

Tesi doctoral presentada per En/Na

Albert BATALLA FLORES

amb el títol

**"Retroalimentación y aprendizaje motor:
influencia de las acciones realizadas de forma
previa a la recepción del conocimiento de los
resultados en el aprendizaje y la retención de
habilidades motrices"**

per a l'obtenció del títol de Doctor/a en

PEDAGOGIA

Barcelona, 14 de juny de 2005.

Facultat de Pedagogia
Departament de Teoria i Història de l'Educació



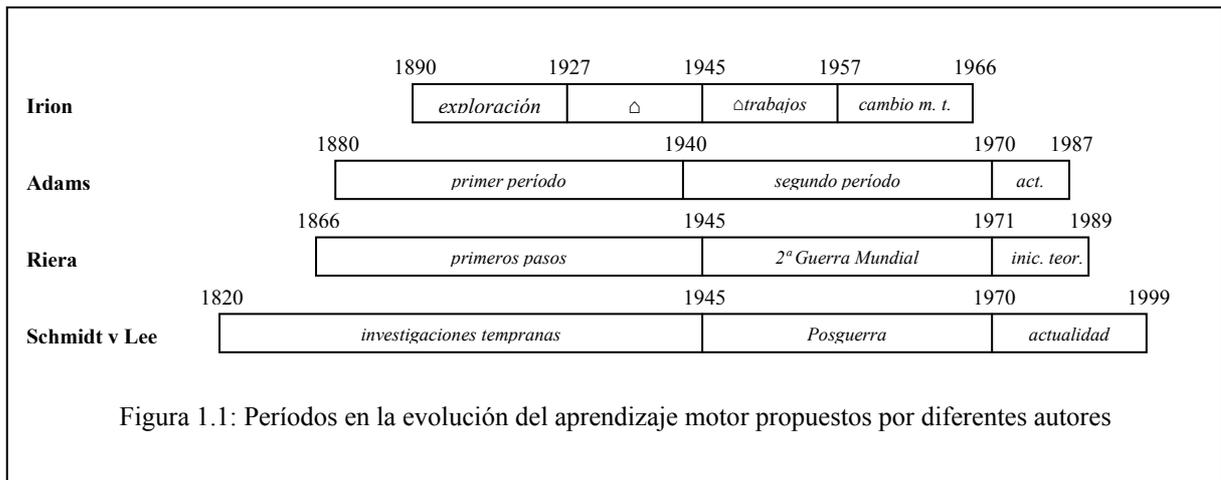
PARTE I

MODELOS TEÓRICOS DE REFERENCIA

CAPÍTULO 1: MARCO HISTÓRICO DE LOS MODELOS

I. PERÍODOS HISTÓRICOS EN EL ESTUDIO DEL APRENDIZAJE MOTOR

En el estudio de la evolución histórica del aprendizaje motor, son diversos los autores que, atendiendo a la relativa coherencia de los trabajos, investigaciones y publicaciones en ellos desarrollados, efectúan una división en períodos (Irion 1969, Adams 1992, Riera 1989, Schmidt y Lee 1999). En la figura 1.1 se presenta una comparación entre los períodos propuestos por los autores antes citados.



Aunque existen diferencias tanto en las fechas de inicio y final de los períodos como en su denominación, es destacable la homogeneidad de las propuestas, lo que puede explicarse si se atiende a la existencia de algunas fechas clave que, de una u otra manera, han determinado la producción científica propia del ámbito que nos es propio:

- a) El nacimiento de la psicología científica.** No sorprende que la mayoría de los autores sitúe el inicio de la historia del aprendizaje motor a mediados/finales del S. XIX, ya que esta es la época en la que se sitúa el nacimiento de la psicología científica, tomándose como referencia la creación por parte de Wundt del

Laboratorio de Psicología Experimental de Leipzig en el año 1879 (Caparrós 1980, García 1988).

b) La 2ª Guerra Mundial. Este gran conflicto bélico comportó, como se explicará más adelante, la formación de personal especializado (pilotos, soldados, técnicos, operarios, etc.) en el menor tiempo posible. Dado el gran componente perceptivo-motor de las tareas para las que se preparaba a este personal, la investigación aplicada al comportamiento motor experimentó, coincidiendo con este hecho histórico, un gran auge.

c) La publicación de la Teoría del Bucle Cerrado (“*closed loop theory*”) de Adams. En 1971, Adams publica lo que para muchos es, si se exceptúan los trabajos de Bernstein, el primer modelo teórico elaborado y consolidado sobre el aprendizaje y el control motor (Adams 1971). Este artículo, además, fue el punto de partida de numerosas publicaciones, investigaciones y teorías, por lo que es lógico que se le considere como un hecho crítico dentro de la historia del aprendizaje motor

Antes de iniciar el repaso de la evolución histórica del aprendizaje motor, creemos oportuno hacer cuatro comentarios o anotaciones:

∄ El primero trata sobre la figura y las aportaciones del científico ruso **Nicolai Bernstein** (1897-1966). Este autor, sobre el que profundizaremos más adelante, elaboró una teoría que ha servido de base para muchos estudios posteriores y que, desde hace algunos años, está cobrando una gran importancia dentro de la perspectiva dinámica - ecológica (en adelante PDE) sobre el aprendizaje motor. El hecho de que no se considere su obra como un factor relevante a la hora de establecer los períodos existentes en la evolución histórica del aprendizaje motor se debe a que la situación geo – política que se vivía en esa época no facilitaba la difusión de los trabajos de los científicos encuadrados en el bloque socialista, por lo que se debieron esperar muchos años para constatar, en el mundo occidental, la trascendencia de sus aportaciones (a pesar de lo dicho, creemos necesario aclarar que este autor ya había sido utilizado como referente en los trabajos de destacados

científicos del llamado “bloque occidental”, como por ejemplo Bruner o el propio Adams).

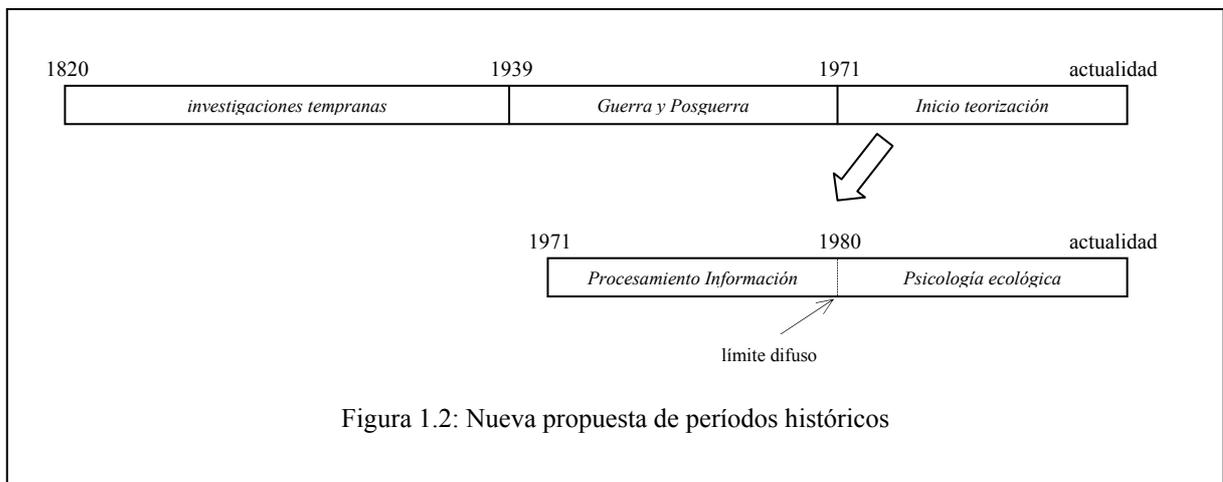
≠ El segundo comentario está relacionado con la fecha indicada por Irion como el inicio del cambio en los referentes teóricos: 1957. Es remarcable la coincidencia de esta fecha con la marcada por muchos autores como el “**nacimiento**” del **enfoque cognitivo en la psicología**: 1956 (Simon, 1987). Aunque este paradigma influyó en los trabajos de algunos autores relacionados con el aprendizaje motor (de entre los que destaca la formulación en la década de 1950 de la famosa “Ley de Fitts”) no deja de llamar la atención que tuvieron que pasar 15 años hasta que este enfoque se tradujera de forma clara, rotunda e inequívoca en la publicación de una teoría específica sobre el aprendizaje motor, la Teoría del Bucle Cerrado de Adams.

≠ El tercer comentario se relaciona con los **ámbitos** desde los que se ha procedido al estudio de la evolución histórica de la disciplina que nos ocupa. Aparte de los autores citados anteriormente, y que se encuadran de lleno en el ámbito del aprendizaje motor, podemos encontrar estudios históricos efectuados desde áreas muy afines como el comportamiento motor (Oña 1994) o desde otras relacionadas de una manera más indirecta, como la psicología del deporte (Cruz y Riera 1991, Cruz y Cantón 1992, Cruz 1997, por citar exclusivamente autores del Estado Español). Es destacable, tal y como comenta Riera (1989), la poca atención que se dedica al estudio de esta área en las obras de psicología general o de psicología del aprendizaje.

≠ Finalmente, el cuarto comentario se refiere al auge sufrido, en las últimas décadas, por la **PDE**. Este hecho, que se comentará con profundidad más adelante, nos mueve a distinguir, dentro del último período, entre dos subperíodos: uno, el primero, en el que los estudios se encuadran en el paradigma del procesamiento de la información, y otro, el segundo, en el que se impone la PDE. Hemos situado el límite entre ambos subperíodos en el año 1980, aunque creemos imprescindible anotar que se trata de una frontera difusa o, si se quiere, borrosa.

Una vez hechos estos comentarios, procederemos a analizar brevemente las características más relevantes de la evolución histórica del aprendizaje motor, distinguiendo, para ello, tres grandes períodos (figura 1.2):

- 1) **Primer período:** *Las investigaciones tempranas*, hasta 1939.
- 2) **Segundo período:** *La 2ª Guerra Mundial y la posguerra*, de 1940 a 1971.
- 3) **Tercer período:** *El inicio de la teorización* o el desarrollo de los modelos teóricos. De 1971 hasta la actualidad. Este período se halla dividido en dos subperíodos: *El auge del Procesamiento de la Información* (aproximadamente desde 1971 hasta 1980) y *La eclosión de la psicología ecológica* (aproximadamente desde 1980 hasta nuestros días).



II. PRIMER PERÍODO: LAS INVESTIGACIONES TEMPRANAS

Se trata de un período en el que se desarrollan diferentes trabajos e investigaciones relacionados con el aprendizaje motor sin que exista, excepto en algún caso aislado y de influencia prácticamente despreciable, intento alguno de abordar la elaboración de modelos teóricos explicativos (Cruz 1997). Otra característica común, no sólo a las producciones propias de este período sino también a las del período siguiente, es la falta de relación existente entre la perspectiva psicológica y la fisiológica a la hora de estudiar el comportamiento motor (Schmidt y Lee 1999). Con ello queremos decir que entre el estudio relacionado con las habilidades motrices (perspectiva psicológica) y el estudio de sus bases neurológicas (perspectiva fisiológica) no se produce ninguna conexión, desarrollándose ambas de forma absolutamente independiente, con la excepción de los trabajos de Bernstein, que serán analizados más adelante.

Los primeros trabajos de este período, realizados durante el S. XIX, se caracterizan, por un lado, en fundamentarse en la introspección (cosa nada extraña si tenemos presente que éste era el método más utilizado en esa época dentro de la investigación psicológica), y por otro lado, en utilizar las habilidades motrices como una vía de acceso al conocimiento del funcionamiento de la mente (Caparrós 1980, García 1988, Schmidt y Lee 1999). Algunos ejemplos de los estudios realizados en estos primeros años los encontramos en las investigaciones del astrónomo Bessel (llevadas a cabo en 1820), de Fitz (realizadas en 1845 y, como las primeras, centradas en estudio del tiempo de reacción), las de Bowditch y Southard (quienes en 1882 estudiaron el control visual en los movimientos de las manos) o las de Fullerton y Cattell (que versaron sobre la capacidad de reproducción de niveles de fuerza) (ver Adams 1992, Cruz 1997, Schmidt y Lee 1999).

Cruzado el umbral del S. XX se produce un cambio en la orientación de las producciones científicas, ya que estas se vuelven más sistemáticas y objetivas a la vez que las habilidades motrices se constituyen como el objeto de estudio per-se, y no sólo como una vía para acceder a otras funciones mentales (Schmidt y Lee 1999). Para resumir los trabajos realizados nos remitiremos al interesante estudio de Adams (1992) y, como él, agruparemos las investigaciones según su tema central:

a) Las curvas de aprendizaje

La forma de las curvas de aprendizaje y sus condicionantes, es decir el ritmo con el que se producen los aprendizajes, fue uno de los temas de estudio más presentes en el primer período, destacando las investigaciones que Bryan y Harter realizaron en los años 1897 y 1899 sobre el aprendizaje de la telegrafía. Uno de los aspectos que más interesó a los científicos de la época fue la presencia, en la mayoría de los procesos de aprendizaje de habilidades complejas, de mesetas o períodos sin aumento visible en el rendimiento (ver Schmidt y Lee 1999).

b) El conocimiento de los resultados (en adelante CR)

No se puede hacer referencia a este objeto de estudio sin hablar de los trabajos de Thorndike (1874-1949), auténtico padre del aprendizaje instrumental y responsable de la formulación de la ley del efecto (Thorndike 1927), fundamentada en el aprendizaje por ensayo y error. Las aportaciones de este autor, claramente encuadrado en el paradigma asociacionista, remarcan el papel del CR

en el aprendizaje, si bien éste adopta, bajo el punto de vista de Thorndike, un rol más cercano al de reforzador que al de suministrador de información relevante para la resolución de la tarea.

c) La distribución de la práctica

Claramente enfocados hacia la optimización de la producción industrial, se desarrollaron diferentes estudios relacionados con este tema. Si bien en un principio se llegó a la conclusión que la práctica distribuida era más efectiva que la masiva, la distinción introducida por Tolman en 1940 entre rendimiento y aprendizaje, llevó a reconsiderar esta afirmación, demostrándose que la práctica masiva afectaba más negativamente al rendimiento (efecto contextual ligado a la fatiga) que al aprendizaje a largo plazo.

d) La transferencia entre aprendizajes

Se trata de un tema crucial en los estudios sobre aprendizaje, no sólo en este primer período sino también en la actualidad. Aunque muchos autores estudiaron este fenómeno durante el primer período (Judd, Hunter, McGeoch, etc.) son destacables las aportaciones de Thorndike y Woodworth, quienes oponiéndose a una psicología de las facultades, formularon la teoría de los elementos idénticos, según la cual la transferencia entre los aprendizajes de dos habilidades era una consecuencia directa de la similitud de los elementos constituyentes de una y otra, de tal manera que, a mayor número de elementos comunes, mayor era la tasa de transferencia que se iba a producir (ver Caparrós 1986, García 1988).

e) La retención

Diversos autores estudiaron la retención, tanto a corto plazo (Hollingworth) como a largo plazo (Bean, Book, Hill, Thorndike). Una de las conclusiones más importantes a las que se llegó fue que las habilidades motrices se retienen de forma más duradera que otros aprendizajes como, por ejemplo, los de carácter verbal (ver Adams 1992).

f) Las diferencias individuales

Los escasos estudios realizados sobre este tema tuvieron resultados heterogéneos, por lo que es imposible llegar a una conclusión común. Es necesario destacar los trabajos de Woodrow sobre el análisis factorial del aprendizaje y del rendimiento, que, en cierta manera, suponen un antecedente para las investigaciones de Fleishman (ver Fleishman 1982).

g) Otros aspectos investigados

Aunque Adams no las incluya en su revisión histórica, creemos que es importante hacer referencia a las investigaciones realizadas durante este período sobre el tiempo de reacción. Además de las investigaciones llevadas a cabo por el astrónomo Bessel a principios del S. XIX se deben citar otras posteriores como las desarrolladas por Fitz en la última década del S. XIX, las de Rudik en 1925 o las de Miles a lo largo de la segunda y tercera década del S. XX. Igualmente es necesario referirse a los trabajos más generales relacionados con los métodos de aprendizaje de las habilidades motrices, como los de Klem, Starch o Murphy o a los relativos a la psicología del deporte, realizados por autores como Giese, Sippel, Schulte o Coleman Griffith. Por otro lado, en el campo de la fisiología del acto motor destacan las aportaciones de Sherrington (1857-1952) autor de numerosos y trascendentes trabajos sobre los actos reflejos o la propiocepción. Finalmente, es oportuno hacer referencia al nacimiento, en esta época y gracias a las aportaciones de autores tan importantes como Bayley o Spence, de una disciplina que muestra muchos puntos de contacto con la del aprendizaje motor: el estudio del desarrollo motor (ver Cruz 1997, Schmidt y Lee 1999).

