

APRENDIZAJE MOTOR Y SÍNDROME GENERAL DE ADAPTACIÓN

Moreno, F. J¹; Ordoño, E. M.²

1. Área de Educación Física y Deportiva. Universidad Miguel Hernández de Elche
 2. Consejería de Educación de la Región de Murcia
-

RESUMEN

Este trabajo examina las posibilidades del Síndrome General de Adaptación como un marco de referencia para explicar y predecir los cambios producidos por el Aprendizaje Motor. Se parte de la consideración del ser humano como un sistema complejo en continua interacción con su entorno y el aprendizaje como un proceso de adaptación a las condiciones impuestas por la tarea. Se propone el concepto de carga de práctica análogo al de carga de entrenamiento, considerando que la práctica, vehículo del aprendizaje, debe aplicarse como una estimulación suficiente como para desencadenar en el aprendiz una adaptación a un nuevo nivel de rendimiento. En base a esta propuesta, se relacionan los principios del entrenamiento deportivo con el aprendizaje de habilidades motrices. Se formula una perspectiva teórica que trata de explicar de forma común los procesos de modificación de los patrones motores independientemente del nivel de complejidad, conllevando los mismos principios relacionados con la adaptación a una carga y aportando criterios para elaborar unos principios generales de actuación que deberían ayudar a diseñar las tareas de aprendizaje.

Palabras Clave:: Aprendizaje Motor, adaptación, sistemas complejos, entrenamiento, técnica.

ABSTRACT

This work examines the General Adaptation Syndrome like a suitable framework to explain motor learning processes. Human motor behaviour is viewed like a complex system continuously interacting in the environment. Motor learning is proposed as an adaptation process to the tasks constraints. Training loads and practice load are also considered analogous. Practice is the vehicle of learning, but it must be applied with the enough amount of load to produce an adaptation to a new level of performance. The principles of sport training are presented related to motor learning topics. Common principles are proposed to explain the learning of motor skills, regardless of the level of complexity, and level of the performer, and providing basic criteria that should help to design learning tasks.

Keywords: Motor learning, adaptation, complex systems, training, motor skills.

Correspondencia:

Francisco J. Moreno
Universidad Miguel Hernández de Elche
Avda. de la Universidad s/n. 03202. Elche. Spain.
fmoreno@umh.es

Fecha de recepción: 30/02/2009

Fecha de aceptación: 05/05/2009

Imaginemos un planeta girando alrededor del sol en el que sólo existan dos variedades de flores como única vida existente: margaritas negras y margaritas blancas. Las margaritas blancas reflejan la luz, y las negras absorben la luz, las margaritas negras son más calientes que las blancas y la capacidad de reproducción variaría del mismo modo en ambas en función de la temperatura. El planeta será más frío o más caliente en función del predominio de un tipo u otro de margaritas. Si la temperatura del sol baja, el planeta es tan frío que solo unas pocas margaritas negras y casi ninguna blanca sobrevive, pues las negras absorben el calor del sol. Esta crisis en las margaritas blancas permite la permanencia de la vida en el planeta. Si la temperatura del sol aumenta, el planeta reacciona provocando que las margaritas blancas comiencen a reproducirse más, y a la larga, el planeta alcanza un punto de adaptación a la temperatura. Los incrementos de temperatura en el planeta serían combatidos por una mayor proporción de margaritas blancas y cualquier disminución de la temperatura llevaría a un mayor número de margaritas negras en un continuo proceso de adaptación a las condiciones del ambiente. El mundo de margaritas es una simulación propuesta por Watson y Lovelock (1983) representando la hipótesis Gaia, en la que se muestra la biosfera como un complejo sistema en continua adaptación para mantener las condiciones necesarias para la vida en el planeta (Lovelock, 1979).

La capacidad de adaptación es un rasgo de los sistemas biológicos y por tanto una característica del ser humano. Mediante este proceso de adaptación se ha explicado la evolución de la especie, la resistencia a las enfermedades, las transformaciones de la sociedad o la respuesta del ser humano al entrenamiento. En el entrenamiento deportivo, el fenómeno de adaptación se ha extendido a través del Síndrome General de Adaptación propuesto por Seyle en 1956.

En este trabajo se pretende explorar las posibilidades del Síndrome General de Adaptación como herramienta para explicar y predecir los procesos de Aprendizaje Motor y cómo puede ser considerado bajo las diferentes perspectivas tradicionales de Aprendizaje Motor.

Partiendo del concepto de Aprendizaje Motor y los modelos que tratan de definirlo y explicarlo, se expondrán brevemente las teorías predominantes en los últimos años que interpretan el comportamiento motor y su aprendizaje. No obstante, la presente propuesta se apoya fuertemente en presupuestos procedentes de la Psicología Ecológica y la Teoría General de Sistemas Dinámicos que plantean un concepto de comportamiento basado en la interpretación del ser humano como un sistema complejo de dinámica no lineal.

Se considerarán el aprendizaje de la técnica y el entrenamiento de la técnica deportiva como conceptos equivalentes, partiendo de una concepción

pragmática del aprendizaje, no ligada a principios educativos sino a su concepción como la producción de un cambio relativamente estable en la conducta, producto de la práctica (Oña, Martínez, Moreno y Ruiz, 1999). Análogamente, se utilizará el concepto de carga de entrenamiento para explicar el concepto de carga de práctica, proponiendo que la práctica, como vehículo de aprendizaje, debe aplicarse como una estimulación suficiente como para desencadenar en el aprendiz el proceso que le permita una adaptación a un nivel de rendimiento superior.

Así el Aprendizaje Motor y el Entrenamiento Deportivo, comparten un principio fundamental, el Síndrome General de Adaptación (SGA).

Aprendizaje Motor y Sistemas Complejos

La definición científica de los modelos de aprendizaje ha pasado por diferentes épocas y corrientes. Probablemente fue el enfoque conductista en psicología el que sentó las bases del estudio del aprendizaje tal y como actualmente se concibe. El conductismo tuvo sus raíces en el asociacionismo de los filósofos ingleses, en la escuela de psicología estadounidense conocida como funcionalismo y en la teoría darwiniana de la evolución. Todas ellas hacían hincapié en una concepción del individuo como un organismo que se adapta al medio. Pavlov (1927), considerado como el pionero del estudio del condicionamiento clásico, estableció los principios de muchos fenómenos importantes del aprendizaje, como el condicionamiento, la extinción y la generalización del estímulo. Partiendo de los postulados pavlovianos, Watson (1913), a quien se le atribuye el término conductismo, propuso que los humanos ya tenían innatos algunos reflejos y reacciones de comportamiento, entre ellas las emocionales, y que todos los demás comportamientos se adquirirían mediante la simple asociación estímulo-respuesta. Los principios de condicionamiento clásico y, posteriormente, los principios del condicionamiento operante definidos originalmente por Skinner (1953), han sido las piedras angulares de la construcción de las teorías de aprendizaje modernas.

