorías pueden ser más o menos útiles dependiendo de su capacidad para predecir o explicar el comportamiento de un paciente específico. Cuando una teoría y las ideas que se le asocian no ofrecen una interpretación exacta de la conducta de un paciente, pierde la utilidad para el médico. Asimismo, pueden limitar potencialmente la capacidad de un terapeuta para observar e interpretar los problemas motores.

Por ejemplo, vea la ilustración de una paciente en la Figura 1.2. La Sra. Johnson es una mujer de 67 años de edad remitida para rehabilitación después de un accidente vascular en el cerebro, el cual produjo una alteración motora en su lado izquierdo. La paciente se sienta habitualmente con el brazo izquierdo doblado junto al cuerpo. Cuando se le pidió que lo extendiera, no pudo estirar el codo dinámicamente. Al tratar de ejercitar su brazo, se encuentra resistencia. Además, cuando camina, su rodilla está rígida e hiperextendida y pisa en equino.

Antes de decidir como recuperar la función del brazo y la marcha, siendo su terapeuta, debe decidir cuáles son los problemas básicos. ¿Qué le impide extender rápidamente el brazo? ¿Por qué no logra caminar normalmente? Se puede suponer que su incapacidad para estirar el brazo es el resultado de una espasticidad en los flexores de los codos. Igualmente, su incapacidad para caminar en forma normal es la consecuencia de una espasticidad en los gemelos. Esta suposición puede basarse en una teoría que propone que los reflejos son una parte importante del control del movimiento y que los reflejos anormales son la razón principal por la que los pacientes no pueden desplazarse debidamente. Según en esta teoría, se podría atribuir la pérdida de la función del brazo, en especial la imposibilidad de extenderlo de manera ágil, principalmente al resultado de la espasticidad, definida como *una liberación del reflejo de estiramiento*, en los flexores del codo.

¿Ayudó su marco teórico a interpretar correctamente el comportamiento de la paciente? Sólo si sus problemas son, en realidad, resultado únicamente de la espasticidad. La teoría no le ha



**Figura 1.2.** La Sra. Johnson es una mujer de 67 años de edad, remitida para tratamiento por un accidente vascular al lado derecho del cerebro que resultó en una hemiparesia izquierda. Se ilustra su postura habitual al sentarse

ayudado si limitó su capacidad de buscar otras explicaciones posibles. ¿Cuáles son algunos de los otros factores que perjudican potencialmente la función del brazo de la paciente hemipléjica? Más adelante, discutiremos otras teorías sobre el control motor que ofrecerán explicaciones alternativas para la pérdida de función.

## GUÍA PARA EL PROCEDIMIENTO MÉDICO

Las teorías proporcionan al terapeuta una posible guía de procedimientos. Las prácticas médicas diseñadas para tratar a pacientes con alteraciones motoras se basan en un entendimiento de la causa y naturaleza del movimiento normal, así como de los fundamentos del anormal. Las estrategias terapéuticas dirigidas a recuperar el control motor reflejan este conocimiento básico. En el ejemplo anterior, se supone que la espasticidad es el determinante principal de la función anormal. Como resultado, se han desarrollado numerosos métodos para evaluarla y tratarla durante el proceso de rehabilitación. Sin embargo, debido a que existen muchas teorías distintas, existen potencialmente muchos otros métodos terapéuticos para recuperar el control motor.

## NUEVAS IDEAS: DINÁMICAS Y EVOLUTIVAS

Las teorías son dinámicas y cambian para reflejar un mayor conocimiento. ¿Cómo afecta esto las prácticas médicas relacionadas con la reeducación de los trastornos motores? Cambiar y expandir las teorías sobre el control motor no debe ser una fuente de frustración para los médicos. Ampliarlas puede aumentar y enriquecer las posibilidades de la práctica médica. Se desarrollarán otras ideas para la evaluación y el tratamiento de las alteraciones motoras a fin de reflejar las nuevas nociones sobre la causa y naturaleza del movimiento.

## HIPÓTESIS DE TRABAJO PARA EVALUACIÓN Y TRATAMIENTO

Una teoría no es directamente verificable, pues es abstracta. Más bien, genera hipótesis, las cuales sí son verificables. Se utiliza la información obtenida mediante el análisis de una hipótesis para validar o invalidar una teoría. Este mismo procedimiento es útil en la práctica médica. La llamada *práctica médica influida por la hipótesis* (4) transforma al terapeuta en un activo solucionador de problemas. El utilizar este método para tratar un trastorno motor exige que se generen diversas hipótesis (explicaciones) sobre

porqué los pacientes se mueven (o no se mueven) en ciertas formas para lograr la independencia funcional. Durante el transcurso del tratamiento el especialista probará varias hipótesis, descartará algunas y desarrollará nuevos razonamientos más consistentes con los resultados.

## TEORÍAS SOBRE EL CONTROL MOTOR

Existe un enorme entusiasmo entre los terapeutas por el análisis crítico de los modelos en los que se basa una gran parte de la práctica médica. Se reconocen las limitaciones de las teorías anteriores y las posibilidades de desarrollo de las nuevas soluciones sustentadas por los nuevos modelos del control motor y de la recuperación de las funciones.

En esta sección repasaremos las teorías sobre el control motor y exploraremos algunas de sus limitaciones y posibles implicancias médicas. Es importante comprender que todos los modelos se unifican por el deseo de entender la causa y naturaleza del movimiento. La diferencia se encuentra en el método. Es parecido a la historia de los cinco hombres que tratan de entender la causa y naturaleza de un elefante. Uno estudia cuidadosa y sistemáticamente la trompa y aprende todo lo que hay que saber sobre su naturaleza y función. Otro estudia las patas; otro, la cola. Cada uno a su manera aporta información esencial sobre el elefante. Sin embargo, un verdadero entendimiento del animal sólo es posible si se combina la información de todas las fuentes. Con este principio, comenzamos la siguiente sección de las teorías sobre el control motor, sus limitaciones y posibles aplicaciones clínicas.

### Teoría Refleja

Sir Charles Sherrington, un neurofisiólogo de fines de 1800 y principios de 1900, escribió el libro *The Integrative Action of the Nervous System (La Acción Integrante del Sistema Nervioso)* en 1906. Su investigación formó la base experimental para la clásica teoría refleja del control motor. Para Sherrington, los reflejos eran los componentes básicos del comportamiento complejo, trabajaban juntos o en secuencia, para lograr un propósito común(5).

Sherrington realizó magníficos experimentos con gatos, perros y monos para mostrar la existencia de los reflejos y para describirlos y definirlos cuidadosamente. La concepción de un reflejo requiere tres estructuras diferentes, como se enseña en la Figura 1.3: un receptor, una vía nerviosa conductiva y un efector. El conductor consiste en al menos dos



células nerviosas, una conectada al efector, la otra con el receptor. Por lo tanto, los reflejos consisten en un receptor, un conductor y un efector (6).