III. SEGUNDO PERÍODO: LA GUERRA Y LA POSGUERRA

Se trata de un período en el que se produce un gran aumento en los trabajos e investigaciones relacionados con el aprendizaje motor. La razón principal de este impulso cabe buscarla en la 2ª Guerra Mundial y, más concretamente, en la necesidad de seleccionar y formar personal especializado en tareas con un fuerte componente perceptivo-motor, como el pilotaje de aviones, el manejo de armamento, la conducción de vehículos, el control de maquinaria, etc. (Adams 1992, Cruz 1997, Ruiz 1994a, Schmidt y Lee 1999). Para solventar esta necesidad, se invirtieron fuertes cantidades de dinero, hecho que atrajo a numerosos profesionales de la psicología hacia el campo del aprendizaje motor. Esta tendencia no cesó con el fin del conflicto bélico, sino que se mantuvo hasta muchos años después (Ruiz 1994a, Schmidt y Lee 1999).

En un principio la investigación se centró en la selección del personal idóneo para desarrollar las diferentes funciones requeridas, destacando el “Programa de Evaluación

Psicomotriz de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos de América” dirigido por Arthur Melton y en el que Edwin Fleishman (ver Fleishman 1982) desarrolló sus estudios sobre diferencias individuales y capacidades. Sin embargo, los programas de selección de personal no dieron los frutos deseados y el interés de las investigaciones se fue desplazando progresivamente a la formación y el entrenamiento de los técnicos, analizándose aspectos como los métodos de enseñanza, la retención, la transferencia, etc. (Cruz 1997)

A partir de mediados de la década de los 60 se producen algunos hechos que van a afectar profundamente el curso de las investigaciones sobre aprendizaje motor . Por un lado disminuye progresivamente el interés de los estados por las investigaciones relacionadas con el aprendizaje motor, lo que implica una disminución de las subvenciones concedidas a este tipo de trabajos. Paralelamente el estudio en otros ámbitos de la psicología del aprendizaje (fundamentalmente el aprendizaje verbal) experimenta un importante incremento. Finalmente, se produce, en esta época, un desencanto con los marcos teóricos que habían servido de referencia a los estudios sobre aprendizaje motor, fundamentalmente la teoría de Hull (Caparrós 1980, García 1988). La combinación de estos factores origina un descenso gradual del interés de los psicólogos hacia el comportamiento motor. A pesar de esto, algunos psicólogos no abandonan este área de estudio, destacando los trabajos de autores como Fitts y Peterson, Bilodeau, Adams, Keele o Pew (Schmidt y Lee 1999).

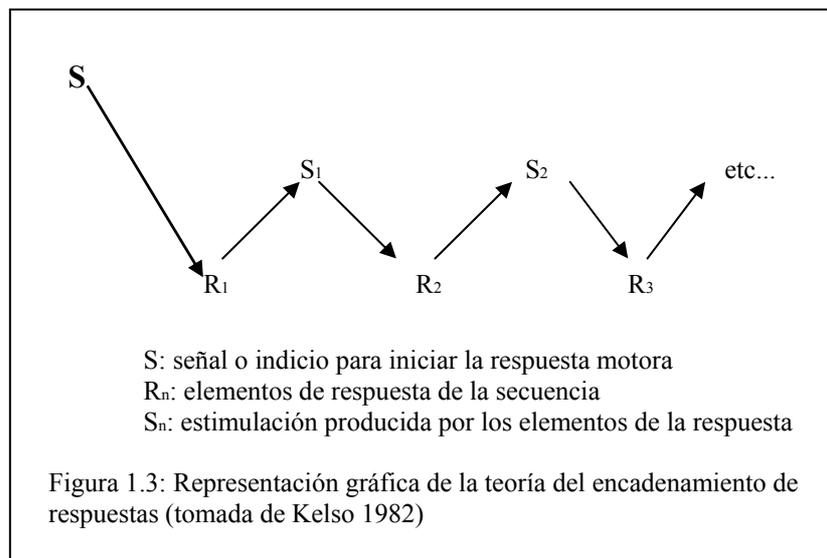
Este relativo abandono del aprendizaje motor por parte de la psicología se compensa, según indica Cruz (1997), con la creación, en las facultades e institutos de Educación Física, de la asignatura de Aprendizaje Motor, pudiendo afirmarse que los profesionales de la Educación Física toman el relevo de los psicólogos en el estudio del aprendizaje de las habilidades motrices. En este sentido, es necesario destacar las aportaciones de Franklin Henry (considerado como el padre de la investigación en conducta motriz aplicada a la Educación Física), los diversos libros que se editaron en esta época (Cratty 1964, traducido al castellano en 1982, o Lawther 1968, traducido al castellano en 1978), la creación de sociedades como la NASPSA (“*North American Society for the Psychology of Physical Activity and Sport*”) o la edición de publicaciones periódicas como “*Perceptual and Motor Skills*”, “*Journal of Motor Behavior*”, “*Journal of Human Movement Science*” o “*Research Quarterly for Exercise and Sport*”. Dentro de esta

misma línea pero en el continente europeo, debe citarse la reorganización del Instituto de Cultura Física de Leipzig, la publicación de la obra de Meinel (traducida al castellano en 1987) o, en el Reino Unido, los importantes trabajos de Welford y la publicación de la obra de Barbara Knapp (1963, traducida al castellano en 1981) (Ruiz 1994a, Cruz 1997, Schmidt y Lee 1999).

Otro aspecto relevante es la emergencia, a mediados de la década de los 50, de un conjunto de investigaciones y trabajos fuertemente influenciados por la cibernética de Wiener y la teoría sistemática de la información de Shannon y Weaver. Así, destacan los trabajos de Poulton sobre la anticipación o los de Fitts sobre el tiempo de reacción (ver Schmidt y Lee 1999, Simonet 1986).

Finalmente, es necesario hacer referencia a los estudios sobre control motor efectuados bajo una perspectiva neuro-fisiológica. Siguiendo a Schmidt y Lee (1999) podemos afirmar que los avances más significativos en este campo se dan en el conocimiento de los mecanismos músculo-espinales, de los receptores sensoriales asociados con la cinestesia y la percepción del movimiento, de la naturaleza del músculo y de las características de la contracción muscular. A excepción de la antigua URSS, toda esta línea de investigación se desarrolla al margen de un enfoque psicológico, por lo que sus resultados afectan poco a aquellos directamente relacionados con el estudio del aprendizaje y el control motor.

Antes de revisar brevemente las principales líneas de investigación propias de este período, creemos oportuno hacer referencia a lo que se puede considerar como uno de los primeros modelos teóricos explicativos del aprendizaje motor: la teoría del encadenamiento de respuestas (figura 1.3). Derivada del funcionalismo de James y con claras influencias del asociacionismo elementista de Guthrie, esta teoría sostiene que cada elemento de la respuesta está originado por el estímulo resultante de la ejecución del elemento anterior, por lo que, al conseguir, mediante la práctica, vincular asociativamente los elementos, la secuencia motriz se efectúa de manera suave y armónica (Ruiz 1994a, Kelso 1982).



¿Cuáles fueron las principales líneas de investigación de este período? De nuevo siguiendo a Adams (1992), podemos resaltar las siguientes:

a) Estudios e investigaciones relacionados con el CR

Con un marcado carácter empírico e influenciadas por Thorndike y su “ley del efecto” (Thorndike 1927), estas investigaciones llevaron a demostrar que el CR mejoraba el rendimiento y el aprendizaje. A este hecho se le atribuyeron dos explicaciones fundamentales. La primera, de corte asociacionista, identificaba el CR con el refuerzo de la conducta, con lo que explicaba la mejora del rendimiento en términos de fortalecimiento en la relación estímulo - respuesta. La segunda se situaba en una perspectiva motivacional. Hacia el final del período, la emergencia de modelos cognitivos e informacionales, llevó a considerar que el CR colaboraba en la elaboración de imágenes mentales cuya función era guiar la ejecución de la respuesta.

b) Estudios e investigaciones relacionados con la distribución de la práctica

Claramente influenciadas por la teoría de Hull, más concretamente por los constructos relacionados con la inhibición (tanto la reactiva como la condicionada), los resultados de las investigaciones sobre distribución de la práctica llevaron a aconsejar la práctica distribuida frente a la masiva. Sin embargo, estudios posteriores diferenciaron entre rendimiento y aprendizaje, y demostraron que, si bien la práctica masiva afectaba negativamente al rendimiento, no tenía los mismos efectos sobre el aprendizaje.

c) Estudios e investigaciones relacionados con la transferencia

Durante este período se analizaron fenómenos como el de la transferencia retroactiva o el de la mediación verbal en el aprendizaje motor. Igualmente, Adams (1992) incluye dentro de esta línea de trabajo las investigaciones relacionadas con la influencia de la práctica global o analítica (entrenamiento total o parcial en palabras de este autor) en el aprendizaje de las habilidades. Por regla general, los resultados de estas investigaciones aconsejaban la utilización de la práctica global aunque se reconoció la utilidad de la práctica analítica en determinadas circunstancias (habilidades muy complejas, situaciones de peligro, etc.)

d) Estudios e investigaciones relacionados con la retención

En lo referido a la retención a corto plazo se realizaron investigaciones sobre el recuerdo de ítems verbales y motores que llevaron a formular, a finales de la década de los 50 y bajo la emergente perspectiva cognitiva, la diferencia entre memoria a corto plazo y memoria a largo plazo. En otro orden de cosas los resultados de las investigaciones (caracterizados por su poca homogeneidad) parecían indicar, por un lado, que las habilidades motrices eran más persistentes que las verbales y, por otro, que las habilidades continuas mostraban índices de retención superiores a las habilidades discretas.

e) Estudios e investigaciones relacionadas con las diferencias individuales

La necesidad de selección de personal para cubrir puestos especializados motivada primero por la 2ª Guerra Mundial y posteriormente por las demandas de una industria cambiante y creciente, impulsó la realización de estudios e investigaciones relacionados con las diferencias individuales y las capacidades. Con el precedente de los trabajos de Seashore, quien en la década de los 40 intentó, sin éxito, hallar una serie de capacidades subyacentes al rendimiento motor humano, la figura que destaca por méritos propios en este ámbito es Edwin Fleishman (ver Fleishman 1982). Este investigador formó parte del centro de investigación en recursos humanos del laboratorio de investigaciones sobre las habilidades perceptivas y motrices, e investigó sobre las diferencias individuales y su relación con el aprendizaje, efectuando un análisis factorial del rendimiento que tuvo importantes repercusiones (Peterson y Bownas 1982). Creemos necesario aclarar que las aportaciones de Fleishman han caído, en la actualidad, prácticamente en el olvido.

CAPÍTULO 2: MARCO CIENTÍFICO DE LOS MODELOS: EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

I. ORÍGENES E INFLUENCIAS

El procesamiento de la información (en adelante PI) se inscribe en un paradigma psicológico conocido como psicología cognitiva que, a su vez, es tributario de un enfoque científico más amplio: la ciencia cognitiva. En este apartado analizaremos brevemente cuales son sus orígenes y que influencias han contribuido a determinar sus características fundamentales.

La Ciencia Cognitiva es una disciplina creada a partir de una convergencia de intereses (en su génesis y desarrollo participan científicos y profesionales provenientes de la psicología, la lingüística, las neurociencias, la informática o la matemática) y cuya meta es comprender los principios de la conducta cognitiva de los sistemas inteligentes, sean estos reales o abstractos, humanos o mecánicos. Entendida como un caso concreto de esta rama científica, la psicología cognitiva estudia los procesos cognitivos humanos, utilizando para ello una metodología experimental y partiendo del supuesto fundamental de que las personas poseen representaciones mentales con eficacia causal (Norman 1987, Bajo y Cañas 1991, Pozo 1996a).

Dentro de la psicología cognitiva deben distinguirse dos grandes corrientes o vías de desarrollo, entre las que existen muy pocos puntos reales de contacto (Pozo 1996a): la perspectiva europea y la perspectiva americana. Dentro de la primera, destacan autores como Bartlett, Piaget o Vygotsky, quienes, a partir de la década de los 30 del siglo pasado, basaron sus trabajos en supuestos cognitivos claramente constructivistas. Por su parte, la perspectiva americana (que es la que más nos interesa atendiendo a las características de este trabajo y que será a la que nos referiremos a partir de este momento) se sitúa en su práctica totalidad bajo los auspicios de lo que se ha venido a

denominar como el “Procesamiento de la Información”. Es necesario aclarar que, a diferencia de la perspectiva americana, la perspectiva europea no puede situarse, por motivos cronológicos y de fundamentación teórica y metodológica, dentro de la influencia de la ciencia cognitiva.

Es difícil establecer claramente cual es el origen de la psicología cognitiva, aunque se suele considerar que ésta “nace” en 1956. La elección de esta fecha radica, por un lado, en la celebración del Segundo Congreso de Teoría de la Información en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y, por otro, en la publicación de diferentes trabajos (por ejemplo los de Chomsky; Miller; Bruner, Goodnow y Austin; Newell y Simon) que determinaron de manera substancial el futuro desarrollo de este enfoque (ver Simon 1987, Pozo 1996a, Bruner 1998).