Las teorías cognitivas, o de procesamiento de la información, trataron de solventar algunos de los problemas explicativos de las teorías conductistas basados fundamentalmente en la interpretación del aprendizaje social (Bandura, 1977). La teoría cognitiva se desarrolló utilizando la analogía del computador como un modelo explicativo del comportamiento humano. Bajo este modelo el ser humano es considerado un procesador de información que recibe ésta del exterior, la analiza mediante procesos internos, y produce una respuesta, que provoca cambios en su entorno, y que a su vez es de nuevo introducida en el sistema para su análisis (Wiener, 1948).

Esta consideración del ser humano como procesador de información ha sido la predominante en los últimos 40 años y se ha utilizado extensamente como marco explicativo del comportamiento motor y al Aprendizaje Motor. Tras los trabajos pioneros de Richard Henry (Henry y Rogers, 1969) o J. Adams (1971), podemos considerar que el trabajo más influyente en el estudio del Control y el Aprendizaje Motor desde la perspectiva cognitiva ha sido la teoría del esquema motor de Schmidt (1975). Schmidt definió Aprendizaje Motor como los procesos internos asociados con la práctica que provocan cambios relativamente permanentes en la capacidad motriz (Schmidt y Lee 2005). Los mecanismos de aprendizaje estarían, por tanto, basados en la consolidación de procesos internos y la creación de representaciones de los movimientos denominados programas motores o esquemas motores (Schmidt, 1975). Este paradigma aún se encuentra en discusión y desarrollo, y la utilidad de los constructos cognitivos se ha constatado claramente en la literatura reciente del aprendizaje motor. (Schmidt, 2003; Newell, 2003; Sherwood y Lee 2003; Ulrich y Reeve, 2005)

En el ámbito del Aprendizaje y el Control Motor, en los últimos años, ha ido tomando forma un modelo alternativo a las propuestas cognitivas de la mano fundamentalmente de la Teoría General de Sistemas Dinámicos, con una fuerte base en la Termodinámica, (Prigogine y Stengers, 1984; Kelso, 1995, Kelso y Engström, 2006) y la Psicología Ecológica (Turvey, 1996; Gibson, 1979; Davids, Button y Bennett, 2008). Al contrario que las anteriores, la Teoría General de los Sistemas Dinámicos considera la analogía del computador como un modelo insuficiente para explicar el comportamiento humano, y plantea una propuesta teórica que comparta los mismos principios para todos los sistemas, incluidos los biológicos, independientemente de su nivel de complejidad. Resalta la necesidad de considerar el comportamiento motor en su integridad, reivindicando el estudio macroscópico de las relaciones individuo-entorno como un sistema complejo dinámico y abierto. Atendiendo a esta perspectiva, el movimiento se produciría gracias a la existencia de patrones estables de coordinación (Bernstein, 1967) formados con la experiencia del sujeto y creados en los continuos ajustes experimentados por el sistema neuromuscular a las distintas condiciones del medio a lo largo de la vida. Considerar el ser humano en su relación con el entorno como un sistema dinámico complejo, es uno de los elementos centrales del modelo que se presenta en este trabajo.

Un sistema complejo (cuyas características se resumen en la Tabla 1) está compuesto de muchos elementos que interactúan entre sí dando lugar a diversos comportamientos observables. El comportamiento típico de un sistema complejo dinámico puede ser explicado a partir de la segunda ley de la termodinámica que determina que un sistema tiende hacia altos niveles de

entropía, en los que está en equilibrio. Esto es debido a que en las interacciones que puede sufrir el sistema, la energía tiende a dividirse por igual, por lo que éste siempre tiende a estar en equilibrio. Así, los cambios que se produzcan en el entorno del sistema lo llevarán a un estado “lejos del equilibrio”, momento en el cual emergerán fluctuaciones en la dinámica de las relaciones entre los elementos del sistema que lo llevarán a ajustarse a las nuevas condiciones del entorno, en un nuevo estado de equilibrio (Wallace, 1997). Por ejemplo, un vaso puede mantener agua en un determinado nivel de equilibrio. Si volcamos el vaso, el agua (sistema) reaccionará ante los cambios del entorno, modificando el estado de organización entre sus moléculas (elementos del sistema) emergiendo un comportamiento de precipitación sobre otro recipiente y distribuyéndose hasta alcanzar un nuevo estado de equilibrio.

Los estados de mayor estabilidad del sistema, es decir, aquellos con la máxima entropía, actúan como atractores, de modo que el sistema se comportará tendiendo siempre hacia el estado con mayor estabilidad que le permita adaptarse a las condiciones del entorno, de entre todos los posibles.

TABLA 1

Características de un sistema complejo (modificada, de Davids et al.; 2008)

- Poseen varios grados de libertad, entendiéndolos éstos como la cantidad de potenciales configuraciones que pueden observarse entre las partes del sistema. La complejidad de un sistema estará marcada por la cantidad de grados de libertad (Newell y Vaillancourt, 2001).
- El comportamiento de un sistema es potencialmente no lineal mostrando diferentes formas de relación entre sus componentes.
- Un sistema puede estar compuesto de varios subsistemas.
- Los componentes de un subsistema puede influir o limitar el comportamiento de otros subsistemas.
- Los patrones de comportamiento del sistema son resultado de la autoorganización entre sus partes y éste comportamiento puede mostrar distintos niveles de estabilidad.
- Un sistema modifica su estado de organización en función de los parámetros de control de su entorno, esta dependencia de los parámetros de control y la permanencia de los cambios experimentados incluso sin la exposición a estos se le denomina histéresis del sistema

Los sistemas biológicos (seres vivos) son sistemas complejos, con dos particularidades: a) que son sistemas abiertos (en continuo intercambio de energía con su entorno), por lo tanto en situación “lejos del equilibrio”; y b) que poseen capacidad de adaptación (Ruthen, 1993). Si una persona corriendo llega

a una zona de mayor pendiente, el cambio en el entorno modificará la dinámica de las relaciones entre los componentes del sistema, modificando su técnica de carrera. al comienzo mostrará una fase de fluctuaciones en las relaciones en los elementos del sistema tratando de ajustarse a los cambios del entorno (cambios en la pendiente) según las posibilidades de las dinámicas intrínsecas de éstos elementos (fase de transición o fluctuación ya descrita por haken en 1984 y modelada matemáticamente por haken, keso y bunz en 1985). Conforme los patrones de coordinación que emergen fruto de esas nuevas relaciones entre los elementos, vayan solucionando las condicionantes de la tarea irán siendo más frecuentes y más ajustados hasta manifestar un patrón estable ateniéndose a dichas condicionantes, es decir adoptará una técnica de carrera que le permita continuar la marcha en la nueva pendiente.