Sherrington continuó describiendo el comportamiento complejo en función de reflejos compuestos y su *combinación sucesiva* o *encadenamiento*. El científico dio el ejemplo de una rana capturando y comiendo una mosca. Ilustró al Sr. Sapo sentado al sol en su lirio. Pasa la mosca; el verla (estímulo) produce la activación refleja de la lengua, lanzada para capturar al insecto (respuesta). Si tiene éxito, el contacto de la mosca con la lengua causa el cierre reflejo de la boca, y a su vez, este acto conlleva a la deglución refleja.

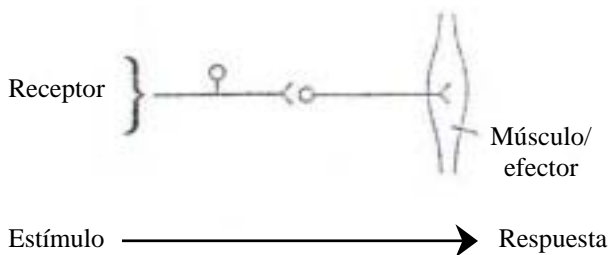
Sherrington concluyó que con un sistema nervioso completamente sano, la reacción de sus diversas partes, los reflejos simples, se combina en acciones mayores, las cuales constituyen el comportamiento del individuo como un todo. La Figura 1.4 representa este concepto de encadenamiento de reflejos. La noción de Sherrington de una base refleja del movimiento permaneció indisputable por 50 años y actualmente continúa influyendo en el pensamiento sobre el control motor.

LIMITACIONES

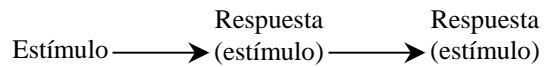
Debido a que Sherrington se centró principalmente en los reflejos y se preguntó sobre su relación con el sistema nervioso central (SNC), ilustró al SNC y al control motor en forma errada en cuanto al control del reflejo. Existe una cantidad de limitaciones en la teoría refleja (1).

El reflejo no puede ser considerado como la unidad básica del comportamiento si se reconocen tanto los movimientos espontáneos como los voluntarios como formas aceptables de conducta, ya que el reflejo debe ser activado por un agente externo.

Otra característica es que no explica ni predice adecuadamente aquel movimiento que ocurre en ausencia de un estímulo sensorial. Últimamente, se ha



**Figura 1.3.** La estructura básica de un reflejo consiste en un receptor, un conductor y un efector



**Figura 1.4.** El encadenamiento de reflejos como base de la acción. Un estímulo produce una respuesta, la cual se transforma en el estímulo de la siguiente respuesta, que se transforma en el estímulo de la siguiente respuesta.

demostrado que los animales pueden moverse de una forma relativamente coordinada sin un impulso sensorial (7).

Aún otra limitación es que la teoría no comprende los movimientos rápidos, o sea, las secuencias que suceden muy rápidamente como para permitir el feedback sensorial del movimiento anterior para producir el siguiente. Por ejemplo, una mecanógrafa hábil y experimentada se mueve de una tecla a la otra tan ágilmente que no hay tiempo para que la información sensorial de una pulsación active la siguiente.

Una limitación adicional es que el modelo de encadenamiento de reflejos no explica el hecho de que sólo un estímulo pueda resultar en respuestas variadas que dependen de un contexto y de los comandos descendentes. Por ejemplo, hay ocasiones en que necesitamos dominar un reflejo para lograr un objetivo. Por ejemplo, normalmente tocar algo caliente produce el retiro reflejo de la mano. No obstante, si un niño está en medio del fuego, podremos dominar el reflejo para rescatarlo.

Finalmente, la sucesión de reflejos no explica la capacidad de realizar movimientos novedosos, los cuales reúnen combinaciones únicas de estímulos y respuestas según los métodos aprendidos previamente. Un violinista, que ha aprendido una pieza en el violín y que también conoce la técnica para tocar el violonchelo, puede tocar esa pieza perfectamente en este último instrumento sin haberla practicado necesariamente. Él ha aprendido el método para tocar la pieza y lo ha aplicado en una situación nueva o novedosa.

IMPLICANCIAS CLÍNICAS

¿De qué forma la teoría refleja del control motor puede ser utilizada para interpretar el comportamiento de un paciente y servir de guía para el procedimiento del terapeuta?

Si los reflejos en cadena o compuestos son la base del movimiento funcional, las estrategias clínicas diseñadas para evaluar los reflejos deberían permitir

que los terapeutas predigan la función. Además, los comportamientos del movimiento de un paciente serían interpretados según la presencia o ausencia de reflejos controladores. Finalmente, la recuperación del control motor para habilidades funcionales se enfocaría en aumentar o reducir el efecto de los diversos reflejos durante las labores motoras. La aplicación de esta teoría para interpretar un trastorno motor fue ilustrada en el ejemplo anterior de la Sra. Johnson. Las estrategias médicas para mejorar el control motor utilizando un modelo de reflejos se centrarían en métodos de reducir la espasticidad flexora, lo cual debería aumentar la capacidad normal de movimiento.

A pesar de las limitaciones de las conclusiones de Sherrington, muchas de sus suposiciones sobre cómo el SNC controla el movimiento han sido reforzadas y han influido en las prácticas médicas actuales.

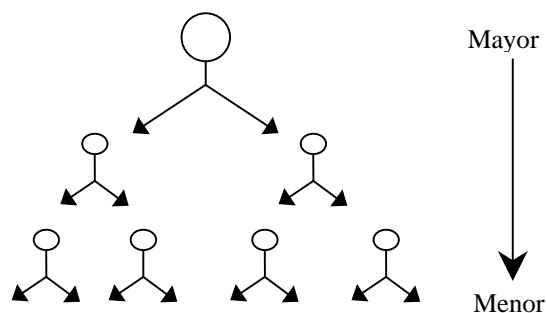
### Teoría Jerárquica

Muchos investigadores contribuyeron al concepto de que el sistema nervioso está organizado como una jerarquía. Entre ellos, Hughlings Jackson, un médico inglés, sostenía que el cerebro tiene niveles de control superior, medio e inferior, que corresponden a las áreas de asociación superiores, a la corteza motora y a los niveles espinales de función motora (8).

En general, el control jerárquico se define como una estructura organizacional de *mayor a menor*. Es decir, cada nivel consecutivamente superior ejerce control sobre el nivel menor, como se muestra en la Figura 1.5. En una estricta jerarquía vertical, las líneas de control no se cruzan y los niveles inferiores nunca ejercen el control.

En la década de 1920, Rudolf Magnus comenzó a explorar la función de diferentes reflejos dentro de distintas partes del sistema nervioso. Descubrió que los reflejos controlados por los niveles inferiores de la jerarquía neural sólo están presentes cuando se dañan los centros corticales. Estos resultados fueron interpretados más tarde para indicar que los reflejos son parte de una jerarquía del control motor, en la cual los centros superiores normalmente inhiben estos centros inferiores de reflejo (9-10).

Posteriormente, Georg Schaltenbrand (11) utilizó los conceptos investigados por Magnus para explicar el desarrollo de la movilidad humana en niños y adultos. Describió su desarrollo en función de la aparición y desaparición de una secuencia de reflejos. Llegó a afirmar que una patología cerebral



**Figura 1.5.** El control jerárquico se caracteriza por una estructura de mayor a menor, donde los centros superiores siempre están a cargo de los inferiores.

podía producir una permanencia de las reacciones primitivas. Sugirió que un entendimiento completo de todos los reflejos permitiría determinar la edad neural de un niño o de un paciente.