El supuesto fundamental de este paradigma psicológico consiste en considerar la mente como un sistema manipulador de símbolos y, como consecuencia de lo anterior, en entender que la actuación de las personas está determinada por las representaciones que elabora o ha elaborado. En palabras de Norman (1987 p. 15) *“La esencia de un sistema cognitivo es ser un procesador de símbolos”*. Según el PI, estas representaciones se reducen a algún tipo de cómputo, tal y como afirma Norman (op cit p. 16) *“Un símbolo está en lugar de otra cosa,..., los procesos cognitivos operan a través de la manipulación, la transformación y la combinación de símbolos,..., que representan experiencias, significaciones, percepciones y acciones”*. Llegados a este punto es necesario remarcar que este enfoque (el PI) utiliza, para explicar la mente, la analogía con el ordenador, siendo común diferenciar dos grandes tendencias (Pozo 1996a):

- a) La versión débil del PI, que utiliza el funcionamiento de los ordenadores simplemente como una imagen o, mejor, una metáfora, del funcionamiento mental humano.
- b) La versión fuerte del PI, que considera que la mente y el ordenador funcionan, en sus aspectos fundamentales, de la misma manera, por lo que el segundo puede servir como explicación del funcionamiento de la primera.

¿Cuáles son los factores que propiciaron el nacimiento y expansión del paradigma cognitivo dentro de la psicología? Normalmente se distinguen cuatro aspectos fundamentales:

a) El agotamiento del modelo conductista,

Este modelo, debido a las limitaciones que imponían sus reduccionismos (antimentalismo, ambientalismo y asociacionismo extremos, etc.) fue, progresivamente, incapaz de dar respuestas efectivas a los problemas que planteaba la investigación psicológica. Sin embargo, es necesario aclarar que, según diversos autores, el PI considerado en su conjunto no ha llegado a suponer una superación clara, efectiva y real de las limitaciones del paradigma que se propuso reemplazar, sino que simplemente ha efectuado una *“reinterpretación computacional de la tradición asociacionista”* (Fodor 1986, p. 54).

b) Los cambios científicos y tecnológicos

La revolución científica y, sobre todo, tecnológica que vivieron las sociedades desarrolladas a partir de mediados del S XX y en la que aún nos hallamos inmersos, es uno de los detonantes de la génesis y expansión del paradigma que nos ocupa. Esta revolución tecnológica se vio, en parte, impulsada por el desencadenamiento de la 2ª Guerra Mundial y sus consecuencias (“Guerra fría”) y, además de propiciar el desarrollo de la informática (que como hemos visto anteriormente ha tenido una gran influencia en la génesis y evolución del PI) enmarca el desarrollo de las dos corrientes científicas que trataremos a continuación: la Teoría de la Información y la Cibernética.

c) La Teoría de la Información.

Se puede considerar a Shanon y Weaver como los padres de esta teoría, caracterizada por tener una gran influencia matemática y que define información como el grado de reducción de la incertidumbre (Legge y Barber 1978, Simonet 1986). Creemos oportuno resaltar que se trata de una teoría muy compleja y con un enfoque original de una gran especificidad, por lo que sus aplicaciones corren en riesgo de malinterpretarla si no se efectúan con el rigor debido. En palabras de Tremblay:

“Toda referencia a esta teoría debe (...) ser prudente. Es una teoría matemática en la que los conceptos, los métodos, el campo y las condiciones de aplicación están rigurosamente definidos. Toda analogía rápida, en particular dentro del estudio de la comunicación humana, corre el riesgo de convertirse en una caricatura de la Teoría de la Información” (tomado de Simonet 1986, p. 41).

d) La Cibernética.

La cibernética, de la cual Norbert Wiener es uno de los autores más destacados, es una ciencia claramente interdisciplinar, en la que convergen aportaciones provenientes de la lógica, la informática, la electrónica o la neurofisiología entre otras disciplinas científicas. Dentro de ella cabe destacar, por la influencia que ejerció sobre el tema que nos ocupa, la Teoría de los Sistemas (Von Bertalanffy). Se han definido los sistemas como conjuntos de elementos que se relacionan y actúan los unos con y sobre los otros con la finalidad de cumplir una tarea o, si se quiere, de alcanzar un objetivo. Decir que los elementos del sistema interactúan unos con otros, supone entender que el todo es más que la suma de las partes y, consecuentemente, que el funcionamiento del sistema no puede entenderse a partir del estudio aislado del funcionamiento de cada uno de sus componentes.

II. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL MODELO DEL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Tal y como indica su título, en este apartado se analizarán los aspectos fundamentales del modelo de PI entendido como el marco teórico en el que se han formulado diferentes teorías sobre el aprendizaje en general y sobre el aprendizaje motor en particular.

II.1. ASPECTOS DETERMINANTES DEL PARADIGMA DEL PI

¿ Cuáles son los aspectos que determinan el PI como modelo o paradigma en el que se inscriben y desarrollan las diferentes teorías sobre el aprendizaje que analizaremos en este trabajo? Para responder a esta cuestión utilizaremos la estructura y las aportaciones de Pozo (1996a) quien, a su vez, se fundamenta en Kuhn al diferenciar el “núcleo central” y el “cinturón protector” del PI como programa de investigación (Según Kuhn, el “núcleo central” está constituido por aquellas características que son inherentes al

programa y que lo definen, mientras que el “cinturón protector” recoge aquellas que, aunque frecuentemente se hallan reflejadas en los diferentes modelos que acoge el programa, no constituyen un aspecto necesario de éste)

Para que un modelo teórico pueda considerarse que pertenece al PI, debe cumplir los siguientes requisitos.

a) Existencia de representaciones mentales con eficacia causal.

Tal y como recoge Pozo (1996a) “... *el conductismo, como enfoque asociacionista y mecanicista, sitúa el motor de la conducta fuera del organismo,... El aprendizaje siempre es iniciado y controlado por el ambiente*” (p. 28). El PI intenta cambiar esta concepción, al afirmar que son las representaciones mentales las que determinan la acción del sujeto. En este sentido, nos parece muy aclaradora la sentencia de Fodor (1986) “*la estructura de la conducta guarda la misma relación con la estructura de la mente que la de un efecto con su causa*” (p. 21).

b) Descomposición de los procesos cognitivos.

Los procesos cognitivos pueden descomponerse en otros más simples y que actúan, en cierta forma, como sus componentes. En este sentido, la afirmación de Palmer y Kimchi (recogida por Pozo 1996a p. 45) es reveladora “*cualquier hecho informativo unitario puede describirse de modo más complejo en un nivel más específico (o “inferior”) descomponiéndolo en sus hechos informativos más simples*”. Así, los procesos cognitivos son considerados como una sucesión de transformaciones de representaciones mentales las cuales son reducibles a concatenaciones de conjuntos increíblemente reducidos de operaciones básicas (Fodor 1986) o, si se quiere, de unidades o elementos cada uno de los cuales tiene una duración determinada y representa un coste atencional (aunque estas últimas afirmaciones podrían matizarse teniendo en cuenta que el tratamiento de la información puede realizarse en serie o en paralelo así como de manera automática o controlada)

c) El carácter sintáctico de la relación entre los elementos.

Estos elementos citados en el punto anterior, se relacionan entre sí mediante reglas formales de carácter sintáctico, es decir, al margen de su significado o contenido semántico. Este aspecto va a tener una gran trascendencia a la hora de

proponer modelos explicativos y, en cierta manera, va a contribuir a impedir que el PI suponga, realmente, una superación efectiva del programa conductista (Pozo 1996a).

II.2. ASPECTOS IMPORTANTES PERO NO NECESARIOS PARA DEFINIR EL PARADIGMA DEL PI

Además de los aspectos citados con anterioridad, es frecuente que los modelos encuadrados en el PI presenten las siguientes características

a) La existencia de teorías sobre la memoria.

Este hecho es lógico si se atiende, por un lado a las influencias de la informática sobre el PI y, por otro lado, a la necesidad de disponer de unas estructuras que permitan no sólo almacenar la información, sino también procesarla (Lindsay y Norman 1983, Newell 1987).

b) El papel activo del sujeto

El PI otorga un papel activo al sujeto, cuya conducta no está guiada de manera exclusiva por el ambiente, sino que el control de esta surge, como mínimo, de la interacción que se establece entre sus variables propias y las específicas de la tarea o situación contextual en la que se halla.

III. COMPONENTES DE LOS SISTEMAS COGNITIVOS

Resumiendo lo dicho hasta el momento, podemos afirmar que los modelos encuadrados en el PI consideran la mente, o como mínimo el funcionamiento cognitivo, como un sistema manipulador y transformador de símbolos. Estos símbolos pueden representar, no sólo objetos, sino también eventos, situaciones, acciones, relaciones e incluso las propias operaciones efectuadas. Para poder realizar las transformaciones antes citadas, el sistema debe incluir, los siguientes elementos (Newell 1987, Bajo y Cañas 1991)

- ∉ Una entrada y una salida que le permitan relacionarse con el ambiente
- ∉ Unas estructuras de memoria que le permitan almacenar los símbolos
- ∉ Unos procesos que reciben, como entrada, unos signos y, producen, como salida y tras haberlos transformado, otros signos

≠ Un control sobre la conducta que acceda, evoque e interprete las entradas y salidas de los procesos antes citados

De acuerdo con lo que hemos expuesto hasta ahora, y siguiendo a Bajo y Cañas (1991), podríamos concluir que para estudiar los sistemas de PI, hay que analizar, al menos, tres aspectos: Las estructuras que permiten el almacenamiento de la información, las representaciones del conocimiento (o, si se quiere, la manera en que la realidad se representa mediante símbolos) y los procesos que actúan sobre las estructuras y que, en último término, son los responsables directos de la actuación del sistema.

a) Las estructuras de los sistemas cognitivos

Dentro de los sistemas cognitivos, las estructuras, denominadas por algunos autores como “arquitectura funcional del sistema” (Bajo y Cañas 1991) supondrían su parte fija y común, es decir, aquellas funciones cognitivas que se mantienen de una situación a otra y de un individuo a otro. Algunos autores (ver Bajo y Cañas 1991) consideran que estas estructuras son funciones implementadas en el medio biológico, de tal manera que serían impenetrables e inalterables por aspectos cognitivos, aunque es necesario aclarar que no todas las opiniones concuerdan en este aspecto.

Dentro del PI, la estructura más estudiada ha sido la memoria (Bajo y Cañas 1991, Pozo 1996a), cuya función es la retención y el manejo de la información. Si se analizan diferentes modelos pertenecientes al PI, se pueden hallar descripciones de numerosos tipos de memoria, diferenciados bien según el tipo de información almacenada (procedural, declarativa episódica, declarativa semántica, etc.), bien según el tiempo de permanencia de ésta (registro sensorial inmediato, memoria a corto plazo y memoria a largo plazo).

Aunque la forma con la que se han establecido estos constructos teóricos ha sido el método experimental (cuya característica deseada es la objetividad) son muchos los autores que, desde dentro y desde fuera de la perspectiva cognitiva, disienten de las conclusiones extraídas criticando, justamente, las condiciones experimentales utilizadas. Estas críticas, por ejemplo, llevan a dudar del carácter estructural de la memoria, aceptándose el hecho de que, lejos de ser “opaca” a

otros procesos cognitivos, está fuertemente influenciada por estos y que, por este motivo, debería ser contemplada más como un proceso que como una estructura. Sea como sea, creemos que es útil diferenciar entre estos tipos de memoria aunque solo sea, como afirma Anderson (recogido por Bajo y Cañas 1991) para utilizarlos como una metáfora del funcionamiento mental humano, que nos permita conceptualizar el sistema de procesamiento de la información como un sistema que trabaja con informaciones diferentes de maneras diferenciadas.

b) La representación del conocimiento

Si partimos de la idea de que la psicología cognitiva considera la mente como un sistema manipulador de símbolos y que un símbolo se puede definir como algo que está en lugar de otra cosa, representándola, podremos comprender porqué uno de los temas fundamentales de este enfoque psicológico ha sido el estudiar cómo se representa el conocimiento. Estas representaciones son modelos que recogen los aspectos significativos de los objetos en función de los intereses del sistema, pudiéndose, de esta manera, hablar de dos mundos funcionalmente diferentes: el mundo representado y el mundo representante, o lo que es lo mismo, la realidad y sus símbolos (Newell 1987, Bajo y Cañas 1991).

Prácticamente, cada modelo en concreto ha efectuado una propuesta de cómo se representa la realidad: cálculo de predicados, redes semánticas, listas de atributos, representaciones analógicas, etc. Una de las formas de representación más utilizadas y que más repercusión ha tenido en el campo del aprendizaje motor, los esquemas, será objeto, en un apartado posterior, de un tratamiento específico.

c) Los procesos del sistema

Una vez analizadas las estructuras y las formas de representación de la realidad, le llega el turno a los procesos del sistema que, tal y como hemos comentado anteriormente, dependen de la interacción entre el sujeto y las características de la tarea a la que se enfrenta.

Bajo y Cañas (1991) diferencian tres grandes tipos de procesos básicos. En primer lugar estarían los **procesos de entrada**, que incluirían el tránsito y el procesamiento de la información desde los receptores sensoriales hasta, si es el

caso, la memoria a largo plazo, es decir, la incorporación de información al sistema. Otro tipo de procesos estaría constituido por los **procesos de salida**, que implicarían la recuperación de la información desde la memoria a largo plazo hasta otras estructuras más funcionales, normalmente la memoria de trabajo. No sólo se trataría, pero, de procesos de recuperación de la información, sino que, como su nombre indica, incluirían la generación de las respuestas o acciones del individuo. Finalmente tendríamos los **procesos de control** que permitirían al sistema decidir qué procesos desarrollar, es decir, enfocar o priorizar los recursos disponibles. Dado que, tradicionalmente se ha considerado que el sistema posee una capacidad limitada, estos procesos se han relacionado con la atención, entendida como la posibilidad de controlar y distribuir la capacidad disponible del sistema en cada momento.

Además de estos procesos, que podrían catalogarse como simples, se dan en el sistema otro tipo de procesos más complejos encaminados hacia la comprensión, el razonamiento o la solución de problemas. No vamos a efectuar una descripción general de estos procesos complejos, sino que sólo nos fijaremos en ellos de manera específica a la hora de explicar el control de la conducta motriz.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LOS MODELOS

I. LA TEORÍA DEL BUCLE CERRADO DE ADAMS

La publicación de la Teoría del Bucle Cerrado de Jack Adams (1971) fue una auténtica revolución en el campo del aprendizaje motor ya que supuso, como mínimo en el bloque “occidental”, la primera formulación de un modelo teórico explicativo de los procesos que subyacen al aprendizaje de las habilidades motrices. Debe tenerse presente que aunque Bernstein publicó la mayoría de sus trabajos mucho antes que Adams, su pertenencia a la Unión Soviética y las condiciones sociopolíticas propias de la época, dificultaron su difusión en el denominado bloque capitalista. Aún y así, en la introducción a su teoría, Adams hace referencia en diferentes ocasiones a los trabajos tanto de Bernstein como de alguno de sus seguidores más importantes.

En las líneas que siguen efectuaremos un breve análisis del modelo propuesto por Adams. Para ello, comenzaremos comentando sus antecedentes y principales influencias y, posteriormente, explicaremos el desarrollo de los aspectos centrales de la teoría.