Cuando un ser vivo se expone repetidamente a unas mismas condiciones del entorno, la respuesta ante esta situación se hace cada vez más estable y se convierte en un atractor del comportamiento del sistema. es decir, si el deportista corre continuamente sobre un terreno inclinado tenderá a adoptar de forma natural una técnica de carrera ajustada a estas condiciones incluso cuando esas condiciones no se den. esta característica de los sistemas complejos, de dependencia de los parámetros de control y la persistencia de los cambios que producen a pesar de la ausencia de dichos parámetros se puede definir como histéresis del sistema (tabla 1).

Esta explicación de la emergencia de patrones motores en función de las demandas de la tarea, y que puede provocar la permanencia de estos patrones en el tiempo, ha sido introducida como una aproximación al aprendizaje basada en las condicionantes o limitaciones de la tarea (“constraints-led approach”) (Davids, Chow y Shuttleworth, 2005). en sentido metafórico, se podría entender el aprendizaje de patrones motores como una “lucha” entre las dinámicas intrínsecas del deportista y las dinámicas de las tareas y el entorno que terminan provocando la “emergencia” de nuevos patrones de comportamiento que permiten al deportista solventar las demandas (condicionantes o “constraints”) de la tarea propuesta. El conjunto de comportamientos motores que puede mostrar el individuo formará un paisaje perceptivo-motor compuesto por los patrones de coordinación ajustados a determinadas condiciones ambientales.

La perspectiva sobre el Aprendizaje Motor presentada en este trabajo sienta parte de sus bases en la teoría de sistemas dinámicos, concretamente en:

- a) La consideración del deportista como un sistema complejo
- b) La tendencia de los sistemas hacia estados de equilibrio
- c) La adaptación como elemento fundamental del aprendizaje

Esta propuesta parte del mismo principio que guía el entrenamiento deportivo, la respuesta al estrés desencadenada por una carga, y partiremos de los conceptos comentados para estudiar hasta qué punto el síndrome de respuesta al estrés puede ser de utilidad en la interpretación del Aprendizaje Motor.

El Aprendizaje Motor como Síndrome General de Adaptación

El biólogo y endocrinólogo Hans Seyle, describió el Síndrome General de Adaptación (SGA) como el cambio que experimenta el cuerpo humano ante una situación de estrés (Seyle, 1956). Bajo este síndrome se predice que el ser humano, cuando es sometido a una carga estresante, experimenta tres estados consecutivos en su comportamiento: alarma, resistencia y agotamiento (Figura 1A).

Este principio fue observado y aplicado inicialmente a los procesos endocrinos y concretamente en la respuesta de la glandular. Posteriormente, Garhammer (1979) aplicó el concepto del SGA, para explicar el entrenamiento de la resistencia y el acondicionamiento físico en general. La aplicación de una carga de entrenamiento superior a la que está habituado el deportista (situación de estrés) provocará una fase de alarma disminuyendo parte de la capacidad funcional de éste y disminuyendo temporalmente su rendimiento. El sistema responde ante esta situación poniendo en marcha mecanismos de resistencia que le permitan responder a la nueva carga de trabajo dando lugar a un proceso de adaptación. Este comportamiento de adaptación también se le denomina compensación, o en el entrenamiento de la condición física, supercompensación. En esta fase de supercompensación, el sistema experimenta cambios de carácter mecánico, estructural o bioquímico, ajustando las características del sistema, preparándose para una posterior aplicación de esta carga y elevando sus capacidades (Stone, O'Bryant, Garhammer, McMillan y Rozenek, 1982). La teoría del Entrenamiento Deportivo se apoya fuertemente en este principio. El SGA permite explicar cómo las cargas de entrenamiento permiten al deportista mejorar su condición física por adaptación a éstas.

Tal y como lo definió Seyle, este modelo no es en realidad una explicación únicamente del entrenamiento deportivo sino un modelo general de comportamiento de los sistemas biológicos. Así, y como se ha comentado anteriormente, los seres vivos se caracterizan por su capacidad de adaptación y, aún más, cuando un sistema no se somete a estimulación, tiende a estados de equilibrio previos. Cuando un músculo no se somete a estimulación que le suponga vencer una carga, este músculo tiende paulatinamente a perder capacidad o incluso a una situación de atrofia.

Aplicando éstos conceptos al aprendizaje, éste se puede considerar en sí mismo como procesos de adaptación de un sistema ante condiciones de cierta exigencia (Newell, 1985). En realidad, la descripción del fenómeno del aprendizaje en base a procesos de adaptación, no es realmente nuevo. Pavlov, en sus trabajos sobre el aprendizaje en perros, rechazó toda explicación del aprendizaje basada en una supuesta "conciencia" animal, apegándose estrictamente en cambio a explicaciones fisiológicas (Pavlov 1927). En cuanto a la concepción del ser humano como un sistema dinámico complejo, ya Watson (1913) consideraba que la unidad de observación psicológica era el comportamiento o la conducta en el sentido de acción compleja manifestada por el organismo en su integridad en relación y adaptación a su entorno.