A fines de los años treinta, Stephan Weisz (12) presentó un informe de las reacciones reflejas que, según sus suposiciones, eran la base del equilibrio en los humanos. Describió la ontogenia de los reflejos del equilibrio en un niño con desarrollo normal y planteó una conexión entre la maduración de estos reflejos y la capacidad del niño para sentarse, pararse y caminar.

Se reunieron los resultados y observaciones de este experimento y a menudo se les nombra en la literatura médica como teoría refleja/jerárquica. Esta teoría combina las ideas de ambos planteamientos, indica que el control motor surge de reflejos que están envueltos en los niveles de organización jerárquica del SNC.

En la década de 1940, Arnold Gessel (13, 14) y Myrtle McGraw (15), dos conocidos investigadores del desarrollo, ofrecieron descripciones detalladas de la maduración de los lactantes. Aplicaron el pensamiento científico vigente sobre las jerarquías del reflejo para explicar los comportamientos observados. El desarrollo motor normal fue atribuido a la creciente corticalización del SNC que produjo la aparición de niveles superiores de control sobre los reflejos de nivel inferior. Esto ha sido llamado *teoría de la neuromaduración* del desarrollo. Un ejemplo de este modelo se presenta en la Figura 1.6. Esta teoría supone que la maduración del SNC es el agente primario para el cambio en el desarrollo. Minimiza la importancia de otros factores como los cambios musculoesqueléticos durante el desarrollo.

Desde el trabajo original de Hughlings Jackson, ha evolucionado un nuevo concepto de control *jerárquico*. Los neurocientíficos modernos

han confirmado la importancia de los elementos de la organización jerárquica en el control motor. Se ha modificado el concepto de un orden estricto, donde los centros superiores siempre están al mando. Las ideas actuales que describen el control jerárquico dentro del sistema nervioso reconocen el hecho de que cada nivel puede actuar sobre los otros (superiores e inferiores) dependiendo de la actividad. Además, se ha modificado la función de los reflejos en el movimiento, ya no son considerados el único determinante del control motor, sino que sólo uno de los variados procesos esenciales para la generación y el control del movimiento.

**LIMITACIONES**

Una de las limitaciones de la teoría refleja/jerárquica es que no puede explicar el predominio del comportamiento reflejo en adultos normales en ciertas situaciones. Por ejemplo, el pararse en un alfiler produce el retiro inmediato de la pierna. Este es un ejemplo de un reflejo que se encuentra dentro del nivel inferior de la jerarquía que domina la función motora, un ejemplo de control básico. Por lo cual, se debe ser prudente con la suposición de que todos los comportamientos de nivel inferior son primitivos, inmaduros e inadaptados, mientras que todos aquellos correspondientes a niveles superiores (corticales) son maduros, oportunos y apropiados.

**IMPLICANCIAS CLÍNICAS**

Muchos médicos han utilizado las anomalías de la organización refleja para explicar trastornos motores en pacientes neurológicos. Berta




Bobath, una fisioterapeuta inglesa, en sus análisis sobre la actividad anormal en el reflejo postural de niños con parálisis cerebral, establece que “la liberación de respuestas motoras incluidas en los niveles inferiores por influencias restrictivas de los niveles superiores, especialmente de la corteza, produce una actividad anormal en el reflejo postural” (16).

Basados en la teoría refleja/jerárquica del control y desarrollo motor, se ha efectuado una cantidad de análisis de reflejos como parte de la evaluación clínica de pacientes con deficiencias neurológicas (17). Estos esquemas de observación se utilizan para calcular el nivel de maduración neural y predecir la capacidad funcional. Además, se emplean para documentar la presencia de reflejos primitivos y patológicos persistentes y dominantes considerados como el mayor peligro para el control motor normal.

Se han desarrollado diversos tipos de tratamientos dirigidos a aumentar o reducir la eficacia de los reflejos como un paso importante para recuperar el control motor. El objetivo del proceso es lograr una mayor función a través de la modificación de la acción refleja. Una de las dificultades de utilizar un planteamiento del reflejo es que la modificación exitosa de la actividad refleja no siempre se manifiesta en un aumento de la capacidad funcional. Una parte de la dificultad puede deberse al problema de centrar el tratamiento en las reacciones en vez de preparar a los pacientes para el ejercicio.

**Teorías de la Programación Motora**

Las teorías más actuales sobre el control motor han expandido nuestro entendimiento del SNC. Se han alejado de las ideas de que es un sistema

Estructuras neuroanatómicas	Desarrollo del reflejo postural	Desarrollo motor
 Corteza	Reacción de equilibrio	Función bipedal
 Cerebro medio	Reacción de enderezamiento	Función cuadrúpeda
 Tronco encefálico medula espinal	Reflejo primitivo	Función del tronco

**Figura 1.6.** La teoría de la neuromaduración del control motor atribuye el desarrollo motor a la maduración de los procesos neurales, incluyendo la aparición y desaparición progresiva de los reflejos.

principalmente reactivo y han comenzado a explorar la fisiología de las acciones en vez de la naturaleza de las reacciones.

Las teorías del reflejo han sido útiles en explicar ciertos patrones motores fijos. No obstante, una forma interesante de ver los reflejos es pensar que se puede retirar el estímulo, o el impulso aferente, y aún obtener una respuesta motora determinada (18). Si apartamos la reacción del estímulo, nos queda el concepto de un patrón motor central. Este concepto es más flexible que el de un reflejo ya que puede activarse tanto por un estímulo sensorial como por procesos centrales.

La teoría de programación motora para el control motor tiene un considerable apoyo experimental. Por ejemplo, estudios de principios de la década de 1960 analizaron el saltamontes o la langosta y demostraron que la regularidad del movimiento de sus alas al volar dependía de un generador de patrón rítmico. Incluso cuando se cortaron los nervios sensoriales, el sistema nervioso por sí mismo podía generar la reacción sin un impulso sensorial; sin embargo, el aleteo fue más lento (20). Esto sugirió que es posible el movimiento en ausencia de una acción refleja. El estímulo sensorial, aunque no es esencial en movimientos impulsores, tiene una función importante en la acción modulada. Estas conclusiones fueron apoyadas por investigaciones que analizaron la locomoción de gatos (21). Los resultados de estos experimentos mostraron que en el gato, la red espinal neural podía producir un ritmo locomotor sin estímulos sensoriales ni patrones descendentes del cerebro. Al cambiar la intensidad del estímulo a la médula espinal, el animal podía caminar, trotar o galopar. De esta forma, nuevamente se demostró que los reflejos no producen la acción, sino que los generadores de patrones centrales pueden generar por sí mismos movimientos tan complejos como el caminar, trotar y galopar. Nuevos experimentos mostraron los importantes efectos moduladores de los estímulos sensoriales entrantes sobre el generador del patrón central (22).