I.1 ANTECEDENTES E INFLUENCIAS

En este primer apartado veremos como la Teoría del Bucle Cerrado supone, o mejor intenta suponer, una reacción contra algunos de los supuestos básicos del conductismo en el estudio del aprendizaje motor. Destinaremos la primera parte de este apartado a analizar en que aspectos intentó, la teoría de Adams, superar la propuestas conductistas. Como es lógico, si se atiende a la fecha de publicación de la teoría que nos ocupa, esta superación de los presupuestos conductistas se efectuó dentro del marco de la psicología cognitiva y, más concretamente, desde el PI, por lo que nos entretendremos en destacar aquellos aspectos de la teoría más relacionados con esta corriente psicológica. Finalmente, analizaremos algunos de los antecedentes más directos de esta teoría.

I.1.1. La Teoría del bucle cerrado como un intento de superación de las posiciones conductistas

En la introducción del artículo en el que Adams dio a conocer su Teoría del Bucle Cerrado, encontramos numerosas muestras de su intento de proponer un modelo científico que superara algunas de las limitaciones más importantes que el conductismo, y más concretamente la Ley del Efecto de Thorndike, había impuesto en el estudio del aprendizaje motor.

En primer lugar, Adams reacciona contra el carácter exclusivamente empírico y, por tanto ateorético, de las aproximaciones conductistas al aprendizaje motor, intentando establecer un modelo que explique, no sólo qué condiciones de práctica son las más favorables para aprender una habilidad motriz sino, sobre todo, cuales son los procesos que subyacen a este aprendizaje.

Otro punto en el que Adams pretende superar la tradición conductista es en lo que Pozo (1996a) denomina la “equipotencialidad”. En palabras de Adams (1971) “... *uno tiene la tentación de afirmar que el refuerzo funciona de la misma manera en las ratas y en las personas, y que las leyes del aprendizaje animal y las del humano son las mismas. Esto, por supuesto, podría ser cierto y entonces tendríamos una ciencia más sencilla, pero también puede ser falso*” (p. 114).

Finalmente, aunque muy relacionado con el punto anterior, Adams no estaba de acuerdo con el modelo E-R o, como mínimo, con el carácter automático y no-cognitivo del aprendizaje en los humanos: (refiriéndose al aprendizaje) “*las personas hablamos con nosotros mismos, formamos hipótesis y nos instruimos a nosotros mismos, lo que, ..., no sigue el modelo E-R, ..., que enfatiza la naturaleza automática y no cognitiva del aprendizaje. El dominio cognitivo es la diferencia fundamental entre el hombre y los animales inferiores y se hace difícil plantear las leyes del aprendizaje humano al margen de él*” (Adams 1971, p. 114).

Este intento de superar los puntos de vista del conductismo se estructura, como se ha comentado anteriormente, desde los postulados propios de la psicología cognitiva y, más concretamente, desde el PI. En el punto siguiente analizaremos algunos de los

aspectos de esta teoría que, de una manera más clara, indican su pertenencia a esta corriente psicológica.

I.1.2. La Teoría del Bucle Cerrado como una teoría del PI

Esta teoría se formuló en un momento de clara expansión del paradigma del PI, por lo que es lógico que en ella se dejen ver algunos de los aspectos más importantes de esta corriente psicológica. Quizás el primer hecho que denota esta relación sea el intento, ya explicado en el punto anterior, de superar las posiciones y puntos de vista propios del conductismo. Centrándonos, pero, en el propio desarrollo de la teoría, podemos destacar los siguientes aspectos:

a) El propio Adams indica el carácter cognitivo del aprendizaje motor humano. Retomando una cita ya recogida anteriormente *“El dominio cognitivo es la diferencia fundamental entre el hombre y los animales inferiores y se hace difícil plantear las leyes del aprendizaje humano al margen de él”* (p. 114).

b) La Teoría del Bucle Cerrado tiene un marcado carácter cibernético, aspecto que, como se ha comentado en otros apartados, es uno de los elementos definitorios del PI. Este carácter cibernético se complementa, además, con la existencia de diversas estructuras que se utilizan como formas de representación de la información obtenida, tanto del mundo exterior como del propio sujeto (huella perceptiva y huella mnésica).

c) Adams insiste en el papel activo del sujeto que, más allá de responder a determinadas características del ambiente, intenta resolver los problemas que se le plantean: *“Debe entenderse el aprendizaje motor como la búsqueda de la solución a un problema”* (p122) y, lo que aún es más importante, para hacerlo se convierte en un procesador de información *“el CR es la información utilizada para solucionar el problema”* (p. 122).

d) Se indica la existencia de procesos de transformación de la información *“El CR es, a menudo, tan sólo el punto de partida del comportamiento verbal que el sujeto desarrolla de manera encubierta, y este comportamiento verbal, que influye sobre el acto motor, puede ser totalmente diferente del propio CR”* (p. 123)

I.1.3. Otras influencias

Además de los aspectos ya comentados, la teoría que nos ocupa recibe otras influencias. Estas pueden diferenciarse entre externas al campo del aprendizaje humano y propias de éste. Entre las primeras, Adams destaca las repercusiones de estudios psicológicos en tareas de persecución (“tracking”), además de trabajos propios de la fonética o de la medicina experimental. Dentro de las aportaciones propias del campo del aprendizaje motor, el autor señala la influencia de autores soviéticos como Bernstein, Anokhin o Sokolov.

Una vez analizados los antecedentes e influencias más destacados de la Teoría del Bucle Cerrado, en el siguiente apartado procederemos a explicar el desarrollo de los aspectos centrales de la teoría.

I.2 DESARROLLO DE LA TEORÍA

Aunque el propio autor reconoce que sus investigaciones y conclusiones se pueden extender a diversos tipos de movimientos, sus intenciones iniciales se dirigen al establecimiento de un modelo capaz de explicar el aprendizaje y control de movimientos simples y autorregulados (“self-paced” p. 122) por parte de humanos con una edad suficiente como para poseer competencia verbal (“verbal capability”).

Dicho modelo incluye dos estructuras implicadas en la generación y el control de los movimientos: la huella perceptiva y la huella mnésica.

I.2.1. La huella perceptiva

Al iniciar el movimiento se evoca esta estructura que sirve como referencia para el control del movimiento. Así el feedback producido por la respuesta en curso se compara con la huella perceptiva, detectándose las diferencias que indican la dirección y magnitud del error que se está cometiendo y posibilitando la corrección de estas diferencias. La huella perceptiva, o memoria de reconocimiento, se fortalece gracias a la práctica y es fruto de la comparación entre las consecuencias sensoriales de la acción que se pretende aprender y el CR que se aporta al sujeto. Tal y como sostiene Swinnen

(1988) la memoria de reconocimiento es una distribución compleja de huellas basada en las consecuencias sensoriales de las acciones realizadas. En función de la práctica y del CR, esta distribución de huellas se convierte en una representación del feedback de la respuesta correcta y, de esta manera, en la referencia que se utiliza para la detección / corrección del error. Por decirlo de otra manera, los sujetos aprenden a reconocer las consecuencias sensoriales que implica la ejecución correcta del movimiento, estableciendo un modelo con el que pueden comparar las consecuencias sensoriales de la ejecución en curso y, de esta manera, detectar el error que están cometiendo. Lógicamente, el papel del CR es fundamental en los primeros momentos del aprendizaje de esta estructura, ya que las correcciones que se efectúen estarán basadas en él. Sin embargo, con la práctica la huella perceptiva se fortalece hasta tal extremo que se puede llegar a ignorar el CR, dado que la información contenida en la huella perceptiva permite, por si sola, la regulación del movimiento. La primera fase del aprendizaje, en la que el CR es necesario y fundamental, se conoce como la etapa verbal-motriz, mientras que la fase avanzada, en la que se puede continuar aprendiendo sin CR (Adams denomina esta capacidad de aprendizaje sin información externa sobre los resultados “refuerzo subjetivo”) recibe el nombre de etapa motriz.

I.2.2. La huella mnésica

Esta segunda estructura se encarga de seleccionar e iniciar el movimiento en cuestión e, igualmente, se fortalece con la práctica. Su existencia diferenciada de la huella perceptiva se justifica por tres causas fundamentales.

- a) En primer lugar la huella perceptiva requiere feedback, inexistente antes del inicio del movimiento. Por este motivo se concibe la huella mnésica como una especie de programa motor “limitado” que opera en bucle abierto y que tiene como función simplemente iniciar o “lanzar” el movimiento.
- b) En segundo lugar se pretende reflejar las diferencias conocidas entre los procesos de recuerdo y de reconocimiento: no es lo mismo recordar o evocar que reconocer, se trata de procesos diferenciados. En el desarrollo de la teoría de Adams, la huella perceptiva asumiría las características del reconocimiento mientras que la huella mnésica haría lo propio con el recuerdo.

c) Finalmente, la tercera razón para admitir la existencia de dos estructuras diferentes radica en la imposibilidad de que la misma estructura que se utilice para iniciar un movimiento sirva para controlarlo. Si fuera así nunca se podría detectar el error porque ¡nunca existiría tal error!. En palabras de Adams “ *Si el agente que inicia la respuesta es también la referencia con la cual se contrastará la corrección de la respuesta, esta debe necesariamente ser juzgada como correcta, ya que se está comparando consigo misma*” (p. 126)

II. LA TEORÍA DEL ESQUEMA DE SCHMIDT

Publicada en 1975, la Teoría del Esquema de Richard Schmidt (Schmidt 1975) es, posiblemente, la aportación más importante que se ha efectuado desde posiciones cognitivas al estudio del aprendizaje y el control motor (Newell 2003, Sherwood y Lee 2003). En las líneas que siguen efectuaremos un análisis del modelo teórico propuesto por Schmidt. Para ello comenzaremos señalando algunos de sus antecedentes e influencias principales para, en una segunda parte, destacar los aspectos más importantes de su desarrollo teórico.

II.1. ANTECEDENTES E INFLUENCIAS

A la hora de analizar cuales fueron los antecedentes que motivaron la publicación de este modelo teórico, hemos optado por señalar, por un lado, aquellos aspectos que dicho modelo pretendió superar (o, si se quiere, contra qué reaccionó el autor) y, por otro lado, qué aportaciones teóricas le sirvieron de fundamento teórico y experimental.

II.1.1. Aspectos que pretende superar la Teoría del Esquema

Este modelo teórico pretende suponer una reacción contra tres grandes aspectos:

- a) La posición conductista a la hora de afrontar el estudio del aprendizaje de las habilidades motrices.
- b) La proliferación de modelos explicativos. El advenimiento de la “revolución cognitiva” supuso, también en el campo del aprendizaje motor, la formulación de

numerosos modelos explicativos de los procesos subyacentes al aprendizaje de habilidades motrices. Este aspecto, en principio positivo, implicó, sin embargo, la proliferación de múltiples modelos que en su mayor parte eran puramente especulativos, es decir carentes de una base experimental sólida. En palabras de Schmidt *“A menudo, ese tipo de modelos es muy fácil de construir: parece que todo lo que uno necesita para proponer un nuevo modelo son unas cuantas “cajas” etiquetadas, que supuestamente representan procesos implicados en la ejecución motriz, algunas flechas conectoras y, ya ha nacido un nuevo modelo”* (Schmidt 1975 p. 226). Vemos, por tanto, que el autor no sólo reacciona contra la ausencia de teorización propia del conductismo, sino contra el abuso de esta o, si se quiere contra la falta de base empírica que caracterizaba algunas de las formulaciones teóricas nacidas en el seno de la psicología cognitiva.

c) Algunos de los aspectos que la Teoría del Bucle Cerrado de Adams no era capaz de explicar. Concretamente, Schmidt cita 7 aspectos críticos en la Teoría de Adams:

1. La limitación del modelo a las respuestas de posicionamiento.
2. El funcionamiento del mecanismo de detección del error en ausencia de CR. Según Schmidt, en estas condiciones (sin CR) el sujeto debiera tener la noción de haber efectuado la respuesta correctamente.
3. La posibilidad de aprendizaje sin CR, negada por Schmidt y sostenida por Adams.
4. La imposibilidad de generalizar la Teoría del Bucle Cerrado a las respuestas rápidas.
5. El desarrollo de la huella perceptiva, que según Adams exige la ejecución de respuestas correctas, mientras que Schmidt mantiene una posición contraria (ver Schmidt 2003).
6. El problema del almacenamiento en la memoria. Schmidt sostiene que, dada la enorme cantidad de habilidades motrices que somos capaces de realizar, el hecho de disponer para la ejecución concreta y específica de cada una de ellas, de unas estructuras específicas de memoria obligaría a disponer de una capacidad mnésica muy superior a la que se supone que posee el ser humano.
7. El problema de la novedad o la capacidad que tenemos de llevar a cabo respuestas que nunca antes han sido puestas en acción. La paradoja es que,

si no se han efectuado anteriormente, es imposible, a la luz de la teoría de Adams, que se hayan desarrollado sus mecanismos de control y, si no disponemos de estos, ¿cómo somos capaces de llevarlas a cabo?

Es necesario aclarar que se trata de una reacción matizada: el propio Schmidt reconoce en la introducción de su artículo, el rigor, la seriedad y el valor que caracterizan la teoría de Adams. Igualmente, en una interesante revisión sobre su Teoría, Schmidt (2003) reconoce que la Teoría del Esquema es heredera directa de la Teoría del Bucle Cerrado de Adams, y Newell, refiriéndose al modelo teórico que nos ocupa, afirma que *“puede interpretarse como una versión de la Teoría del Bucle Cerrado de Adams pero con más énfasis en el mecanismo de recuerdo”* (2003, p. 384).

II.1.2. Principales influencias

A la hora de destacar las principales fuentes que influyeron en la redacción de la Teoría del Esquema, es necesario empezar por la corriente psicológica en la que esta se inscribe: el PI. Efectivamente, la teoría de Schmidt reúne todos, o como mínimo la mayoría, de los aspectos característicos de este paradigma psicológico: estructuras y constructos de memoria, transformación (procesamiento) de la información, etc. En segundo lugar, es necesario citar la influencia de los trabajos sobre esquemas, encabezados por Bartlett y sus trabajos sobre la memoria (ver Pozo 1996a). En este sentido, el autor bebe de manera constante de las aportaciones de autores que trabajaron dentro de este campo, aunque es necesario aclarar que se trata de una formulación del esquema que podríamos definir como “primitiva”. Este hecho, lógico si tenemos presente la fecha de publicación del artículo, será tratado más a fondo posteriormente. Finalmente, la tercera gran influencia de la teoría de Schmidt radica en los estudios relativos a los programas motores. Así, en su trabajo se hacen referencias a estudios pioneros en este campo, como los de Lashley y Henry y, muy especialmente, a las interesantes aportaciones de Pew, reconocido por el propio Schmidt, como una de las influencias más directas e importantes de su modelo teórico (ver Schmidt 1975).

Una vez analizadas brevemente las influencias de la Teoría del Esquema, es la hora de analizar cuáles son sus aspectos más importantes, cosa que llevaremos a cabo en el siguiente apartado

II.2. DESARROLLO DE LA TEORÍA

Schmidt propone dos constructos o estructuras que permiten explicar, de manera conjunta, el aprendizaje y el control de habilidades motrices discretas: los programas motores y los esquemas motores.