Trasladando los principios del SGA y del entrenamiento deportivo al aprendizaje y concretamente al Aprendizaje Motor, se puede explicar éste considerando que las cargas de entrenamiento estarían representadas por las tareas propuestas por el entrenador, por el profesor o por el terapeuta, para provocar cambios o adaptaciones. Si las tareas que se le proponen al aprendiz están diseñadas de forma que le supongan un estímulo o carga suficientemente intensa de práctica, entrará en situación de "alarma". Según algunas aproximaciones desde la perspectiva de la teoría de sistemas dinámicos, ésta fase de alarma se correspondería con una fase de búsqueda del sistema motor, caracterizada por una mayor variabilidad de movimientos, explorando las distintas posibilidades de movimiento en su "paisaje perceptivo motor" (Davids et al., 2008) para tratar de solucionar los condicionantes impuestos en la tarea. Este proceso de adaptación a la tarea, se correspondería con la fase de "resistencia", las adaptaciones y supercompensación serían los nuevos comportamientos mostrados por el aprendiz que le permiten superar la carga de práctica y que suponen un cambio significativo en sus patrones de comportamiento (Figura 1B).

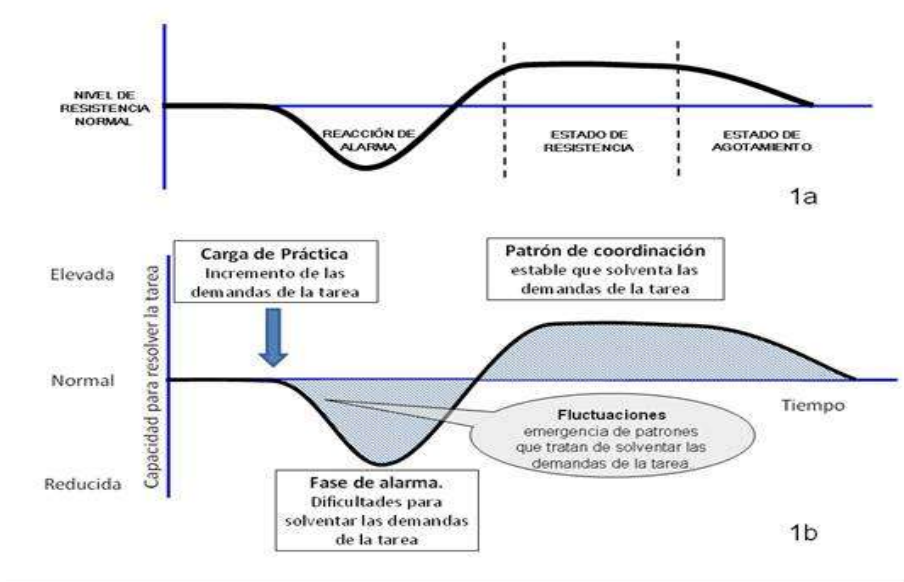


FIGURA 1. Panel superior 1a. representación del síndrome general de adaptación según la aportación de seyle (1956) panel inferior, 1b. representación del efecto de una carga de práctica en el aprendizaje de una habilidad motriz tomando como referencia el síndrome general de adaptación

Frecuentemente, en la iniciación deportiva se ha utilizado el término de aprendizaje para describir la adquisición de los primeros gestos técnicos mostrados por niños o deportistas noveles, y el término de entrenamiento ha sido más utilizado para describir los procesos de mejora del nivel técnico de un deportista introducido ya en una disciplina deportiva. Muchos autores consideran que el entrenamiento de la técnica debe ajustarse a los modelos de Aprendizaje Motor y no trazan una diferencia clara entre ellos, aunque en ocasiones aparece cierta confusión conceptual (García, Navarro y Ruiz, 1996, Ruiz y Sánchez, 1997). Por otro lado, tanto desde la perspectiva del entrenamiento como desde el aprendizaje, otros autores han diferenciado el Aprendizaje Motor, el aprendizaje de la técnica y el entrenamiento de la técnica (e.g. Nitsch, Neumaier, de Marees y Mester, 2002)

El modelo presentado en este trabajo, propone que ambos términos sean considerados sinónimos pues los cambios que se producen en los patrones motores mostrados por niños o adultos, por noveles o por expertos, responden a los mismos principios y pueden ser explicados bajo un mismo modelo, variando únicamente el nivel de complejidad del análisis y los objetivos de rendimiento. Por tanto, en adelante, el término de entrenamiento de la técnica se considerará como sinónimo de aprendizaje de la técnica, compartiendo los mismos principios que el Aprendizaje Motor. En base a lo anterior,

consideraremos aprendiz tanto al niño que se inicia en la actividad deportiva como al deportista de alto rendimiento. Ambos tienen como objetivo modificar su conducta motora, adquiriendo patrones de movimiento más eficaces que les permitan ajustarse a las demandas de las tareas propuestas y/o a las condiciones de competición durante la práctica deportiva.

Implicaciones del modelo en el Aprendizaje Motor

Asumir el presente modelo de aprendizaje basado en los principios del SGA a) facilita la proposición de un modelo común que explique de forma útil y comprensible los procesos de modificación de patrones motores independientemente del nivel del ejecutante; b) conlleva asumir los mismos principios que rigen éste último, fundamentalmente los relacionados con la carga; y c) permite elaborar unos principios generales de actuación, diferenciados en sus niveles de magnitud, de complejidad o de precisión para adaptarse al nivel y a los objetivos de aprendizaje.

La figura 2 ilustra un posible ejemplo concreto del modelo teórico general presentado en este trabajo. Si se desea que un niño aprenda a correr elevando más los pies durante las zancadas, se podría aplicar una modificación en la tarea, por ejemplo colocando obstáculos como pequeñas vallas separadas entre ellas que le obliguen a elevar los pies durante la carrera. Durante la realización de la tarea bajo estas condiciones (carga de práctica) la capacidad funcional del niño para coordinar la carrera se verá reducida, incrementando el tiempo invertido en recorrer la distancia propuesta y suponiéndole mayor número de variaciones o fluctuaciones en el patrón motor (diferentes y más variadas trayectorias de movimiento traducéndose en desequilibrios). Este descenso en el rendimiento es fruto de la aplicación de una carga de práctica (unas nuevas condiciones de la tarea que obligan al aprendiz a adaptarse) del mismo modo que el sistema sufre la fase de “alarma” durante el SGA. No obstante, el sistema (el niño en su interacción con la tarea) tiende a adaptarse a esta nueva situación (fase de resistencia) y no sólo a adaptarse sino a supercompensar este descenso en el rendimiento. Así, al retirar las vallas, mostrará un comportamiento, modificado en la dirección de las condiciones de la práctica, y adaptado a éstas con patrones motores que habrán emergido por el ajuste del sistema a la carga de práctica (zancadas con los movimientos de los pies más elevados).