Estos estudios orientaron la teoría de la programación motora. Este término ha sido usado en diversas formas por distintos investigadores, por lo que es necesario tener cuidado al determinar como se emplea. El término **programa motor** puede ser utilizado para identificar un generador de patrón central (GPC), es decir, un circuito neural específico como el que produce el caminar del gato. En este caso el término representa conexiones neurales estereotipadas e inmodificables.

Pero el término también es empleado para

describir los programas motores de nivel superior que representan acciones en términos más abstractos. Una cantidad significativa de la investigación en el campo de la psicología ha apoyado la existencia de programas motores organizados jerárquicamente, los cuales almacenan los patrones para generar movimientos a fin de que podamos realizar las actividades con variados sistemas efectores.

---



---

## MÓDULO DE APRENDIZAJE ACTIVO



Puede verlo usted mismo. Escriba su firma como lo haría normalmente en un pedazo pequeño

de papel. Ahora escríbala más grande, en una pizarra. Luego trate de hacerlo con la otra mano. Aunque debe ser mucho más hábil con una mano que con la otra, verá elementos de su firma que son comunes en todas las situaciones. Como se ilustra en la Figura 1.7, las reglas para escribir su nombre son almacenadas como un programa motor en los niveles superiores del SNC. Como resultado, los comandos neurales de estos centros para escribir su nombre pueden enviarse a diversas partes del cuerpo. Incluso, elementos de la firma escrita permanecen constantes sin importar la parte del cuerpo utilizada para llevar a cabo la actividad (23).

---

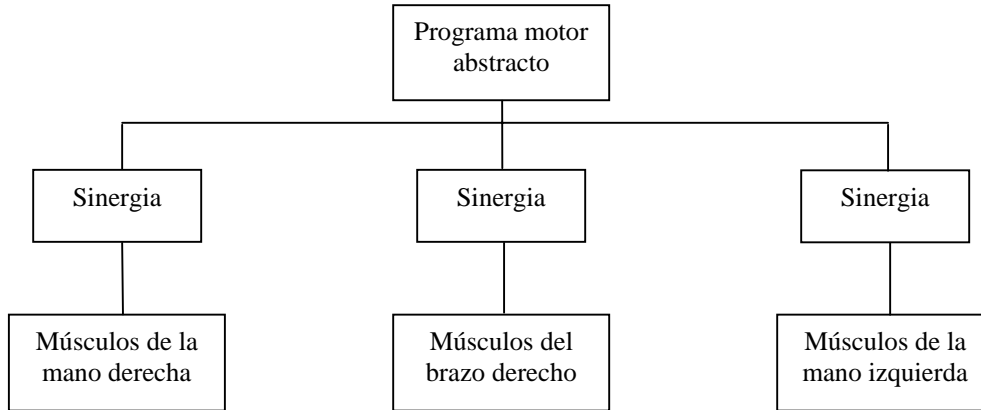


---

## LIMITACIONES

El concepto de generadores de patrones centrales amplió nuestro entendimiento del papel del sistema nervioso en el control del movimiento. No obstante, debemos ser cuidadosos para comprender que esta idea nunca ha tratado de reemplazar al concepto de la importancia del impulso sensorial para controlar el movimiento. Simplemente expandió nuestra comprensión de la flexibilidad del sistema nervioso para crear movimientos, incluyó su capacidad para realizarlos sin feedback.

Una limitación importante de esta teoría es que un programa motor central no puede ser considerado como el único determinante de la acción (23). Por ejemplo, dos comandos idénticos para los flexores del codo producirán movimientos muy distintos dependiendo de si el brazo está reposando a su costado o si lo está levantando. La fuerza de gravedad actuará de una forma diferente sobre la extremidad en las dos condiciones y, así, modificará el movimiento. Además, si los músculos están fatigados, comandos similares darán resultados muy distintos. Por lo tanto, el concepto de programa motor no considera el hecho



**Figura 1.7.** Los niveles de control para los programas motores y sus sistemas de reacción. Los patrones de acción se representan en el nivel superior, en programas motores abstractos. Los niveles inferiores de la jerarquía contienen información esencial para realizar la acción.

de que el sistema nervioso debe tener en cuenta las variables musculoesqueléticas y ambientales para lograr el control del movimiento.

**IMPLICANCIAS CLÍNICAS**

Las teorías de programación motora han permitido que los médicos vayan más allá de una explicación refleja para los trastornos del control motor. Se han ampliado los comentarios para el movimiento anormal para incluir problemas producidos por alteraciones en los generadores de patrones centrales o en programas motores de nivel superior.

La Sra. Johnson, nuestra paciente con parálisis, en verdad puede sufrir de espasticidad flexora en sus brazos, la cual puede afectar su capacidad para moverse. Sin embargo, será importante determinar cuales niveles de programas motores están involucrados. Si los niveles superiores no están afectados, le será posible continuar utilizando aquellos programas como escribir a mano, pero encontrará efectores alternativos, como por ejemplo, la mano que no está afectada, para llevar a cabo las actividades. Obviamente, estos sistemas menos usados y de nivel inferior tendrán que ser entrenados para realizar estos programas de nivel superior.

En pacientes cuyos niveles superiores de control motor están afectados, la teoría de programas motores sugiere la importancia de ayudarlos a reaprender los patrones de acción correctos. Además, el tratamiento debería enfocarse en recuperar los movimientos importantes para una actividad funcional, no sólo en reeducar músculos específicos aisladamente.

**Teoría de Sistemas**

Incluso antes de que se desarrollara el concepto de programa motor, otro investigador, Nicolai Bernstein (1896-1966), un científico ruso, veía al cuerpo y al sistema nervioso de una forma completamente nueva. Los neurofisiólogos anteriores se habían enfocado principalmente en los aspectos del control motor neural. Bernstein reconoció que este no puede ser comprendido sin un entendimiento de las características del sistema que se está operando y de las fuerzas externas e internas que actúan en el cuerpo.

Al describir las características del *sistema* activado, consideró todo el cuerpo como un sistema mecánico, con masa y sujeto a fuerzas externas, como la gravedad, y a fuerzas internas, que incluyen fuerzas de inercia y aquéllas que dependen del movimiento. Durante el transcurso de cualquier acción, las cantidades de fuerza que actúan en el cuerpo cambiarán a medida que varíe la energía potencial y cinética. De esa forma demostró que el mismo comando central podía ocasionar movimientos muy distintos debido a la interacción entre las fuerzas externas y las variaciones de las condiciones iniciales (23). Por las mismas razones, comandos distintos podrían originar el mismo movimiento.

Bernstein también sugirió que el control del movimiento integrado probablemente se distribuía a través de muchos sistemas interactivos que trabajan en cooperación para lograr el movimiento. Esto dio origen al concepto de *modelo distributivo del control motor*.

¿Cómo difiere el planteamiento de Bernstein de las teorías refleja, jerárquica o de programa motor

presentadas previamente? Bernstein realizó preguntas sobre el organismo en una situación continuamente cambiante. Encontró respuestas distintas a las de investigadores anteriores sobre la causa y naturaleza del movimiento, debido a que formuló otras preguntas, como: ¿Cómo el cuerpo, siendo un organismo mecánico, influye en el proceso de control? ¿Cómo afectan las condiciones iniciales las características del movimiento?