II.2.1. El Programa Motor

La idea de la existencia de órdenes centrales capaces por sí solas (en ausencia de feedback) de controlar la ejecución de determinadas habilidades, se remonta, como mínimo, a los trabajos de Lashley quien, en 1917, investigó a un paciente que, a pesar de haber sufrido una herida de bala en la espalda (que le ocasionaba la pérdida total de sensibilidad del tren inferior) era capaz de mover las piernas y de desplazarse con una precisión sorprendente. Esta idea fue retomada por diferentes autores, de entre los que cabe destacar a Henry, quien aplicó el concepto informático del “tambor de memoria” al control motor, y a Pew, quizás uno de los autores más destacados en este campo y, sin duda, una de las influencias más directas, reconocida por el propio Schmidt, en la redacción de la Teoría del Esquema (ver Schmidt 1975).

Igualmente, muchos trabajos procedentes de la investigación con animales han servido de inspiración a esta línea de pensamiento psicológico, aunque es oportuno comentar que se debe actuar con reservas a la hora de aplicar estos resultados al control de la motricidad humana, tal y como hace Schmidt cuando afirma *“La limitación de estos hallazgos en el comportamiento motor humano radica en que esos programas motores subhumanos pueden, probablemente, ser considerados como innatos y no existe aun evidencia de que los actos aprendidos puedan ser programados, como nos gustaría creer que sucede cuando se chuta un balón”* (p. 232).

Sea como sea, Schmidt adopta una posición claramente favorable a la existencia de programas motores, hasta el punto que forman una parte fundamental de su modelo teórico y se constituyen como una de las grandes aportaciones a la Teoría de Adams (Schmidt 1975, 2003). Sin embargo este autor propone una concepción substancialmente diferente de esta estructura de memoria, al postular la existencia de lo

que él denomina programas motores generalizados cuyo concepto se formula como respuesta a dos de los puntos de vista con más prevalencia en la época en la que se formuló la Teoría del Esquema: el control motor en bucle cerrado y la noción, poco flexible, de programa motor que sostenían autores como Henry, Rogers y, en cierta manera, Keele.

Anteriormente hemos comentado que una de las críticas que Schmidt hace a la teoría de Adams tiene relación con la incapacidad de esta de responder de manera satisfactoria al problema de la capacidad de la memoria para almacenar las órdenes relativas a la ejecución concreta de cada movimiento específico. Este problema se presenta igualmente si se admite que cada ejecución motriz tiene su propio y exclusivo programa motor. Es por este motivo que el autor propone la existencia de programas motores generalizados, capaces de controlar la ejecución de clases o familias de movimientos. Estos programas motores serían capaces de *“presentar las órdenes preestructuradas para un número de movimientos si se proporcionan las especificaciones concretas de cada respuesta”* (Schmidt 1975, p.232). Este hecho, la existencia de una única estructura capaz de controlar la ejecución de movimientos similares (de hecho se trata de dos estructuras si tenemos presente el esquema motor), permite solventar el problema del almacenamiento en la memoria ya que reduce drásticamente el número de programas motores que deben aprenderse y conservarse (ver, para un comentario crítico sobre este aspecto, Newell 2003), pero, al mismo tiempo, plantea otra duda: ¿Cuán amplios son estos programas motores generalizados? o, dicho con otras palabras ¿Qué grado de similitud deben tener las habilidades para ser controladas por el mismo programa motor generalizado?. Aunque la solución a este problema se desconoce, el propio Schmidt minimiza su trascendencia al afirmar *“lo grande que sea una categoría no tiene, hoy por hoy, una gran importancia mientras se pueda postular que no existe una relación “uno – a – uno” entre el programa y cada movimiento específico que el individuo pueda producir, en el sentido de evitar el problema del almacenamiento en la memoria”* (Schmidt 1975, p. 232, comillas nuestras).

Anteriormente hemos comentado que el programa motor generalizado es capaz de controlar la ejecución de los movimientos siempre que se proporcionen las especificaciones concretas de cada uno de ellos. Dicho con otras palabras, el programa motor generalizado se encargaría de controlar las invariantes, de una familia de

movimientos. ¿Qué aspectos de la ejecución motriz se pueden considerar como invariantes? Schmidt (1975, 2003) señala dos facetas de la ejecución motriz que pueden ser consideradas como invariantes y, de esta manera, estar controlados por el programa motor generalizado:

- a) La estructura temporal o duración relativa (“*timing*”) de la ejecución. De este aspecto se ha hallado confirmación experimental en múltiples investigaciones, aunque no se puede hablar, ni mucho menos, de unanimidad (Schmidt 2003).
- b) El patrón de fuerzas o, mejor, la amplitud relativa de la habilidad, mucho más difícil de demostrar, hasta el punto de que, en una revisión posterior, el propio Schmidt (2003) duda de que se trate realmente de una invariante.

La pregunta que surge a continuación es ¿Con qué se controlarán los aspectos variables de la ejecución motriz?. La respuesta que Schmidt propone se fundamenta en la existencia de los esquemas motores.

II.2.2. El Esquema Motor

La noción de Esquema tiene una amplia tradición en psicología y se ha extendido a diferentes campos o áreas de estudio como la percepción, la representación del conocimiento o la solución de problemas. Schmidt, en su teoría la aplica, lógicamente, a la ejecución de habilidades motrices. Antes de comentar los aspectos concretos de esta aplicación, creemos que es necesario comentar algunos aspectos sobre la concepción que Schmidt tiene de los esquemas.

Aunque el autor haga múltiples referencias a los trabajos de Bartlett, su concepción del esquema tiene poco o nada de constructivista y mucho, o todo, de computacional y por tanto propone una estructura formada por inducción y abstracción siguiendo postulados que, en el fondo, son claramente asociacionistas (ver Sherwood y Lee 2003). Además, la fecha de publicación del trabajo de Schmidt, hace que el concepto de esquema que propone esté bastante alejado de la concepción actual, compleja y sumamente elaborada, situándose más cerca de las teorías probabilísticas de formación de conceptos o de las reglas de producción. Como muestra de lo primero, tan sólo tenemos que fijarnos en las múltiples referencias que el autor hace a los trabajos de Posner y Keele

(ver Schmidt 2003), quienes en la actualidad no se consideran representativos de la teoría de los esquemas sino de las teorías probabilísticas de formación de conceptos (Pozo 1996a). En cuanto a la proximidad de la posición de Schmidt a las reglas de producción, o pares de condición acción del tipo “si... entonces...” basta con que nos fijemos en la definición de esquema que, el propio autor, propone en publicaciones posteriores, donde afirma que un esquema es “*una regla que relaciona los diversos resultados de los miembros de una clase de acciones con los parámetros que determinan el resultado*” (Schmidt 1993, p.320).

Sea como sea, Schmidt atribuye a los esquemas motores el papel de reguladores de los aspectos variables de la ejecución de las habilidades motrices y remarca la necesidad de entender que se trata de estructuras claramente diferenciadas de los programas motores generalizados: “*El fracaso en diferenciar el esquema del programa motor generalizado ha sido un error común entre los científicos que han escrito sobre la Teoría del Esquema*” (Schmidt 2003, p. 367). En este mismo artículo, el autor cita tres evidencias que, a su entender, permiten apoyar la existencia separada e independiente de estas dos estructuras:

- a) El tiempo destinado a cambiar un parámetro de la respuesta es claramente superior al destinado a modificar un parámetro de esta (Quinn y Sherwood 1983 en Schmidt 2003).
- b) Los estudios de Wulf y colaboradores sobre el “*Feedback*” aumentado (en adelante FBA) (por ejemplo Wulf y Schmidt 1989 y 1996, Wulf, Schmidt y Deubel 1993) demuestran efectos diferenciados de la reducción de frecuencia sobre los programas motores generalizados y sobre la parametrización.
- c) Los diferentes efectos de la práctica aleatoria o bloqueada sobre los programas motores generalizados y sobre la parametrización (Wulf y Lee 1993, en Schmidt 2003).

A continuación analizaremos el proceso de formación de estos esquemas, aunque antes nos detengamos, brevemente, en detallar cuales son las fuentes de información utilizadas en su génesis. Schmidt distingue 4 tipos de información que se almacenan cuando un sujeto realiza un movimiento con la intención de cumplir un objetivo determinado:

- a) Las condiciones iniciales, que recogerían, mediante los diferentes receptores sensoriales, toda aquella información relacionada con las características específicas de las condiciones en las que se inicia el movimiento,
- b) las especificaciones de la respuesta, o la determinación de los aspectos variables de cada ejecución específica del movimiento,
- c) las consecuencias sensoriales provocadas por la ejecución del movimiento y captadas por los receptores específicos y
- d) el resultado de la respuesta (o grado de éxito conseguido en relación con la meta prevista. Proviene del CR)

Según este autor, todas estas informaciones se almacenan de forma conjunta al final de la ejecución de la actividad y sirven para formar los esquemas. ¿Cómo se produce este proceso? Tal y como hemos comentado, la información proveniente de las fuentes antes citadas se almacena de manera conjunta al finalizar el movimiento. Cuando se ha efectuado una cierta cantidad de respuestas, el sujeto empieza a relacionar las diferentes fuentes de información y realiza una abstracción de dichas relaciones. Es importante destacar que el esquema, lo que se almacena, no son los datos concretos sino las relaciones que se establecen entre ellos elaborándose, por abstracción, un conjunto de reglas que, a grandes rasgos, describen las relaciones entre los resultados obtenidos y los parámetros aplicados (Schmidt 2003). Este proceso, claramente inductivo, se fortalece, según Schmidt, con la práctica variable (aunque Newell (2003) duda de que la influencia de la variabilidad en la práctica tenga una confirmación experimental tan unánime como se sostiene desde posiciones cognitivas) y con la precisión de los diferentes feedback que se reciban.

Llegados a este punto, creemos necesario efectuar un comentario crítico sobre este aspecto de la Teoría de Schmidt. Al igual que muchas aportaciones realizadas desde el PI, la Teoría del Esquema no concreta cuales son los mecanismos concretos del aprendizaje, sino que se limita a indicar que se abstraen y almacenan una serie de reglas obtenidas mediante procesos de inducción no determinados. La pregunta es ¿qué controla, o cómo se controlan, estos procesos inductivos? ¿Se relacionan todas las informaciones, todos los datos, entre sí? Una respuesta afirmativa a esta pregunta implicaría una cantidad ingente, casi infinita, de operaciones de procesamiento la mayoría de las cuales darían como resultado unas reglas absolutamente irrelevantes.

Contrariamente, una respuesta negativa, es decir admitir la existencia de un proceso de selección de los datos a relacionar, implicaría la actuación de un mecanismo de control de la inducción que simplificaría las operaciones y conduciría a la abstracción de, tan sólo, aquellas reglas útiles. Schmidt no efectúa la más mínima referencia a este mecanismo ni a ningún proceso comparable... Sería injusto, sin embargo, hacer esta crítica exclusivamente al autor que nos ocupa: tal y como afirma Pozo (1996a) el control de la inducción es una de las carencias más importantes y comunes de, prácticamente, todas las teorías computacionales del aprendizaje.

Dejando al margen estas apreciaciones y partiendo del hecho de que el sujeto ya ha adquirido el programa motor generalizado y el esquema motor propios de una clase de movimientos ¿Cuáles son los procesos que se llevan a cabo para ejecutar una habilidad?

II.2.3. La producción y el reconocimiento de la respuesta

A la hora de ejecutar una respuesta, el sujeto debe procesar la información procedente de dos fuentes: las condiciones iniciales y la salida deseada o respuesta específica. De la relación entre los resultados obtenidos y las especificaciones propias de ejecuciones anteriores, aplicando lo que Schmidt denomina “**Esquema de recuerdo**” (que, en cierto modo sería el equivalente a la huella mnésica de Adams) el sujeto es capaz de determinar las especificaciones necesarias para llevar a cabo la respuesta actual. La existencia del esquema permite al modelo de Schmidt explicar la producción, dentro de una clase determinada de movimientos, de respuestas inéditas ya que estas se generarían por interpolación a partir de las experiencias anteriores. Estas especificaciones servirían para aplicar el programa motor generalizado a las circunstancias concretas en las que se va a llevar a cabo la respuesta actual.

Como vemos, el esquema de recuerdo permite a Schmidt explicar la producción de la respuesta. Sin embargo esta estructura no puede, por sus características y componentes, servir como elemento de control de la ejecución del movimiento. Para llevar a cabo esta función, la teoría de Schmidt contempla la existencia de un segundo tipo de esquema: el esquema de reconocimiento. Teniendo presentes diferentes aspectos, el sujeto genera un esquema que le permite prever las consecuencias sensoriales que acarrearán la ejecución del movimiento, lo que le posibilitará controlar el desarrollo de la acción. Este segundo

esquema, que podría homologarse a la huella perceptiva de la teoría de Adams, recibe el nombre de **esquema de reconocimiento** y supone un elemento de referencia con el que se compararán las consecuencias sensoriales de la respuesta actual. Este esquema se forma, tal y como afirma Swinnen (1988), a partir de la relación que se establece entre las condiciones iniciales, la salida motriz y las consecuencias sensoriales de la respuesta, y representa las consecuencias sensoriales esperadas, por lo que se utiliza como el elemento de comparación de la acción en curso, permitiendo detectar los errores que se produzcan.

Ambos esquemas, el de recuerdo y el de reconocimiento, están fuertemente relacionados, pero son diferentes. En palabras del autor *“aunque las consecuencias sensoriales esperadas y las especificaciones de la respuesta están fuertemente asociadas, no es necesario que sean isomórficas,...., porque los esquemas de recuerdo y de reconocimiento son diferentes”* Debe notarse que en la formación del esquema de recuerdo intervienen las condiciones iniciales, la salida deseada y las especificaciones, mientras que, en la del esquema de reconocimiento participan igualmente las condiciones iniciales y la salida deseada, pero la tercera fuente es diferente: en lugar de las especificaciones se tienen en cuenta las consecuencias sensoriales (figura 3.1).

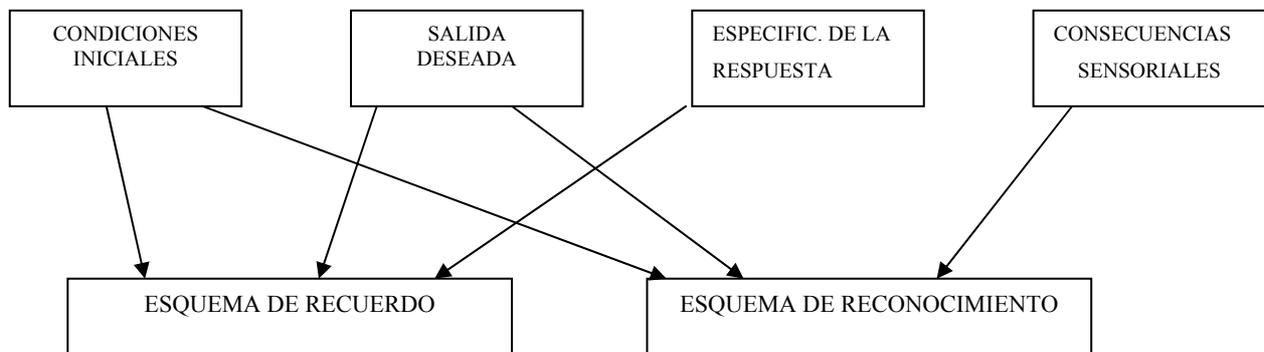


Figura 3.1: Fuentes de información responsables de la formación de los esquemas en la Teoría de Schmidt

Aparte de estos dos esquemas, existe una tercera estructura: el esquema del “etiquetado del error” que recoge las diferencias entre el esquema de reconocimiento y las consecuencias sensoriales de la ejecución en curso. Según Swinnen (1988) este “error etiquetado” puede utilizarse como “refuerzo subjetivo” y substituir al CR cuando éste no se halla disponible, aportando la información necesaria para “actualizar” el esquema de recuerdo. Sin embargo, a pesar de la existencia de este mecanismo intrínseco de

detección del error, en presencia de CR se utiliza éste por ser más preciso que el primero.