FIGURA 2. Concreción de la aplicación del presente modelo al aprendizaje de la técnica de carrera

Como se ha dicho, en base al SGA, deberíamos tener en cuenta que si las tareas propuestas para el aprendizaje (carga de práctica) las consideramos del mismo modo que las cargas manipuladas para el entrenamiento, así seguirán los mismos principios que éstas, entre los que destaca el principio de adecuación de la carga.

Según el principio de adecuación de la carga de entrenamiento, las cargas deben ajustarse a las características del individuo. Así, las cargas que no alcancen un determinado umbral, no supondrán suficiente estimulación como para optimizar el proceso de adaptación (Bompa, 2000). Suponiendo un ejemplo del entrenamiento de la técnica de carrera, si proponemos al aprendiz que corra sobre una superficie estable cuando ya tiene una técnica de carrera estable, la mejora de su técnica de carrera será prácticamente inapreciable (nunca será nula debido a los procesos de variabilidad motora, y que producen que continuamente tengamos que enfrentarnos a situaciones nuevas, que en definitiva suponen una estimulación). Es decir, una tarea que se encuentre dentro de sus posibilidades funcionales no facilitará un importante paso adelante en éstas del mismo modo que un deportista no mejorará sensiblemente su fuerza si continúa levantando peso en niveles de carga a los que ya se encuentra habituado. Por tanto, será conveniente aplicar cargas de práctica que supongan una estimulación suficiente como para que el sistema se adapte y pueda adquirir un nivel de rendimiento superior. Así, ejercicios de carrera en diferentes tipos de superficies, sobre diferentes pendientes o

mediante el uso de lastres, supondrán condiciones de carga práctica ante la cual el atleta sufrirá un estado inicial de alarma y desajuste en su patrón de movimiento y tenderá a elaborar un patrón de movimiento ajustado a las condiciones impuestas en esas unidades de práctica. Dependiendo de la dirección y la intensidad de las cargas de práctica, la técnica mostrada sufrirá una adaptación en una u otra dirección.

En el mismo sentido pero en dirección contraria, podremos suponer que cargas que sean muy elevadas no permitirán la adaptación, provocando un estado de alarma excesivo que lleve al sistema a una incapacidad mantenida para solventar la carga (provocando en el caso del entrenamiento, lesión, fatiga crónica o sobreentrenamiento). En un ejemplo de entrenamiento de la fuerza, si incrementamos de manera brusca y desproporcionada los kilos que tiene que levantar el deportista, parece razonable que no se encuentren mejoras significativas en su fuerza debido a la imposibilidad de realizar los ejercicios con semejante peso. Durante el aprendizaje, estas cargas de práctica excesivas podrían no provocar adaptación por fallo en la capacidad del sistema para provocar una respuesta funcional ajustada a la carga. Si al aprendiz se le proponen tareas que se encuentren lejanas a su capacidad para acoplar respuestas funcionales a la tarea, no es previsible provocar aprendizajes o que éstos sigan el mejor ritmo de progresión deseado. Por ejemplo si pretendemos modificar la técnica de carrera hacia un patrón con mayor elevación de las zancadas durante ésta y utilizamos vallas excesivamente altas para las posibilidades de un niño, éste se verá incapaz de realizar las tareas propuestas o recurrirá a patrones motores alternativos. Así, cargas excesivamente altas, podrían provocar aprendizajes de patrones motores alternativos, la no aparición de adaptaciones (por rehúse del aprendiz a realizar las tareas), periodos de latencia excesivamente largos en la espera de las adaptaciones que quizás no lleguen o, en el peor de los casos, incluso resultados lesivos, del mismo modo que ocurre en el entrenamiento deportivo cuando una carga se encuentra por encima del nivel de tolerancia del atleta.

Por lo tanto, las tareas deberían diseñarse de forma que: a) el aprendiz se adapte a éstas, b) el nivel de carga que supongan siga el principio de adecuación de la carga, es decir, alcance un umbral adecuado; y c) se encuentren dentro de las posibilidades de adaptación del individuo, esto es, que el aprendiz sea capaz de efectuarlas siguiendo las condiciones de la práctica propuestas. Vygotsky (1962), desde una perspectiva cognitiva, ya se refería a algo similar cuando conceptualizaba la Zona de Desarrollo Próximo como la distancia entre el nivel real del desarrollo, determinado por la capacidad de resolver independientemente un problema y el nivel de desarrollo potencial determinado a través de la solución de un problema.

Con todo, en el Aprendizaje Motor, una adecuada carga práctica para el cambio en el patrón de movimiento supondrá un descenso del rendimiento de la habilidad del deportista de manera temporal y coincidiendo con la fase de alarma. Esta fase transitoria de bajo rendimiento la han documentado anteriormente diferentes estudios relacionándola con una fase de transición previa a la emergencia de un patrón más eficaz para ajustarse los requisitos de la tarea (e.g. Kelso, 1984; Zanone y Kelso, 1992; Chow, Davids, Button, Shuttleworth, Renshaw, y Araújo, 2006).

Newell, Liu y Mayer-Kress (2001) y Lui, Mayer-Kress y Newell (2006) mostraron que en el aprendizaje de una habilidad motriz, se pueden observar cambios en la conducta a distintos niveles o escalas temporales. Además de los cambios o descensos de rendimiento durante la carga de práctica, ya comentados, es observable también un descenso en el rendimiento en una escala temporal mayor en tanto en cuanto el patrón de movimiento adquirido tendrá menor estabilidad que el patrón preferido anterior a la aplicación de la carga de aprendizaje. Por ejemplo, si queremos modificar la técnica de saque en un tenista, y proponemos ejercicios que alteren su técnica en una dirección determinada o con una intención indicada por el entrenador, tras la aplicación de la carga de práctica, el patrón que poseía el deportista antes de estos ejercicios sufrirá un descenso en su estabilidad, este descenso funcional se mantendrá hasta que el nuevo patrón de movimiento se haga más estable por medio de la sucesión de ensayos, series o sesiones de práctica. Al provocar un cambio en el patrón de movimiento por medio de la práctica, durante el aprendizaje, el nuevo movimiento de saque que se le requiere al deportista será más inestable que el antiguo movimiento preferido por éste (incluso tenderá a realizar el movimiento anterior) (Davids et al, 2008). Sin embargo mediante la práctica adecuada, una vez aprendido el patrón nuevo (supercompensación), éste constituirá un atractor, un estado estable del (ahora modificado) patrón de movimiento, que será más estable que el patrón de movimiento antiguo (Kelso, 1995). Utilizando como ejemplo el deportista en la sala de musculación, cuando realiza los ejercicios con un mayor nivel de carga, estos cambios y disminuciones de la funcionalidad de su respuesta se muestran también al menos en dos escalas temporales; durante la aplicación de la carga, al tener que mover más kilos, el gesto es más ineficaz, mostrando mayores variaciones en la aceleración o una trayectoria menos uniforme o menos ajustada a la predefinida por la dificultad que provoca la carga para producir respuestas adaptadas. Tras la serie de ejercicios también mostrará, y hasta que se adapte y supercompense, una capacidad disminuida para producir fuerza por parte de los músculos ejercitados, esta incapacidad temporal se notará durante todo el día o días siguientes a la carga de trabajo.