Al describir al cuerpo como un sistema mecánico, Bernstein indicó que tenemos muchos **grados de libertad** que necesitan ser controlados. Por ejemplo, tenemos numerosas articulaciones, todas pueden doblarse y muchas también pueden rotarse. Esto complica increíblemente el control del movimiento. Señaló, “La coordinación del movimiento es el proceso de dominar los grados de libertad redundantes del organismo en movimiento” (23). En otras palabras, involucra transformar al cuerpo en un sistema controlable.

Como una solución para el *problema de los grados de libertad*, Bernstein propuso que los controles jerárquicos existen para simplificar el dominio de los múltiples grados de libertad del cuerpo. De esta forma, los niveles superiores del sistema nervioso activan los inferiores, los cuales activan las sinergias o grupos de músculos obligados a actuar juntos como una unidad. Podemos pensar en nuestro repertorio de movimientos como oraciones hechas de palabras, las letras de las palabras son los músculos, las palabras son las sinergias y las oraciones son las acciones.

De esta forma, Bernstein creía que las sinergias tenían un papel importante en la solución del problema de los grados de libertad. Esto se logra obligando a ciertos músculos a trabajar como una unidad. Propuso que aunque existen pocas sinergias, éstas prácticamente hacen posible la completa variedad de movimientos que conocemos. Por ejemplo, examinó algunas sinergias simples como la locomotora, postural y respiratoria.

## LIMITACIONES

¿Cuáles son las limitaciones del planteamiento de sistemas de Bernstein? Como puede ver, es el enfoque más amplio que hemos analizado hasta el momento. Y debido a que toma en consideración no sólo los aportes del sistema nervioso a la acción, sino que también las contribuciones de los sistemas muscular y esquelético, así como las fuerzas de gravedad e inercia, predice el comportamiento real mucho mejor que las teorías anteriores. Sin embargo,

según la perspectiva actual, no se centra fuertemente en la interacción del organismo con el ambiente, como otras teorías sobre el control motor.

## IMPLICANCIAS CLÍNICAS

La teoría de sistemas tiene una cantidad de implicancias para los terapeutas. Primero, acentúa la importancia del entendimiento del cuerpo como un sistema mecánico. El movimiento no está determinado únicamente por la reacción del sistema nervioso filtrada a través de un sistema mecánico, el cuerpo. Cuando trabaja con un paciente con una deficiencia en el sistema nervioso central, el terapeuta debe ser cuidadoso al evaluar el aporte de las alteraciones al sistema musculoesquelético, así como del sistema neurológico, a la pérdida general del control motor.

En nuestro ejemplo de la Sra. Johnson, la pérdida de movilidad a largo plazo en su brazo y pierna afectará potencialmente al sistema musculoesquelético. Ella podría mostrar un acortamiento de los flexores del codo y una pérdida del rango de movilidad en la articulación del tobillo. Estas limitaciones tendrán un efecto significativo en su capacidad para recuperar el control motor.

La teoría de sistemas sugiere que la evaluación y el tratamiento deben enfocarse no sólo en las deficiencias de los sistemas particulares que contribuyen al control motor, sino que en aquéllas que interactúan en los múltiples sistemas. Un buen ejemplo de esto en la Sra. Johnson son las anomalías relacionadas con los sistemas musculoesquelético y neuromuscular que restringen su capacidad de mover el brazo.

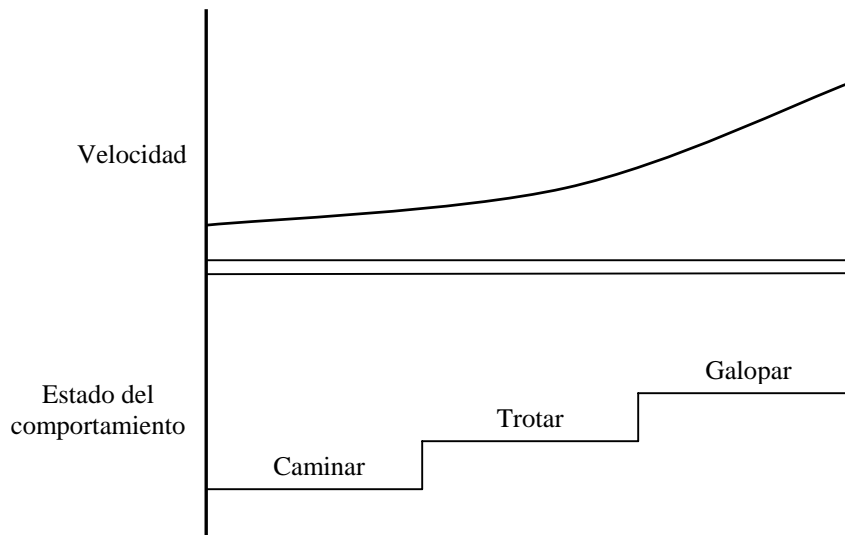
## Teoría de la Acción Dinámica

La teoría de la acción dinámica ha comenzado a mirar a la persona en movimiento desde una nueva perspectiva (24-26). Este enfoque proviene de un estudio más amplio de las dinámicas o sinergias dentro del mundo físico y plantea las interrogantes: ¿Cómo llegan a existir los patrones y organizaciones que vemos en el mundo a partir de los elementos que los constituyen carentes de orden? Y ¿cómo cambian estos sistemas a través del tiempo? Por ejemplo, tenemos miles de células musculares en el corazón que trabajan juntas para hacerlo latir. ¿Cómo puede reducirse este sistema de miles de grados de libertad (cada célula que añadimos aporta un nuevo grado de libertad) a uno de pocos grados, a fin de que las células funcionen como una unidad?

Este fenómeno, que no sólo vemos en la musculatura cardíaca, sino que también en patrones de formación de nubes y en el movimiento del agua desde el momento en que se transforma de hielo en líquido o se evapora al hervir, ilustra el principio de *autoorganización*, el cual es fundamental para los sistemas dinámicos. Afirma que cuando un sistema de partes individuales se une, sus elementos se comportan colectivamente en forma ordenada. No hay necesidad de un centro “superior” que envíe las instrucciones o comandos para lograr una acción coordinada. Este principio aplicado al control motor propone que el movimiento surge como resultado de elementos que interactúan, sin la necesidad de comandos específicos o de programas motores en el sistema nervioso.

La acción dinámica o *perspectiva sinergista* también trata de encontrar descripciones matemáticas de estos sistemas autoorganizados. Las características esenciales examinadas son las llamadas *propiedades no lineales* del sistema (27). ¿Qué es el comportamiento no lineal? Es una situación en la cual, cuando uno de los parámetros se altera y alcanza un valor crítico, el sistema entra en un patrón de comportamiento completamente nuevo. Por ejemplo, a medida que un animal camina más y más rápido, existe un punto en el que, repentinamente, cambia a un trote. Cuando el animal continúa moviéndose más rápido, existe un segundo punto en el que se transforma en un galope. Esto se muestra en la Figura 1.8.