II.3. CRÍTICAS EFECTUADAS A LA TEORÍA DEL ESQUEMA

En este apartado revisaremos brevemente algunas de las críticas más importantes que se han hecho al modelo teórico que nos ocupa. Estas críticas provienen tanto de autores cercanos a la perspectiva de los sistemas dinámicos (que se analiza en el capítulo siguiente) como de científicos encuadrados en la perspectiva cognitiva y, para exponerlas nos basaremos en una interesante serie de tres artículos publicada en el *Research Quarterly for Exercise and Sport* y cuyo tema central es, justamente, la revisión de la Teoría del Esquema más de un cuarto de siglo después de su publicación (Newell 2003, Schmidt 2003, Sherwood y Lee 2003):

- a) Desde el punto de vista de los sistemas dinámicos, la crítica principal que se hace (no sólo a la Teoría del Esquema sino a los planteamientos cognitivos en general) es, como se ampliará más adelante, que la existencia de orden y regularidad en las acciones motrices no requiere, para su explicación, acudir a constructos como los programas y los esquemas motores (Newell 2003, Schmidt 2003). Sin embargo, defendiendo la existencia de los programas motores, Schmidt (2003) acude al trabajo de Wadman et al (1979, en Schmidt op cit) cuyas conclusiones son difícilmente interpretables desde posiciones dinámicas – ecológicas.
- b) La “metáfora” del programa motor falla, en opinión de Newell (2003), a la hora de explicar, ¡y explotar!, la dinámica intrínseca de las constricciones estructurales y funcionales que canalizan la organización dinámica de la salida motriz.
- c) El propio Schmidt reconoce que su teoría se ciñe al control y el aprendizaje de habilidades discretas, aunque sostiene que las habilidades continuas podrían contar con un mecanismo híbrido de control, donde una serie de “subacciones” controladas en bucle abierto estarían sometidas, en su conjunto, al control y la corrección vía feedback (Schmidt 2003).
- d) La equivalencia motriz (es decir, la posibilidad de alcanzar la misma meta usando una variedad de patrones cinemáticos que no responden al escalado simple

de un patrón fundamental) constituye un serio reto, aun por resolver, al modelo que nos ocupa (Schmidt 2003).

e) El control jerárquico de algunas habilidades motrices (se han hallado evidencias de que en determinadas acciones coexisten diferentes estructuras y procesos de control dirigidos a diversos segmentos o partes corporales) no es consistente con la Teoría del Esquema ya que no admite el hecho de que una acción esté controlada por un único programa motor generalizado (Schmidt 2003).

f) La teoría que nos ocupa explica de manera convincente el proceso de corrección del error cuando se trata de habilidades rápidas, pero falla a la hora de hacerlo en habilidades continuas y lentas ya que en estas *“el movimiento se produce al llevar (el segmento) a la posición reconocida como correcta vía feedback, por lo que el sujeto no puede tener más capacidad de detección del error una vez efectuada la acción”* (Schmidt 2003, p. 371).

g) Esta teoría presta mucha atención al aprendizaje de los esquemas (parametrización de las habilidades) pero deja por explicar cómo se produce el aprendizaje de los programas motores generalizados. Diversos estudios, pero, parecen indicar que este aprendizaje, favorecido por lo que se ha venido a denominar como “esfuerzo cognitivo” (situaciones de práctica con poco FBA, práctica aleatoria o interferencia contextual), podría deberse a procesos de reconstrucción, aunque aun no se puede afirmar con rotundidad qué es lo que realmente sucede (Schmidt 2003, Sherwood y Lee 2003).

h) Los estudios que demuestran que una frecuencia reducida de CR (y en general de FBA) favorece el aprendizaje de las habilidades, van en contra de las predicciones de la Teoría del Esquema (ver la parte II de esta Tesis). Sin embargo, la diferenciación que Wulf y colaboradores (por ejemplo Wulf y Schmidt 1989 y 1996, Wulf, Schmidt y Deubel 1993) hacen de la influencia de esta variable sobre los programas y los esquemas motores, compatibiliza ambas perspectivas (Schmidt 2003).

i) Se ha podido demostrar (Young y Schmidt 1999, en Schmidt 2003) que los sujetos rinden mejor, dentro de una misma clase de acciones, en aquellas versiones que más han practicado, lo que es inconsistente con la concepción de esquema propia de la teoría que nos ocupa.

j) Esta teoría ignora el papel de los procesos cognitivos (toma de decisión) en el aprendizaje motor (Sherwood y Lee 2003). Igualmente, es incapaz de explicar

aspectos como la mejora del rendimiento debida a situaciones de práctica sin movimiento (práctica imaginada, aprendizaje por observación, etc.) o las diferencias en el aprendizaje debidas a la estructuración de los intentos de práctica (práctica serial, bloqueada, aleatoria, etc.). En definitiva, esta teoría no puede explicar la influencia del esfuerzo cognitivo en el aprendizaje de habilidades motrices, ya que, según sus postulados, el nivel de aprendizaje estará en función del número de intentos que reciban CR y de la variabilidad de la práctica (Sherwood y Lee 2003).

Como hemos podido comprobar, la Teoría del esquema, juntamente con otras aportaciones como la Teoría del Bucle Cerrado, permiten explicar, desde posiciones cognitivas, la conducta motriz humana. Sin embargo, en las últimas décadas hemos podido ser testigos de un auténtico aluvión de críticas hacia estas posturas protagonizadas por representantes de posiciones próximas a la psicología ecológica. En las páginas siguientes efectuaremos un breve análisis de esta nueva perspectiva en la explicación del aprendizaje y el control motor.

CAPÍTULO 4: MODELOS TEÓRICOS ALTERNATIVOS. LA PERSPECTIVA DINÁMICA – ECOLÓGICA

En un interesante artículo fechado en 1992, Abernethy y Sparrow analizan bajo qué paradigma se escriben los artículos publicados durante el período 1969 – 1990 en la revista “*Journal of motor behavior*” que está considerada como una de las publicaciones más influyentes, sino la que más, dentro del campo del aprendizaje y el control motor. Los resultados de este estudio bibliográfico se muestran, esquemáticamente, en la figura 4.1.

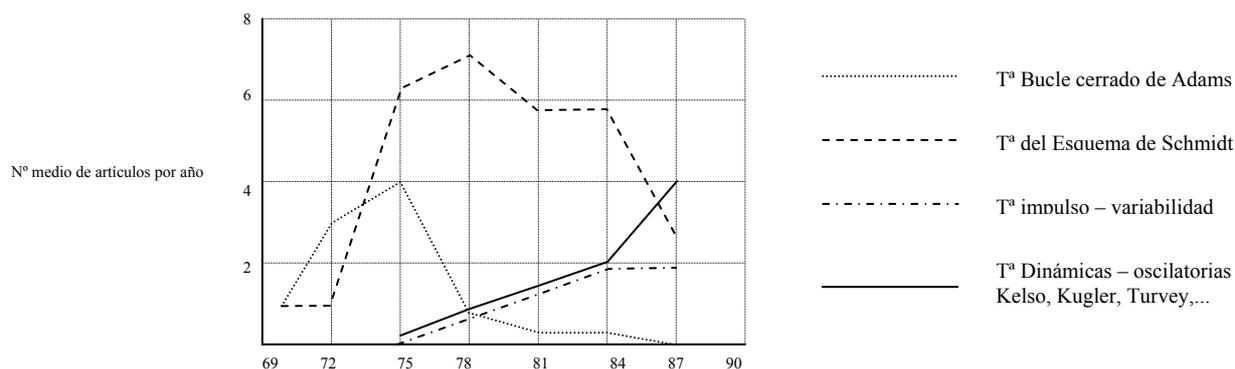


Figura 4.1: Número medio de artículos por año (períodos de 3 años) que examinan directamente las principales teorías de control motor, expresado en función de la historia cronológica del “*Journal of Motor Behavior*” (en Abernethy y Sparrow, 1992, p. 19)

Como se puede comprobar, a partir de la década de los 80 los artículos relacionados con las teorías enmarcadas en el PI sufren una importante disminución, mientras que, de manera simultánea, aparece con fuerza una nueva línea teórica y de investigación que los autores engloban bajo el epígrafe “teorías dinámicas oscilatorias”. Este enfoque, muy extendido en la actualidad, supone una ruptura casi total, ¡o total!, con los modelos anteriores, por lo que creemos imprescindible destinarle un capítulo de nuestra Tesis.

I. ORÍGENES E INFLUENCIAS

Desde hace más de 100 años se han estudiado diversos fenómenos naturales desde posiciones cercanas a las teorías del CAOS, la COMPLEJIDAD o la DINÁMICA NO LINEAL. Estas investigaciones primigenias, efectuadas sobre todo desde la matemática y la física, consideran que el universo y la naturaleza son caóticos (incluyen comportamientos predecibles e impredecibles) si se analiza su comportamiento a lo largo de grandes escalas temporales y supusieron un cambio de perspectiva desde lo microscópico hasta lo macroscópico, es decir se fijaron más que en los elementos de los sistemas, en su interrelación. Hace unas décadas se vivió una consolidación de sus posiciones y una extensión de sus postulados hacia otras áreas del conocimiento como la meteorología, la neuropsicología o la economía. Existe acuerdo a la hora de datar su irrupción en el campo del control, el aprendizaje y el desarrollo motor, a finales de la década de los 70 e inicios de los 80 gracias a los trabajos de autores como Kugler, Kelso, Turvey, Reed, Thelen y otros (Abernethy y Sparrow 1992, Summers 1998).

Esta línea teórica, que ha recibido múltiples denominaciones (“*Action system*”, perspectiva dinámica, perspectiva ecológica, de los sistemas dinámicos, de los sistemas complejos, de la autoorganización, etc.) supone, como se ha comentado anteriormente y se ampliará más adelante una ruptura con los modelos tradicionales, amparándose en las influencias siguientes (Abernethy y Sparrow 1992, Summers 1998, Turvey 1990, Whiting, Vogt y Vereijken 1992):

- a) Los trabajos de Bernstein, sobre todo aquellos centrados en el estudio de la coordinación del movimiento humano.
- b) La teoría ecológica de la percepción, o percepción directa de Gibson (se puede hallar una completa introducción en castellano a este enfoque en Bruce y Green 1994).
- c) Las aportaciones desde la matemática o la física, como por ejemplo la no - linealidad, la termodinámica o la sinérgica de Hacken.

Dada la importancia de los trabajos de Bernstein en el campo del control y del aprendizaje motor, creemos oportuno destinar un apartado a analizar sus principales características y aportaciones.

I.1. LAS APORTACIONES DE BERNSTEIN

Nikolai Alexandrovič Bernštein nació en Rusia en 1896 y desarrolló en la hoy extinta Unión Soviética toda su actividad profesional hasta el momento de su muerte, acaecida en 1966. Este científico dedicó buena parte de su vida profesional al estudio de los mecanismos fisiológicos de los movimientos y de la actividad motriz humana (Luria 1995, Gurfinkel y Cordo 1998) y en este empeño reaccionó contra las visiones puramente reactivas de la motricidad (Bernstein 1989 d) que en esa época predominaban, especialmente en la URSS, donde la línea Pavloviana era considerada como la “oficial” por parte del régimen. Su posicionamiento científico se situó en la denominada “Fisiología de la actividad” la cual considera que los movimientos, lejos de ser una mera respuesta a estímulos ambientales, están dirigidos por sus objetivos o, dicho de otra manera, constituyen, y así deben ser entendidos y analizados, la solución a un problema. Esta perspectiva, que remarca la interacción entre el individuo y su entorno (Feigenberg 1998) le llevó a mantener posiciones muy próximas a científicos como Vygotsky, Luria o Leontiev (Bongaardt y Meijer 2000).

A continuación resumiremos algunos de los puntos fundamentales de los trabajos de este autor.

I.1.1. La variabilidad del movimiento humano

La observación sistemática y el registro del movimiento llevaron a Bernstein a constatar la enorme variabilidad existente en la ejecución motriz humana. Además, una de las características más destacadas del sistema motor humano es la gran cantidad de grados de libertad que contiene (Bernstein 1989 a), hecho que ha venido a denominarse como “el problema de Bernstein” y que aporta una gran complejidad al control motor (Turvey, Fitch y Fuller 1982, Bongaardt y Meijer 2000). Finalmente, en el desarrollo de los movimientos influyen, de manera decisiva, las fuerzas externas y/o reactivas que son imposibles de tener presentes a priori. Estos tres hechos llevaron a Bernstein a afirmar,

como ya se ha comentado, que no puede existir una relación unívoca entre las señales centrales y la respuesta motriz.

¿Cómo hace el sistema motor humano para controlar tanto sus múltiples grados de libertad como la influencia que ejercen sobre él las fuerzas reactivas? La respuesta a esta pregunta está, según Bernstein (1989 b y 1989 d) en la organización jerárquica de dicho sistema.

I.1.2. La organización jerárquica del sistema de movimiento

Partiendo de las constataciones antes comentadas, y teniendo presente su posicionamiento contrario a la visión reactiva de la motricidad, Bernstein afirma que *“En todo movimiento debemos distinguir entre 1. la estructura de su contenido y 2. los movimientos que lo componen (composición motriz).”* (Bernstein 1989 d, p. 165). Vemos, pues, que este autor apuesta por una organización jerárquica del sistema motor en la que debe existir un flujo constante y “circular” de información que permita el control efectivo del movimiento (Bernstein 1989 b y d, Luria 1995, Gurfinkel y Cordo 1998, Bongaardt y Meijer 2000). Esta organización no implica estrictamente una subordinación de los niveles inferiores con respecto a los superiores, sino, como indican Gurfinkel y Cordo (1998) una precisa distribución de las tareas que se deben llevar a cabo. Así, el nivel superior, situado en el nivel consciente, lejos de almacenar patrones fijos de activación muscular, tiene una función de guía, ya que marca el desarrollo global del movimiento; por su parte, los niveles inferiores, de carácter inconsciente e involuntario, se encargan de la aplicación y el desarrollo del movimiento (Bernstein 1989 d).