Para poder optimizar el proceso de aprendizaje de habilidades motrices es necesario poder determinar la magnitud de las cargas de práctica y los tiempos de recuperación frente a las mismas, para poder fijar así el momento adecuado para aplicar una nueva carga y la magnitud de la misma. Algunos intentos para determinar estos tiempos de adaptación se pueden observar en algunos trabajos recientes que estudian el efecto de la fatiga o la concentración de la práctica en el aprendizaje de las habilidades motrices (Shea, Lai, Black y Park, 2000; Savion-Lemieux y Penhune, 2005; García, Moreno, Reina, Menayo y Fuentes, 2008).

Conclusiones y previsibles aportaciones futuras de la propuesta

Como consecuencia de las características del modelo presentado en este trabajo, se pueden proponer una serie de principios que deberían ayudar a diseñar las tareas de aprendizaje, que se resumen en la tabla 2. En cualquier caso, estas directrices generales propuestas deberían seguir un criterio de eficiencia, entendido como el diseño y aplicación de las situaciones de práctica que permitan conseguir un alto nivel de cambio en la conducta lo más estable posible en el tiempo, con la menor cantidad de práctica posible.

TABLA 2: Principios generales para el diseño de tareas de aprendizaje basados en el modelo presentado en este trabajo.

Concreción de las condicionantes de ejecución.

Una vez analizadas las dinámicas propias de las habilidades a aprender en su conjunto, y con ello los criterios de rendimiento, se propone especificar las dinámicas específicas de los elementos o gestos involucrados en éste. En este sentido podría resultar de utilidad ordenar las condicionantes que más limitan el rendimiento en las habilidades con el objetivo de orientar las cargas de práctica con criterios de progresión.

Determinar las características del aprendiz.

El avance en el aprendizaje será el resultado de la “lucha” entre las dinámicas intrínsecas del aprendiz y la dinámica del entorno en el que se desarrolla la habilidad. Así, el análisis de las características del aprendiz nos debe permitir conocer qué condicionantes de las habilidades están a su alcance, con cuáles se encuentra luchando para conseguir mejorar su rendimiento y cuáles se encuentran aún lejos de sus capacidades actuales y suponen todavía una carga muy elevada.

Ajustar las cargas de práctica

Elaborar tareas con cargas de práctica superiores a las demandas a las que están habituados los aprendices. Las tareas deben diseñarse de forma que supongan al deportista una carga de aprendizaje. Esto es, se deben diseñar tareas con unas condicionantes ante las que el deportista tenga que adaptarse y, de este modo, elevar la capacidad del aprendiz para superar éstas con patrones eficientes.

Implantar sistemas de evaluación

Establecer en qué medida el deportista es capaz de mostrar comportamientos que resuelvan eficazmente las cargas de práctica, y por tanto sea necesario incrementar la intensidad, su dirección o especificidad. Se propone evaluar sometiendo el comportamiento a modificaciones intencionadas en parámetros de orden y midiendo la variabilidad del movimiento, detectando zonas estables e inestables ("Scanning Procedure", ver Yamanashi, Kawato y Suzuki, 1980, Zanone y Kelso, 1992).

En base a este modelo, se puede observar que los principios del entrenamiento deportivo son aplicados en el aprendizaje de las habilidades motrices en el deporte. Además del principio de adecuación de la carga, comentado anteriormente, podemos reconocer en el aprendizaje principios como el de progresión en la carga, la relación entre carga y recuperación, la individualización o la periodización (Bompa, 2000). Por otro lado, se llama la atención sobre otros principios que requieren ser revisados en sus bases teóricas a la luz de esta perspectiva como los principios de variabilidad, que muestra diversos efectos en función de las características y magnitud de la variabilidad (Davids, Glazier, Araújo y Bartlett, 2003); o el principio de reversibilidad, que debe revisarse dado que una de las características de la dinámica de los sistemas complejos es precisamente la no linealidad e irreversibilidad de los cambios.

Pero, ¿cómo afecta la aplicación de estos principios a los tópicos de Aprendizaje Motor conocidos hasta la fecha? Como se ha propuesto, según el SGA, los estados de alarma y resistencia están continuamente presentes en nuestro comportamiento pues estamos continuamente sometidos a estimulaciones o a cargas que nos suponen adaptaciones. Si el modelo propuesto en base al SGA es suficientemente explicativo y predictor del Aprendizaje Motor, los principales tópicos de esta disciplina deberían poder ajustarse a los principios expuestos.

En cuanto a los tipos de práctica, otros tipos de práctica distintos a la práctica física, como la práctica guiada, o por modelado (ver Oña et al., 1999 o Ruiz, 1994 para una revisión de los tipos de práctica aplicados al Aprendizaje Motor) producirán la aparición de nuevos movimientos en la medida que supongan una estimulación o carga de práctica que propicien la adaptación del sistema. La práctica imaginada o visualización, como medio para producir aprendizajes, parecería escaparse de esta propuesta, pues es un tipo de práctica que no aparenta una fase de alarma y de resistencia y que sin embargo ha demostrado su eficacia en el aprendizaje (ver Morris, Spittle y Watt, 2005).