El planteamiento de la acción dinámica no trata



**Figura 1.8.** Un modelo de acción dinámica predice los cambios discretos en el comportamiento resultantes de los cambios en las dinámicas lineales de un sistema de movimiento. Por ejemplo, debido a que la velocidad aumenta linealmente, se alcanza un punto en el que se produce un cambio en el estado del comportamiento en el animal desde el caminar, a trotar y a galopar.

de explicar estos cambios en relación con los circuitos del sistema nervioso, sino que intenta simplemente describir en forma matemática la función de estos sistemas. Esto permite la predicción de las formas en que un sistema dado actuará en diferentes situaciones. Uno de los puntos destacados por los defensores de esta perspectiva es que muchas transiciones del movimiento corporal pueden ser explicadas sin basarse en un generador de patrones neurales específico que las origine. En cambio, las transiciones pueden deberse a las propiedades oscilatorias o pendulares de las mismas extremidades. De esta forma, la perspectiva de la acción dinámica ha reducido la importancia de las nociones de comandos provenientes del sistema nervioso central para controlar el movimiento y ha buscado explicaciones físicas que también pueden contribuir a las características del movimiento (28).

La teoría de la acción dinámica ha sido modificada recientemente para incorporar muchos de los conceptos de Bernstein. Esto ha dado como resultado la combinación de estas dos teorías para el control motor en un modelo de sistemas dinámicos (24). Este modelo sugiere que la acción del movimiento subyacente es resultado de la interacción de componentes tanto físicos como neuronales (29).

#### LIMITACIONES

Este planteamiento se ha sumado a nuestro entendimiento de los elementos que contribuyen al movimiento y sirve como recordatorio de que una

comprensión aislada del sistema nervioso no permitirá predecir la acción. Sin embargo, una limitación de este modelo puede ser la suposición de que el sistema nervioso tiene un papel totalmente insignificante y que la relación entre el sistema físico del animal y el ambiente donde opera determina principalmente el comportamiento del animal. Normalmente, el enfoque de la teoría de la acción dinámica está en el nivel de esta interrelación, no en el entendimiento de los aportes neurales al sistema.

### IMPLICANCIAS CLÍNICAS

Una de las mayores implicancias de la teoría de la acción dinámica es la opinión de que el movimiento es una propiedad emergente. Es decir, surge de la interacción de múltiples elementos que se auto-organizan basándose en ciertas propiedades dinámicas de los mismos elementos. Esto significa que los cambios o las alteraciones en el comportamiento motor a menudo pueden ser explicados en función de los principios físicos en vez de interpretarlos necesariamente según las estructuras neurales.

¿Cuáles son las implicancias de esto para tratar los trastornos motores de los pacientes? Si como médicos comprendemos más las propiedades físicas o dinámicas del cuerpo humano, podríamos hacer uso de ellas para ayudar a los pacientes a recuperar el control motor. Por ejemplo, la velocidad puede ser un colaborador importante de la dinámica del movimiento. Con frecuencia, se les pide a los pacientes que se muevan lentamente por razones de seguridad. Sin embargo, esta forma de tratamiento no considera la interacción entre la velocidad y las propiedades de físicas del cuerpo, las cuales producen el impulso y por lo tanto pueden ayudar a una persona débil a moverse con mayor facilidad.

En nuestro ejemplo de la Sra. Johnson, el moverse lentamente puede no ser la mejor estrategia para ponerse de pie, si la debilidad es una deficiencia primaria. En cambio, enseñarle a aumentar la velocidad del tronco puede permitirle generar el impulso suficiente para lograr levantarse.

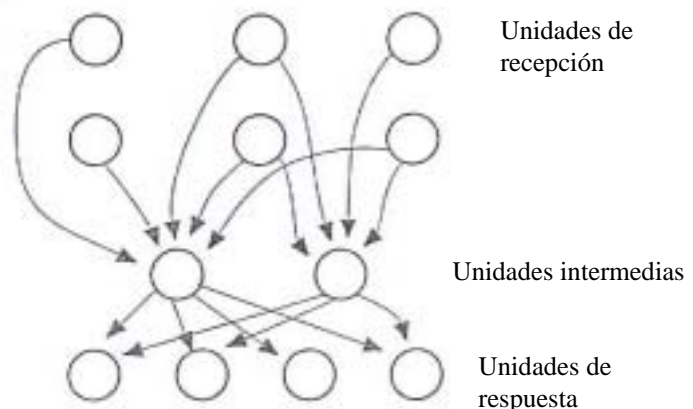
### Teoría del Procesamiento de Distribución en Paralelo

La teoría del procesamiento de distribución en paralelo (PDP) describe la forma en que el sistema nervioso procesa la información para actuar. Esta teoría ha sido empleada para explicar como adquirimos nuevas habilidades, debido a que predice los procesos utilizados por el sistema nervioso durante el desarrollo o la adquisición de nuevas habilidades (30).

La teoría del PDP es consistente con el conocimiento actual en la neurofisiología, el cual postula que el sistema nervioso opera tanto mediante procesos en serie, es decir, procesa la información a través de una vía única, como a través de procesos en paralelo, o sea, interpreta la información a través de vías múltiples que la analizan simultáneamente en diferentes formas (31).

Los científicos han comenzado a diseñar el procesamiento neural utilizando programas computacionales. Estos programas han sido desarrollados con sofisticados circuitos similares a las redes del cerebro. Ésta es la forma en que se elaboran: Los modelos consisten en elementos que están conectados por circuitos. Al igual que las sinapsis neurales, cada elemento puede ser afectado por los otros de forma positiva o negativa. Además, como una transmisión sináptica neural, cada uno puede ejercer magnitudes distintas de los efectos positivos o negativos sobre el siguiente. Entonces, cada elemento

**Figura 1.9.** Modelo del procesamiento de distribución en paralelo que muestra tres capas, de recepción, intermedia y de respuesta, hipotéticamente equivalentes a las unidades sensorial, interneural y motora.





suma todos los impulsos positivos y negativos entrantes. Estos modelos se han elaborado dentro de redes en capas que contienen los elementos entrantes, las capas de procesamiento intermedio llamadas capas intermedias y los elementos de respuesta, ilustrados en la Figura 1.9. Estas capas son equivalentes a las neuronas sensoriales, interneuronas y neuronas motoras (30).

Al igual que en el sistema nervioso, la eficiencia del desempeño en este sistema depende de dos factores. El primero es el patrón de conexiones entre las capas y el segundo la fuerza entre las conexiones individuales. La belleza de este modelo es que el investigador puede determinar las uniones más eficientes para realizar una función particular a través de una técnica llamada *propagación retrógrada*. Mediante este proceso, se determina la respuesta más eficiente desde la capa de la “neurona motora”. Comienza con una serie aleatoria de estímulos al sistema, este luego calcula la diferencia entre la actividad deseada y la real para la unidad de respuesta. Dicha diferencia es llamada *error*, que se utiliza para modificar las conexiones entre aquellos elementos que los han producido.

El proceso se realiza una y otra vez, simulando la repetición de una actividad. Con este proceso, el sistema se autocorrigió hasta resolver el problema de la respuesta.