I.1.3. El nivel superior: el “modelo del futuro” y el “principio de simplicidad equivalente”

Tal y como ya hemos comentado, Bernstein concibe la motricidad como la solución a un problema o, si se quiere, la consecución de una meta. Por este motivo es necesario admitir la existencia de un “modelo del futuro” capaz, mediante un plan motor, de definir y guiar la acción que se va a desarrollar. Por sus características específicas, este modelo no va a ser capaz de definir exactamente lo que va a acabar sucediendo, por lo que su carácter es probabilístico: se parte de las experiencias pasadas para extrapolar lo

que va a suceder (Feigenberg 1998, Bongaardt y Meijer 2000). Este elemento de guía y control constituye el nivel jerárquico superior del sistema y, como veremos más adelante, se identifica con el elemento “Sollwert” (el valor a alcanzar) del modelo de control motor elaborado por Bernstein (Feigenberg 1998).

¿Qué tipo de información contiene este modelo? Bernstein formula, para responder a esta cuestión, el “principio de simplicidad equivalente” (ver, para una ampliación Bernstein, 1989 b), según el cual, el nivel superior del sistema de movimiento está constituido por parámetros topológicos, quedando los aspectos métricos y la selección concreta de los grupos musculares a utilizar a merced de la actuación de los niveles inferiores de dicho sistema (Bernstein 1989 a y b, Wiesendanger 1998, Kelso 1998, Bongaardt y Meijer 2000).

Una vez analizado el nivel superior del sistema, llega el momento de describir la actuación de sus niveles inferiores, es decir, de hablar de la coordinación de los movimientos.

I.1.4. La coordinación de los movimientos

El concepto de coordinación, que se refiere a la actuación de los niveles inferiores del sistema de movimiento, ocupa un lugar muy importante en los trabajos de Bernstein (1989 a, b y c) quien, para definirla y describirla, acude a diversos aspectos centrales de su obra: La no univocidad entre el influjo central y el movimiento, el control de los grados de libertad del sistema y, finalmente, el carácter global de los movimientos. Así, no es extraño que Bernstein defina la coordinación perfecta como “*la producción del impulso justo en el momento justo*” (1989 c, p. 72), constituyéndose en la organización que prepara la periferia para garantizar la conductividad selectiva óptima. Esto implica que la coordinación no pueda ser un fruto autónomo de la periferia sino que deba ser determinada, en parte, centralmente, para así cumplir con la función última que debe cumplir el movimiento. En palabras del propio Bernstein: “*Si la coordinación es un sistema de mecanismos que aseguran la controlabilidad del aparato motor,..., ¿Qué podemos decir,..., sobre los medios y los modos de este control de los actos motores?*” (Bernstein 1989 a, p. 231, la palabra subrayada está en cursiva en el original)

I.1.5. El control de los actos motores

De todo lo dicho hasta ahora se puede deducir que la organización del movimiento debe entenderse como la armonización de diversos procesos cinéticos e informacionales simultáneos (Bongaardt y Meijer 2000) y que el control motor debe combinar órdenes preliminares y correcciones a posteriori (Bernstein 1989 b, Kelso 1998). Estos dos aspectos quedan claramente reflejados en el modelo de control motor que, con una clara inspiración cibernética, elaboró Bernstein (1989 a) y que se muestra en la figura 4.2.

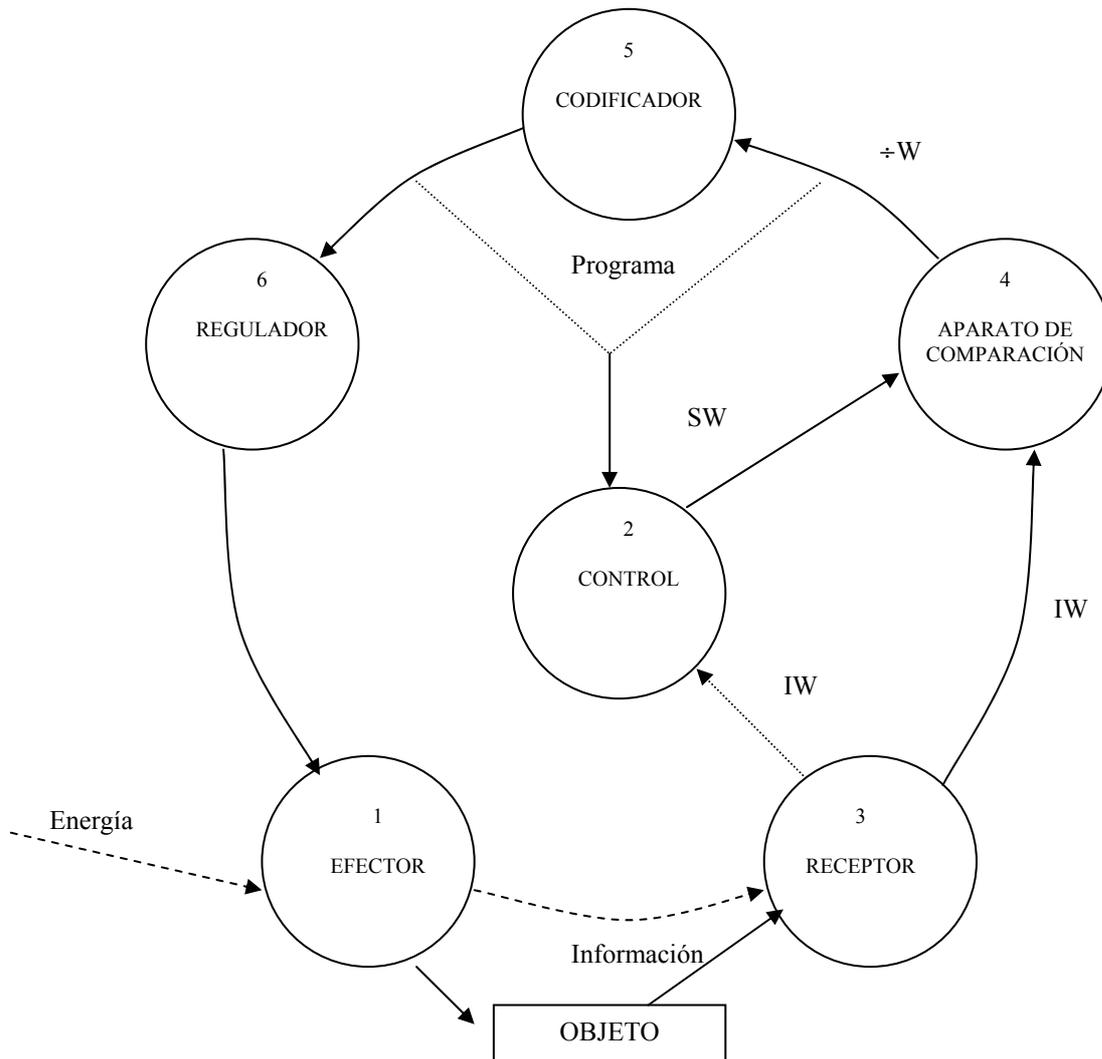


Figura 4.2: Esquema simplificado del aparato de control del movimiento. SW: valor esperado, IW: valor real, $\div W$: diferencia entre $IW - SW$ (Adaptado de Bernstein 1989 a, p. 283)

II. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA PERSPECTIVA DINÁMICA – ECOLÓGICA

Tal y como hemos comentado, la mayor parte de autores (valgan como muestra los trabajos de Abernethy y Sparrow 1992, Kelso 1995, Schmidt y Fitzpatrick 1996 o Summers 1998) sostiene que este enfoque supone una ruptura radical con referencia a los modelos del PI. Sin embargo, algunos autores (Schmidt 1988, Whiting, Vogt y Vereijken 1992) afirman que no se trata de dos posiciones excluyentes, si no complementarias, que estarían trabajando en dos niveles explicativos diferentes del mismo fenómeno. Sea como sea, el punto donde más se enfrentan ambas perspectivas es en la existencia de representaciones mentales (o internas) del movimiento con valor prescriptivo, que los partidarios del PI defienden y los de la PDE rechazan.

El principal argumento para este rechazo es lo que se ha venido a denominar como el problema de la regresión infinita y que tiene como aspecto central el origen último de las estructuras de control central propugnadas por la corriente cognitiva (Schmidt y Fitzpatrick 1996). En palabras de Kelso (refiriéndose a la Tª del bucle cerrado de Adams pero haciéndolo extensivo a otros constructos cognitivistas como los programas y esquemas motores) “... *si una señal de referencia en un nivel es, simplemente, el producto de otro servomecanismo en un nivel superior, esto lleva a lo que los filósofos denominan regresión infinita o ... a un préstamo de inteligencia que de alguna manera deberá ser pagado*” (1995, p. 34.) Las palabras subrayadas están entre comillas en el original). Por su parte, el propio Schmidt, es así de claro al efectuar una revisión crítica de sus propios puntos de vista y exponer los argumentos de los partidarios de la PDE: “*Si los detalles de una acción están controlados por un programa, entonces ¿Cómo se estructura el programa? ¿Quién lo estructura? y ¿Cuáles son las reglas para su formación? Así, para la perspectiva de la acción cada especificación de la actividad en el sistema nervioso central toma prestada inteligencia en tanto en cuanto representa un comportamiento (a nivel del sistema nervioso central) que debe, finalmente, ser explicado*” (1988 p. 7).

Otra crítica que determinados autores (Schmidt y Fitzpatrick 1996) hacen a las posiciones cognitivas es que, al centrar su estudio en los “sistemas inteligentes” rompen la continuidad con otras ciencias que estudian otros fenómenos, diferentes pero

relacionados: *“la crítica es que esta drástica táctica teórica destruye la continuidad entre los procesos físicos y psíquicos que subyacen al comportamiento”* (p. 196).

Entonces ¿Cómo se produce el control de los movimientos? Las ideas fundamentales de esta perspectiva pueden resumirse en los siguientes puntos:

- a) Se niega la existencia de representaciones mentales o, como máximo, se les otorga un protagonismo muy limitado, llegando a catalogarlas como “sugerencias” centrales o “consejos” centrales. Tal y como sostiene Newell *“El argumento contra la metáfora,..., del ordenador no implica necesariamente la inexistencia de la memoria o de las representaciones para la acción, sino que, más bien, desafía (como mínimo) una forma particular de representación”* (2003, p. 385)
- b) El desarrollo, la cinemática, de las acciones es un proceso autoorganizado que **emerge** de la dinámica del sistema de acción en interrelación con el entorno. En este sentido, los partidarios de esta perspectiva, buscan las leyes o principios generales que rigen esta autoorganización.
- c) Se establecen, para la coordinación y el control de las acciones, estructuras coordinativas que son agrupaciones temporales de elementos funcionales que se hallan, o pueden hallarse, a diferentes niveles (metabólico, biomecánico, neural, etc.). Estas estructuras son específicas a la tarea que se quiere llevar a cabo.
- d) No se concibe la separación entre percepción y acción, enfatizándose la reciprocidad organismo / entorno: lo que percibimos depende de lo que hacemos pero lo que hacemos depende, así mismo, de lo que percibimos.
- e) No se contempla la existencia de procesos cognitivos mediadores en la percepción, sino que se apuesta, bajo la influencia de Gibson, por una percepción directa en la que el organismo **extrae** la información de las características físicas originadas en su interconexión con el entorno.
- f) Se trata de modelos fuertemente matematizados

Es necesario aclarar que dentro de estos enfoques coexisten diferentes tendencias que muestran marcadas diferencias entre si (Schmidt 1988, Abernethy y Sparrow 1992). Estas diferencias se deben, según Whiting, Vogt y Vereijken (1992) a que unas líneas de investigaciones han centrado en el estudio de la actividad del organismo mientras

que otras lo han hecho en su interrelación con el entorno. Este enfoque diferente no responde a una diferencia en el valor otorgado a uno u otro aspecto, sino que está motivado por la complejidad del tema de estudio, que obliga a focalizar en una u otra vía de aproximación. En palabras de Newell *“los artículos originales sobre las estructuras coordinativas y sus desarrollos subsiguientes han propiciado la publicación de una amplia gama de trabajos que, tomados colectivamente, representan una teoría sobre el control y el aprendizaje motor, aunque no se haya denominado de esta manera en un sentido unificado”* (2003, p. 384). Más concretamente, Summers (1998) distingue tres grandes corrientes: la **percepción directa** (cuyo representante más destacado en la actualidad es Lee), la **perspectiva cinética** (en la que circunscriben sus trabajos autores como Kugler o Turvey) y la perspectiva de los **sistemas dinámicos** que es la que más aceptación está teniendo en la actualidad y cuyo autor más destacado es Scott Kelso. En el siguiente apartado describiremos brevemente algunos de los aspectos básicos de esta última corriente.

III. LA PERSPECTIVA DE LOS SISTEMAS DINÁMICOS

Tal y como hemos comentado anteriormente, y de acuerdo con Summers (1998), dentro de la PDE la perspectiva de los sistemas dinámicos es la corriente que más aceptación está teniendo en la actualidad. En ella se estudian tanto los patrones autoorganizados que emergen en los sistemas como consecuencia de la interacción de sus elementos (o algunos de ellos) como los cambios de patrón exhibidos por el sistema y debidos a la variación de un parámetro no específico que recibe el nombre de parámetro de control. De lo anterior podemos deducir que esta perspectiva se ha fijado más en la acción que en la relación de esta con la percepción. Sin duda alguna, el representante principal de esta corriente es Scott Kelso quien fundamenta su desarrollo teórico en la Sinérgica de Hermann Haken y en la dinámica no lineal de Prigogine.

En su libro *“Dynamic patterns. The self organization of brain and behavior”*, publicado en 1995, Kelso efectúa una exposición clara, detallada y completa de los aspectos básicos de su teoría, por lo que vamos a seguirlo de manera prioritaria en la redacción de este apartado. Es necesario, pero, aclarar que también se ha contado con otras fuentes

de información, como, por ejemplo, los interesantes trabajos de Schöner, Zanone y Kelso (1992), Wallace (1996) y Summers (1998).

III.1 LA AUTOORGANIZACIÓN

Si se considera que la autoorganización es un modo de comportamiento que presentan los sistemas complejos, creemos que el primer paso es definir qué es un sistema complejo. Según Wallace (1996) un sistema complejo es aquel que está formado por más de dos (¡pueden ser muchísimos más!) elementos que interactúan. Igualmente, un sistema abierto es aquel que se halla en una situación de no - equilibrio debido a que intercambia, como mínimo, energía con el entorno en el que se halla. Siguiendo esta línea, podemos afirmar que la autoorganización debe entenderse como una propiedad de los sistemas complejos que se hallan en condiciones lejanas al equilibrio y que permite explicar *“cómo un comportamiento extraordinariamente complejo puede surgir a partir de unas pocas y simples (pero no lineales) reglas* (Kelso 1995, p. 2). Esta autoorganización lleva al sistema, en determinadas condiciones a adoptar unos **patrones de comportamiento** que constituirán determinadas formas de organización de los elementos (todos o algunos de ellos) que lo componen. Sin embargo, la formación de patrones no se explica por las características intrínsecas y específicas de estos elementos, sino, sobre todo, por la dinámica de las relaciones que se establecen entre ellos: *“en los sistemas naturales donde se forman patrones, los contenidos no se hallan ubicados en ninguna parte, sino que se revelan tan sólo en la dinámica, ..., como en un río, cuyos vórtices y estructuras turbulentas no existen de manera independiente a la propia corriente”* (Kelso, 1995, p. 1). Esta dinámica de relación entre los elementos de un sistema va a venir condicionada por el cambio en lo que se conoce como **parámetro de control**. Éste se caracteriza, y esto es muy importante, por ser **inespecífico** al sistema y a los cambios producidos en él: en sí mismo no incluye ninguna información sobre los cambios de patrón, pero los provoca y “dirige”. En definitiva, los patrones son el resultado, no del parámetro de control sino de la autoorganización del sistema, o mejor, de la autoorganización de las relaciones entre los elementos que componen el sistema.