Mediante la práctica imaginada se producen cambios en el comportamiento, en la medida que se permite incrementar la estabilidad de patrones motores adquiridos o en proceso de adquisición. El ser humano tiene la capacidad, como

ser neurobiológico, de estimular su sistema nervioso autónomamente y, de este modo, poner en marcha las vías nerviosas que le permitan tanto producir movimiento como reproducir las sensaciones provocadas por estímulos a los que ha sido expuesto anteriormente. En este sentido, podríamos interpretar que el sistema tendría la posibilidad de generalizar cargas autoaplicadas, en base a su exposición a sensaciones anteriormente vividas y que es capaz de reproducir. Como se ha indicado de forma muy breve anteriormente, la variabilidad que expresa el ser humano como cualquier sistema biológico, supone que cada vez que se expone a una situación nunca sea exactamente igual, lo cual le supone estar continuamente expuesto a situaciones relativamente nuevas ante las que tiene que actuar (Riley, Turvey, 2002). De cualquier modo, la intensidad de la carga de aprendizaje durante la práctica imaginada es pequeña, es de esperar que la fase de alarma también lo sea y los cambios en los patrones de comportamiento suponen fundamentalmente incrementos en su estabilidad o ajustes sobre movimientos aprendidos. La imposibilidad de imaginar un estímulo al que nunca ha sido expuesto, se relacionaría con la imposibilidad de estimular vías de conexión nerviosa que nunca antes habían sido practicadas. Para ello es necesaria la exposición del estímulo. Del mismo modo, para aprender gestos nuevos, las vías nerviosas y las secuencias de puntos de equilibrio entre la estimulación neuromotora, tensión generada por los músculos, ángulos articulares, velocidades y cargas que soporta un movimiento concreto, son lo suficientemente específicos como para no poder imaginar un movimiento que nunca se ha efectuado. Esta capacidad, no obstante estará condicionada por la experiencia, conforme mayor sea la cantidad de situaciones a las que se haya expuesto el sistema, mayor será el repertorio o paisaje perceptivo-motor que posea el aprendiz y mayor será la capacidad de éste para elaborar nuevas combinaciones de patrones y generalizar algunos de ellos a su uso en situaciones en condiciones del entorno similares (Kelso y Zanone, 2002). Por tanto, la experiencia, la existencia previa de patrones motores, será un factor condicionante.

Debemos señalar que no se ha identificado la relación del modelo de aprendizaje con los factores educativos y los elementos motivacionales. Es cierto que se pueden echar de menos criterios pedagógicos o educativos, que tradicionalmente se han ligado al concepto de aprendizaje. Hay que recordar que la presente propuesta pretende establecer criterios generales para producir aprendizajes independientemente de los valores que se transmitan con ellos. Debe ser el educador, en su caso, el que deba decidir el equilibrio entre las estrategias más eficaces para el cambio conductual y las estrategias que se encuadren dentro de su ideario de actuación. En cuanto a los factores motivacionales, son sin duda elementos mediadores de la eficacia de una

estrategia de aprendizaje, en tanto que suponen una mayor o menor implicación en las situaciones de práctica por parte del aprendiz. No obstante, consideramos que los principios básicos que explican el aprendizaje por la adaptación a una carga de práctica deben ser comunes, y el efecto de los factores motivacionales a la luz de este modelo pueden ser reinterpretadas sin necesidad de modificar su relevancia y debe ser objeto de revisiones posteriores.

Otros conceptos del Aprendizaje Motor relacionados con la organización de la práctica, podrían reinterpretarse como procesos de adaptación. Así, los beneficios de la variabilidad al practicar se podrían explicar como la adaptación del aprendiz a la variabilidad de las dinámicas intrínsecas de la tarea mediante la aplicación de cargas de variabilidad controladas por el entrenador (Davids, Bennet y Newell 2006). Una alta interferencia contextual en la práctica, como exposición del sistema a diferentes organizaciones de la práctica de varias habilidades de forma aleatoria o en serie, prepararía al sistema para que los patrones motores del "paisaje perceptivo-motor" fuesen más resistentes a la inestabilidad, al exponerse a continuos cambios de tareas, haciéndose más estables y permanentes en el tiempo (Moreno, Ávila, Damas, García, Luis, Reina y Ruiz, 2003). Las estrategias en la práctica analítica o global (aprendizaje por partes según Schmidt y Lee, 2005) harían referencia a la especificidad de las cargas en función de las habilidades a aprender. El aprendizaje latente que es típico de la práctica concentrada, puede explicarse por los procesos de recuperación de la carga e interpretarse como situaciones de compensación o supercompensación relacionado con las elevadas tasas de rendimiento después de un periodo sin practicar (García et al., 2008). Estos y otros tópicos de Aprendizaje Motor podrían estudiarse a la luz de esta propuesta para evaluar la utilidad de este modelo.

REFERENCIAS

- ADAMS, J.A. (1971). A close-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*. 3, 111-150
- BANDURA, A. (1997). *Social learning Theory*. Englewood Cliffs, NJ. Prentice Hall.
- BERNSTEIN, N.A. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford : Pergamon Press.
- BOMPA, T.O. (2000) *Periodización del entrenamiento deportivo*. Barcelona. Paidotribo.
- CHOW, J.Y., DAVIDS, K., BUTTON, C., SHUTTLEWORTH, R., RENSHAW, I. & ARAÚJO, D. (2006). Nonlinear pedagogy: A constraints-led framework for understanding emergence of game play and movement skills. *Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life Sciences* 10, 71-103

- DAVIDS, K., BENNETT, S. & NEWELL, K.M. (2006). *Movement System Variability*. Champaign, Illinois. Human Kinetics.
- DAVIDS, K., BUTTON, C. & BENNETT, S. (2008). *Dynamics of Skill Acquisition: A Constraints-led Approach*. Champaign, Illinois. Human Kinetics.
- DAVIDS, K., CHOW, J.-Y. & SHUTTLEWORTH, R. (2005). A constraints-based framework for nonlinear pedagogy in physical education. *Journal of Physical Education New Zealand*, 38, 17-29
- DAVIDS, K., GLAZIER, P., ARAÚJO, D. & BARTLETT, R.M. (2003). Movement systems as dynamical systems: The role of functional variability and its implications for sports medicine. *Sports Medicine*, 33, 245-260
- GARCIA J. A., MORENO F. J., REINA R., MENAYO R. & FUENTES J. P. (2008). Analysis of effects of distribution of practice in learning and retention of a continuous and a discrete skill presented on a computer. *Perceptual and motor skills*. 107, 261-272.
- GARCÍA, J. M., NAVARRO, M., Y RUIZ, J. A. (1996). *Planificación del Entrenamiento Deportivo*. Gymnos, Editorial Deportiva. Madrid, España.
- GARHAMMER, J. (1979). Periodization of strenght training for athletes. *Track Tech*, 73, 2398-2399.
- GIBSON, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Hillsdale, NJ. Erlbaum.
- HAKEN, H. (1984). *Synergetics: The science of structure*. New York. Van Nostrand.
- HAKEN, H., KESO, J.A.S. & BUNZ, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movments. *Biological Cybernetics*, 51, 347-356.
- HENRY, F.N. & ROGERS, D.E. (1960) Increased response latency for complicated movements and a “memory drum” theory of neuromotor reactions. *Research Quarterly*, 31, 448-458
- KELSO J.A.S. & ZANONE P.G. (2002). Coordination dynamics of learning and transfer across different effector systems. *Journal of experimental psychology. Human perception and performance* 28(4), 776-797.
- KELSO, J.A.S. & ENGSTRÖM, D.A. (2006). *The complementary nature*. Cambridge, MA. Bradford Books.
- KELSO, J.A.S. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative*, 15, R1000-R1004
- KELSO, J.A.S. (1995). *Dynamic Patterns: The self Organisation of brains and behaviour*. Cambridge, MA. MIT Press.
- LIU, Y. T., MAYER-KRESS, G.& NEWELL, K. M. (2006). Qualitative and Quantitative in the Dynamics of Motor Learning. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and Performance*, 32 ,380-393.