El modelo a predicho correctamente procesos tanto en sistemas perceptivos como de acción. Por ejemplo, se ha empleado un PDP para simular el proceso del estímulo visual tras a la capacidad de reconocer e identificar letras. Además, los modelos han servido para predecir la forma en que calculamos los ángulos articulares correctos asociados con el traslado de una extremidad hacia una posición determinada en el espacio (31).

El PDP es único de cierta forma en su énfasis por explicar los mecanismos neurales asociados con el control motor. Esta teoría y sus modelos relacionados son actualmente de gran interés ya que, aunque no son réplicas exactas del sistema nervioso, poseen muchas de sus propiedades. Así, pueden ayudarnos a comprender la forma en que se resuelven problemas motores particulares.

## LIMITACIONES

Esta teoría no trata de ser una réplica exacta del sistema nervioso y, por lo tanto, muchas de sus funciones, como la propagación retrógrada, no imitan el procesamiento de la información durante el desempeño y el aprendizaje.

## IMPLICANCIAS CLÍNICAS

La teoría del PDP es relativamente nueva, por lo cual sus aplicaciones clínicas son bastante desconocidas. Existen diversas formas en que los modelos podrían integrarse a la práctica médica.

Podría utilizarse un modelo de PDP para predecir la forma en que las lesiones del sistema nervioso afectan las funciones. La teoría es capaz de prever esto gracias a la disponibilidad de vías paralelas redundantes, la pérdida de unos pocos elementos no afectará necesariamente la función. No obstante, la teoría podría predecir que una vez alcanzado un cierto nivel o umbral, la pérdida de elementos adicionales afectará la capacidad del sistema para funcionar. Este concepto de umbral para la disfunción puede verse en muchas patologías. Por ejemplo, en la enfermedad de Parkinson, existe una pérdida gradual de células en los ganglios basales. Los síntomas clínicos pueden no ser aparentes al comienzo, hasta que el número de neuronas perdidas alcanza un punto crítico.

Las vías redundantes sugieren la posibilidad de múltiples caminos a la recuperación; de esta forma, esta teoría podría utilizarse para proponer métodos de reentrenamiento de las alteraciones motoras. Sugiere que la recuperación podría ser mejor cuando se aplican las técnicas de rehabilitación a vías múltiples. Por ejemplo, el programa de rehabilitación de la Sra. Johnson incluiría la activación de los gemelos para ayudar a mejorar la fuerza muscular, pero también comprendería ejercicio, utilizando ese músculo en actividades posturales y locomotoras.

## Teorías Orientadas a las Actividades

En los últimos 50 años, ha surgido de la investigación neurocientífica una enorme cantidad de información sobre la estructura básica del SNC. Pero todavía existe el reconocimiento de que *sabemos* mucho pero *entendemos* muy poco. O sea, sabemos bastante sobre los circuitos neurales, pero poco acerca de la forma en que operan para lograr una acción. Peter Greene (32), un biólogo teórico, indicó que lo necesario en el campo del control motor era una teoría para las actividades. Por este término, Greene se refería a los problemas fundamentales que el SNC debía resolver a fin de realizar las acciones motoras. Según Greene, un ejemplo de una actividad fundamental inherente al control motor es el problema de los grados de libertad descritos por Bernstein.

Según Greene, una teoría de actividades le ayudaría a los neurocientíficos a encontrar

comportamientos observables para la evaluación, relevantes a las acciones que el cerebro debe realizar. Así, un entendimiento del control motor requiere más que comprender los circuitos, necesita una concepción de los problemas que el SNC debe resolver para llevar a cabo tareas motoras. Un enfoque orientado a las actividades para el estudio del control motor proporcionaría la base para una imagen más coherente del sistema motor. Greene señala que cuando se haya organizado lo esencial de una actividad en una imagen coherente, será posible conocer menos y entender más.

Una adaptación de la teoría de la actividad de Greene fue elaborada por Gordon (33) y Horak (34). Sin embargo, el enfoque presentado por dichos científicos define actividad desde una perspectiva más funcional. Es decir, ¿cuáles aspectos del control son inherentes al logro de acciones funcionales en un medio ambiente coherente? El método orientado a la actividad se basa en el reconocimiento de que el objetivo del control motor es el dominio del movimiento para realizar una acción particular, no para efectuar movimientos por el sólo hecho de moverse (excepto en casos inusuales como bailar). Este planteamiento supone que el control del movimiento se organiza alrededor de comportamientos funcionales dirigidos a objetivos como caminar o hablar.

### LIMITACIONES

Una limitación de la teoría orientada a la actividad es la falta de un acuerdo consistente acerca de cuáles son las actividades fundamentales del SNC. Además, los teóricos no siempre concuerdan en cuanto a los elementos esenciales que se controlan en una acción. Por ejemplo, algunos científicos que estudian el control postural creen que el control de la posición de la cabeza es el objetivo esencial del sistema postural. Sin embargo, otros creen que lo fundamental es controlar el centro de la posición de la masa para alcanzar el equilibrio corporal.

### IMPLICANCIAS CLÍNICAS

La implicancia más importante de esta teoría es el concepto de que la recuperación del control debe enfocarse en actividades esencialmente funcionales. Sugiere la importancia de comprender el papel de los sistemas perceptivo, cognitivo y de acción en el cumplimiento de estas tareas. Uno de los desafíos para los médicos es analizar los componentes fundamentales de las acciones diarias que debemos

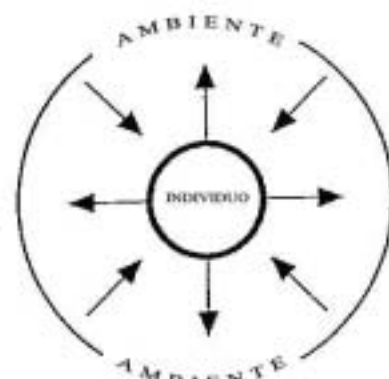
reeducar. Esto necesita más que un entendimiento de las características biomecánicas de una actividad, es decir, de las estrategias motoras utilizadas para realizar la acción. También necesita una comprensión de la base perceptiva de la acción y de las contribuciones cognitivas.

En nuestro ejemplo de la Sra. Johnson, ¿cuáles son las actividades esenciales que serán reeducadas durante el transcurso de su recuperación? ¿Cómo se recuperarán estas actividades? ¿Cuánto tiempo necesitará el médico para reentrenar la función, en comparación a trabajar en alguno de los elementos esenciales que contribuyen a la función, como la fuerza y el rango de movilidad? ¿Cómo puede el médico asegurar que las actividades aprendidas en un entorno clínico serán retenidas cuando la Sra. Johnson finalmente vuelva a su hogar?

### Teoría del Medio Ambiente

En los años sesenta, de forma independiente a la investigación de la fisiología, un psicólogo llamado James Gibson comenzaba a explorar la forma en que nuestros sistemas motores nos permiten interactuar más efectivamente con el medio ambiente a fin de tener un comportamiento orientado al objetivo (35). Su investigación se centró en la forma en que detectamos la información del medio ambiente pertinente para nuestras acciones y en cómo la utilizamos para controlar nuestros movimientos (véase Fig. 1.10).