- LOVELOCK, J.E. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth*. New York: Oxford University Press, 1979.
- MORRIS T., SPITTLE, M. & WATT, A.P. (2005). *Imagery in Sport*. Champaign, Illinois. Human Kinetics.
- MORENO, F. J., AVILA, F., DAMAS, J., GARCIA, J.A., LUIS, V., REINA, R., & RUIZ, A. (2003). Contextual interference in learning precision skills. *Perceptual and Motor Skills*, 97, 121-128.
- NEWELL, K.M., LIU, Y., & MAYER-KRESS, G. (2001) Time scales in motor learning and development. *Psychological Review*, 108, 57-82
- NEWELL, K.M., & VAILLANCOURT, D. (2001). Dimensional change in motor learning. *Human Movement Science*, 14-15, 695-716.
- NEWELL, K.M. (1985). *Coordination control and skill*. En D. Goodman, R.B. Willberg y I.M. Franks (Eds.), *Differing perspectives on motor learning, memory and control*. (pp. 295-317). Amsterdam. Elsevier Science.
- NEWELL, K.M. (2003) Schema theory (1975): Retrospectives and prospectives. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 74, 373-388
- NITSCH, J.R., NEUMAIER, A., DE MAREES H. Y MESTER, J. (2002). *Entrenamiento de la técnica Barcelona*. Paidotribo.
- OÑA, A.; MARTÍNEZ, M.; MORENO, F.J. Y RUIZ, L.M. (1999) *Control y Aprendizaje Motor*. Madrid. Ed. Síntesis.
- PAVLOV, I. (1927). *Conditioned reflexes: An investigation of the physiological activity of the cerebral cortex*. Oxford: Oxford University Press.
- PRIGOGINE, I. & STENGERS, I. (1984). *Order out of chaos*. New York. Bantam Books.
- RILEY, M.A., & TURVEY, M.T. (2002) Variability and determinism in motor behavior. *Journal Motor Behavior*, 34, 99-125.
- RUIZ, L.M. (1994). *Deporte y aprendizaje: procesos de adquisición y desarrollo de habilidades*. Madrid. Visor.
- RUIZ, L.M. Y SÁNCHEZ, F. (1997) *Rendimiento deportivo. Claves para la optimización de los aprendizajes*. Madrid: Gymnos.
- RUTHEN, R. (1993) Trends in nonlinear dynamics. Adapting to complexity. *Scientific American*, 268:1, 110-117
- SAVION-LEMIEUX, T., & PENHUNE, V. (2005). The effects of practice and delay on motor skill learning and retention. *Experimental Brain Research*, 161, 423-431.
- SCHMIDT, R.A. & LEE, T. (2005). *Motor Control and Learning*. A behavioural emphasis. Illinois. Human Kinetics.
- SCHMIDT, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.

- SCHMIDT, R.A. (2003) Motor schema theory after 27 years: Reflection and implications for a new theory. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 74, 366-375
- SEYLE, H. (1956). *The stress of life*. New York. McGraw-Hill.
- SHEA, C.H., LAI, Q., BLACK, C., & PARK, J. (2000). Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills. *Human Movement Science*, 19, 737-760.
- SHERWOOD, D.E. & LEE, T.D. (2003) Schema theory: Critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning. *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 74, 376-382
- SKINNER, B.F. (1953). *Science and human behavior*. New York. MacMillan.
- STONE, M., H. O'BRYANT, J. GARHAMMER, J. MCMILLAN & R. ROZENEK. (1982). A theoretical model of strength training. *National Strength & Conditioning Association Journal*, 4(4), 36-39
- TURVEY, M. T. (1996). Dynamic touch. *American Psychologist*, 51, 1134-1152.
- ULRICH, B.D. & REEVE, T.G. (2005) Studies in motor behavior: 75 Years of research in motor development, learning, and control. *Research Quarterly for Exercise and Sport* . 76, 2 SUPPL. S62-S70
- VYGOTSKY, L.S. (1932, reimpreso en 1962). *Thought and Language*. (E. Haufmann & G. Vaker, Eds & Trans.) Cambridge, MA: MIT Press.
- WALLACE, S. (1997). *Dynamic Pattern Perspective of Rhythmic Movement: A Tutorial*. en Zelaznik, H.N. (Ed.) *Advances in Motor Learning and Control*. Illinois. Human Kinetics
- WATSON, A.J. & LOVELOCK J.E. (1983). Biological homeostasis of the global environment: the parable of Daisyworld. *Tellus B*, 35 (4), 284-289.
- WATSON, J.B. (1913). Psychology as the behaviourist views it. *Psychological Review*, 20, 158-177.
- WIENER, N. (1948). *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine*. New York. Wiley.
- YAMANASHI, T., KAWATO, M. & SUZUKI, R. (1980). Two coupled oscillators as a model for the coordinated finger tapping by both hands. *Biological Cybernetics*. 37, 219-225.
- ZANONE, P.G. & KELSO, J.A.S. (1992). The evolution of behavioral attractors with learning: Nonequilibrium phase transitions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18, 403-421.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a los profesores Adolfo Aracil y Juan Antonio García por sus comentarios y sugerencias en una primera versión del texto, así como a los revisores de la revista por sus aportaciones y la discusión sugerida de sus comentarios.