Esta opinión fue ampliada por los estudiantes de Gibson (36, 37) y se dio a conocer como teoría del medio ambiente. Sugiere que el control motor evolucionó para que los animales pudieran



**Figura 1.10.** El enfoque del medio ambiente enfatiza la interacción entre el individuo y el ambiente. El individuo explora activamente su entorno, el cual, a su vez, sostiene la actividad del individuo.

enfrentarse a su entorno, moverse en él efectivamente a fin de encontrar comida, escapar de los depredadores, construir refugio e incluso jugar (28). ¿Qué es lo nuevo de este planteamiento? En realidad fue la primera vez que los investigadores comenzaron a centrarse en la forma en que las acciones están orientadas al ambiente. Las actividades necesitan información perceptiva específica para un desempeño dirigido al objetivo dentro de un ambiente determinado. La organización de la acción es especial para la actividad y el medio ambiente en que se realiza.

Mientras que muchos investigadores anteriores habían visto al organismo como un sistema motor sensorial, Gibson recalcó que no era la sensación en sí misma lo importante para el animal, sino que la percepción. Específicamente, lo necesario es el conocimiento de los factores ambientales importantes para la actividad. Estipuló que la percepción se centra en detectar aquella información del medio que apoyará las acciones necesarias para alcanzar el objetivo. Desde una perspectiva del ambiente, es importante determinar cómo un organismo descubre qué información es relevante para la acción, qué forma toma y cómo se utiliza para modificar y controlar el movimiento (28).

En resumen, la perspectiva del medio ambiente ha ampliado nuestro entendimiento de la función del sistema nervioso como un sistema sensorial-motor, que reacciona a las variables del entorno, a la idea de que es un sistema que percibe la acción, que explora activamente el ambiente para satisfacer sus propios objetivos.

## LIMITACIONES

Aunque este planteamiento ha expandido nuestro conocimiento significativamente respecto a la interacción entre el organismo y el ambiente, tiende a dar menos énfasis a la organización y función del sistema nervioso, el cual conduce a dicha interacción. Así, el énfasis de la investigación ha cambiado del sistema nervioso a la interfase organismo-medio ambiente.

## IMPLICANCIAS CLÍNICAS

La principal contribución de esta idea está en la descripción del individuo como un explorador activo del medio ambiente. Esta exploración activa de la acción y del entorno en que se desenvuelve permite que el individuo desarrolle múltiples formas de realizar la actividad. La adaptabilidad es importante

no sólo en la forma en que organizamos los movimientos, sino que también en cómo utilizamos nuestros sentidos.

Una parte importante del tratamiento es ayudar a la Sra. Johnson a explorar las posibilidades de alcanzar una actividad funcional en formas múltiples. La capacidad de desarrollar múltiples soluciones adaptativas para realizar una acción requiere que el individuo explore una gama de formas posibles para realizar una acción y descubra la mejor solución, dado su conjunto de limitaciones. En el caso de la Sra. Johnson, esta habilidad de descubrir activamente una variedad de soluciones se dificulta por la reducida capacidad de moverse, las percepciones erróneas y por las posibles limitaciones cognitivas.

## ¿CUÁL TEORÍA SOBRE EL CONTROL MOTOR ES MEJOR?

Entonces, ¿cuál de las teorías se adapta mejor a las necesidades teóricas y prácticas actuales de los terapeutas? ¿Cuál es la teoría más completa, aquella que realmente predice la causa y naturaleza del movimiento y que es consistente con nuestro conocimiento actual de la anatomía y fisiología cerebral?

Como puede ver sin lugar a dudas, no existe una teoría que lo tenga todo. Creemos que la mejor teoría es la que combina elementos de todas las teorías presentadas. Una teoría completa, o integrada, reconoce los elementos del control motor conocidos y deja espacio para lo que no sabemos. Cualquier teoría actual está *inacabada* en cierta forma, ya que siempre tiene que haber espacio para revisar e incorporar información nueva.

Muchas personas han estado trabajando para desarrollar una teoría integrada del control motor (24, 34, 38—43). En algunos casos, cuando son modificadas, se emplean nuevos nombres. Como resultado, se vuelve difícil distinguir entre las teorías desarrolladas. Por ejemplo, sistemas, dinámicas, acción dinámica y sistemas de acción dinámica son todos términos que a menudo se utilizan en forma intercambiable.

En artículos anteriores (40, 42) hemos llamado a la teoría para el control motor en la cual basamos nuestra investigación y práctica médica un *planteamiento de sistemas*. Hemos seguido usando este nombre, aunque nuestro concepto de teoría de *sistemas* difiere del enfoque de sistemas de Bernstein y se ha ampliado para incorporar muchos de los conceptos propuestos por otras teorías. En este libro continuaremos refiriéndonos a nuestra teoría del

control motor como un *planteamiento de sistemas*. Este enfoque sugiere que es esencial reconocer que los movimientos surgen de una interacción entre el individuo, la actividad y el entorno en que se realiza la acción. Así, no es solamente el resultado de programas motores específicos de los músculos o de reflejos condicionados, sino que se produce por una interacción dinámica entre los sistemas perceptivo, cognitivo y de acción.

Aquí se definen los sistemas de acción para incluir los aspectos neuromusculares y las propiedades físicas o dinámicas del sistema musculoesquelético en sí mismo. Las propiedades organizacionales del sistema surgen como una función de la actividad y del ambiente en que se realiza la acción.

Este marco teórico será utilizado a través de este texto y es la base de los métodos clínicos para evaluar y tratar los trastornos motores en el paciente con problemas neurológicos. Hemos encontrado útil la teoría en ayudarnos a generar preguntas de investigación e hipótesis acerca de la causa y naturaleza del movimiento.

---



---

## RESUMEN

1. El estudio del control motor es el estudio de la causa y naturaleza del movimiento. Se relaciona con la estabilización del cuerpo en el espacio, es decir, con el control postural y del equilibrio, y con el movimiento del cuerpo en el espacio.
  2. Las prácticas específicas utilizadas para evaluar y tratar al paciente con trastornos motores son determinadas por las suposiciones subyacentes acerca de la causa y naturaleza del movimiento provenientes de teorías específicas.
  3. Una teoría sobre el control motor es un grupo de ideas abstractas sobre la naturaleza y la causa del movimiento. Las teorías proporcionan: (a) un marco para interpretar el comportamiento; (b) una guía para la acción clínica; (c) nuevas ideas; y (d) hipótesis de trabajo para la evaluación y el tratamiento.
  4. Las prácticas de rehabilitación son un reflejo de las teorías, o ideas básicas, que tenemos sobre la causa y naturaleza de la función y disfunción.
  5. En este capítulo hemos revisado diversas teorías con un impacto sobre nuestra perspectiva de la evaluación y el tratamiento, incluyendo la teoría refleja, jerárquica, de la programación motora, de sistemas, de la acción dinámica, del procesamiento de distribución en paralelo, orientada a la actividad y del medio ambiente.
  6. En este texto utilizamos el enfoque de la teoría de sistemas como base para diversas aplicaciones clínicas. Según esta teoría, el movimiento proviene de la interacción de procesos múltiples, incluyendo (a) procesos perceptivos, cognitivos y motores dentro del individuo y (b) las interacciones entre el individuo, la actividad y el medio ambiente.
- 
-