Otro concepto básico de esta corriente es el de parámetro de orden o **variable colectiva** del patrón mostrado. La variable colectiva sería la descripción macroscópica del comportamiento del sistema, es decir de los patrones que exhibe, en una situación

determinada. Si hemos dicho que los patrones son fruto de las interrelaciones entre elementos y que las variables colectivas sirven para describir los patrones, podremos afirmar que las variables colectivas representan o explicitan cierto tipo de interrelaciones entre los elementos del sistema que participan en la acción. Nos hallamos, de nuevo, en un caso de causalidad circular: las variables colectivas dictan el comportamiento de los componentes individuales pero, a su vez, están determinadas por las relaciones que se establecen entre ellos.

A grandes rasgos, la perspectiva de los Sistemas Dinámicos sostiene que los sistemas muestran, en determinadas condiciones, una marcada **estabilidad** en los patrones de comportamiento exhibidos. Sin embargo, la variación del parámetro de control origina una **inestabilidad** en el comportamiento del sistema que se mantiene hasta el momento en el que el parámetro de control alcanza un valor crítico, momento en el cual el sistema cambia su patrón, mostrándose de nuevo estable pero en una nueva forma de comportamiento (figura 4.3). Se conoce como **transición** el proceso de cambio de un patrón estable a otro patrón estable.



Figura 4.3: Estabilidad e inestabilidad en el comportamiento de los sistemas autoorganizados

Llegados a este punto, es necesario aclarar que más que de “estabilidad” se debe hablar de “**multiestabilidad**”, ya que los sistemas, en unas condiciones determinadas, pueden mostrar no un único patrón de comportamiento, sino más de uno. Dicho con otras palabras, dadas unas condiciones establecidas, el sistema puede mostrarse estable en más de una forma de comportamiento. Otro concepto importante es el de **atractor**. Un atractor, como su nombre indica, atrae al sistema hacia una determinada forma de comportamiento. Dado que pueden coexistir varios atractores, el sistema puede comportarse de varias maneras, explicándose, de esta manera, el concepto de

multiestabilidad antes introducido. Esta coexistencia de atractores, pero, no implica que todos tengan la misma potencia, es decir, que no todos los patrones de comportamiento del sistema van a tener la misma estabilidad. Además, debemos tener presente que los cambios en el parámetro de control originan modificaciones en el “paisaje de atractores” del sistema, de tal manera que pueden aparecer nuevos atractores, desaparecer atractores existentes o cambiar la potencia de los atractores presentes.

Finalmente, es necesario aclarar que los cambios inducidos por el parámetro de control no tienen necesariamente que ser reversibles: la secuencia de cambios que provoca en el sistema la variación cuantitativa en un sentido del parámetro de control no tiene porqué reproducirse a la inversa cuando estos cambios en el parámetro de control se dan en sentido contrario.

Una vez enunciadas las características fundamentales de la autoorganización, llega el momento de analizar si el sistema motor humano muestra evidencias de comportamiento autoorganizado. A este aspecto destinaremos el apartado siguiente.

III.2 LA AUTOORGANIZACIÓN EN EL SISTEMA MOTOR

A la hora de cuestionar la aplicación de la Teoría de los Sistemas Dinámicos al control motor, la primera pregunta que debemos hacernos es si se puede considerar el sistema motor como un Sistema Complejo. La respuesta que da Kelso (1995) a esta pregunta nos parece difícilmente refutable: (refiriéndose al cuerpo humano) “*contiene, aproximadamente 10^2 articulaciones, 10^3 músculos, 10^3 tipos de células y 10^{14} neuronas y conexiones neuronales ... Por otro lado el cuerpo humano es multifuncional y de comportamiento complejo*” (p. 37). Una vez claro este aspecto llega el momento de formularse una segunda, y aun más importante cuestión: ¿Se comporta el cuerpo humano como un sistema complejo autoorganizado?

En unos experimentos ya clásicos, Kelso (1981 y 1984, en Kelso 1995) mostró evidencias de que determinadas formas de comportamiento motor humano exhibían todas las características mostradas en los comportamientos autoorganizados que se dan en la naturaleza. Entonces, si tenemos por un lado que el ser humano puede considerarse como un sistema complejo y, por otro, que muestra rasgos claros de autoorganización

en algunos de sus comportamientos, el “salto” está dado: se puede analizar, como mínimo una parte de la conducta humana bajo el prisma de los sistemas dinámicos autoorganizados.

III.2.1. Los experimentos bimanuales de Kelso

Tal y como comenta Wallace (1996) estos experimentos consistían en seguir, con el movimiento (en el plano horizontal) de los dedos índice de ambas manos, un ritmo oscilatorio marcado por un metrónomo cuya frecuencia se podía modificar a voluntad. A la hora de seguir este ritmo externamente impuesto, se pedía a los sujetos que actuaran, según el grupo experimental asignado, de dos maneras diferenciadas: en fase (grupos homólogos de ambas manos contraídos simultáneamente) o fuera de fase (grupos homólogos de ambas manos contraídos alternativamente)

Cuando la modalidad era en fase, un ciclo completo (360°) de actuación se iniciaba (0°) con ambos dedos en abducción, llegaba a su mitad (90°) con ambos dedos en aducción y finalizaba (360°) donde había empezado: con ambos dedos en abducción. Por otro lado el ciclo de la modalidad fuera de fase se iniciaba (0°), por ejemplo, con el dedo derecho en abducción y el izquierdo en aducción, llegaba a su mitad (180°) con el dedo derecho en aducción y el izquierdo en abducción y finalizaba (360°) tal y como había empezado: dedo derecho en abducción e izquierdo en aducción.

Es importante recalcar dos aspectos. En primer lugar, la **variable dependiente** en esta investigación era la **fase relativa** entre ambos dedos, es decir la relación que se establecía entre ellos o, mejor, la diferencia de posición entre un dedo y otro, siempre tomando como marco de referencia la modalidad de ejecución: si el movimiento se realizaba “a la perfección” la fase relativa para en fase era de 0° porque ambos dedos debían, en todo momento, ocupar posiciones equivalentes en su ciclo de desplazamiento; igualmente, la fase relativa para fuera de fase era de 180° ya que ambos dedos se encontraban, en todo momento, separados por medio ciclo (por ejemplo, cuando el dedo derecho iniciaba el ciclo desde abducción, el izquierdo lo hacía desde aducción). De esta manera, lo que realmente se midió fue la precisión con la que se mantenían ambas modalidades de movimiento coordinado. En segundo lugar, tal y como remarca Kelso (1995), se indicaba a los sujetos que el objetivo era seguir

“cómodamente” el ritmo impuesto por el metrónomo y que, si para conseguir esto se producía alguna modificación en la fase relativa no debían esforzarse en corregirla, sino en mantener la frecuencia de movimientos acoplada con la del metrónomo.

La **variable independiente** era, lógicamente, la **frecuencia de oscilación** marcada por el metrónomo. Esta se aumentaba progresivamente en incrementos de 0'25 Hz, desde el valor inicial de 1 Hz hasta el final de 3 Hz, realizándose en cada “bloque” 15 ciclos completos. (a este procedimiento de manipulación de la variable independiente se le denomina escalado – “*scaling*” – y muestra una gran utilización en los estudios propios de esta corriente). Finalmente, se calculó, para cada período de 15 oscilaciones, la media y la desviación estándar de la fase relativa de cada sujeto.

Fijémonos que en la concepción del experimento se pueden hallar varios conceptos básicos de la sinérgica:

- a) Se buscan patrones de relación de los elementos y se analiza su cambio
- b) Para analizar los patrones y el cambio se determina una variable colectiva (la fase relativa) que expresa, no la actuación aislada de los elementos del sistema sino, justamente, su interrelación
- c) Se establece y modifica un parámetro de control inespecífico al sistema pero que se cree que puede guiar su evolución o, mejor, la evolución y el cambio de sus patrones de comportamiento.

¿Cuáles fueron los resultados principales de estos estudios? Se pudo comprobar que para aquellos sujetos que actuaban en fase, el aumento de la frecuencia no suponía ningún cambio significativo en su ejecución: la variabilidad (desviación estándar) de la fase relativa se mantenía en valores bajos. Sin embargo las cosas no fueron de la misma manera para los sujetos que actuaban fuera de fase: en primer lugar se vio que desde el principio costaba más mantener la fase relativa si se comparaba con los sujetos del grupo en fase. Además, conforme aumentaba la frecuencia esta variabilidad se acrecentaba más y más y, llegado un punto crítico (específico para cada sujeto), se constataba un aumento dramático de la variabilidad justo después del cual se producía un cambio espontáneo hacia la modalidad en fase. Curiosamente, si se disminuía de

nuevo la frecuencia, los sujetos no regresaban al patrón fuera de fase sino que se mantenían en fase.

III.2.2. El modelo Haken – Kelso – Bunz.

Partiendo de estos experimentos y con la intención, genérica en esta corriente, de desarrollar modelos matemáticos relativos a la estabilidad y pérdida de estabilidad en la formación de patrones por parte de los sistemas de movimiento (Wallace 1996), Haken, el propio Kelso y Bunz desarrollaron en 1985 el modelo teórico que toma su nombre (Haken-Kelso-Bunz, ver Wallace 1996) y en el que se modelaban matemáticamente este tipo de comportamientos rítmicos – oscilatorios.

De dicho modelo se pueden extraer las siguientes conclusiones aplicadas al análisis de los movimientos rítmicos – oscilatorios

- a) El sistema posee multiestabilidad: los modos en fase y fuera de fase son dos patrones coordinativos estables. En otras palabras, el sistema muestra la presencia de dos atractores (debe entenderse que en el ámbito motor los atractores son concebidos como aquellas formas de comportamiento que, de entre la enorme cantidad de respuestas posibles, son preferentemente exhibidas por los sujetos).
- b) La potencia de estos atractores no es igual: el correspondiente al patrón en fase es mucho más potente que el del patrón fuera de fase. Este hecho se refleja tanto en el estado inicial como en la respuesta al aumento del parámetro de control.
- c) El aumento gradual del parámetro de control produce una modificación en el “paisaje de atractores” que caracteriza al sistema: la estabilidad del patrón en fase disminuye levemente, mientras que el patrón fuera de fase muestra una inestabilidad creciente que se vuelve máxima cerca de un punto crítico a partir del cual se abandona dicho patrón para comportarse en fase. Es necesario remarcar que son las inestabilidades, y no el parámetro de control, lo que es instrumental en las transiciones: *“Irónicamente, muchos de los aspectos del comportamiento que los científicos, especialmente biólogos y psicólogos, tratan de evitar – la inestabilidad del movimiento – se convierten en el mecanismo genérico clave de la autoorganización”* (Kelso 1995, p. 67)

d) Una vez producida la transición fuera de fase → en fase, la variación del parámetro de control en sentido contrario (la disminución de la frecuencia) no origina que se recupere el estado inicial (no se pasa de nuevo de en fase a fuera de fase).

III.2.3. La diversificación de los estudios

Dado que, tal y como afirman R.C. Schmidt y Fitzpatrick (1996) el objetivo de los estudios propios de esta corriente es determinar cuánta de la organización del sistema puede ser estudiada en términos de constricciones dinámicas, es decir “*en términos de regímenes arquetípicos de autoorganización que ocurren en la naturaleza a varios niveles*” (p. 200) no es de extrañar que se hayan realizado múltiples experimentos para comprobar si estos rasgos de autoorganización se repiten en zonas corporales diferentes o en la realización de otro tipo de acciones. Sin ánimo de ser exhaustivos, creemos necesario citar los trabajos siguientes, caracterizados todos ellos por mostrar conclusiones muy similares a las de los trabajos ya comentados:

- a) Kelso, Buchanan y Wallace (1991) estudiaron la coordinación (articulaciones de la muñeca y el codo) en movimientos rítmicos oscilatorios (flexión – extensión de las articulaciones citadas) de un solo segmento.
- b) Kelso y Jeka (1992) analizaron la coordinación intersegmentaria en humanos.
- c) Tuller y Kelso (1990) se centraron en el estudio del habla.
- d) Wallace y otros (1994) estudiaron movimientos de seguimiento y prensión.
- e) R.C. Schmidt, Carello y Turvey (1990) se interesaron por la coordinación de dos personas realizando un movimiento segmentario simple.

Todos estos trabajos, y muchos más, permiten aventurar que el sistema de movimiento humano muestra rasgos claros de autoorganización no sólo en zonas diferentes, sino también en acciones diversas e, incluso, en sistemas formados por más de una persona. Este hecho es muy importante ya que estos patrones autoorganizados se dan a pesar de estudiarse estructuras anatómicas y neurológicas muy diferenciadas.

De todo lo anterior, y a modo de conclusión, podemos afirmar, tal y como hacen Whiting, Voght y Vereijken (1992) que, bajo el punto de vista de la PDE, la

organización motriz, más que asumirse a priori, se consigue a posteriori, como una consecuencia de la dinámica del sistema de acción funcionando de acuerdo con unos principios generales de autoorganización. Yendo, pero, un poco más allá, debemos preguntarnos cómo se concibe el control y la coordinación de los movimientos en esta perspectiva. Intentaremos responder a esta cuestión en el apartado siguiente.

III.3. LA COORDINACIÓN Y EL CONTROL DE LAS ACCIONES MOTRICES BAJO LA PERSPECTIVA DINÁMICA - ECOLÓGICA.

Para poder dar respuesta a la cuestión con la que finalizábamos el apartado anterior e introducíamos el que nos ocupa, debemos aclarar, en primer lugar, que desde esta perspectiva se diferencian, tal y como explicaremos a continuación los conceptos de **coordinación**, **control** y **habilidad** (Newell 1986, Whiting, Vogt y Vereijken 1992, Schmidt y Fitzpatrick 1996)

Por **coordinación** se entiende el ensamblaje de la acción, la concatenación evolutiva de los movimientos en el espacio y en el tiempo o, si se quiere, la manera en la que una persona constriñe sus grados de libertad en **estructuras coordinativas**. Por su parte, el **control** se ve como el “guiado” de la acción o la manipulación de los parámetros libres incluidos en la estructura coordinativa. Finalmente, el término **habilidad** hace referencia a la asignación óptima de valores a las variables antes citadas.

Fijémonos, de esta manera, que la coordinación genera, o se expresa mediante, **estructuras coordinativas**, también denominadas “estructuras dinámicas de control”, “sinergias funcionales”, “mecanismos de propósito específico” o “mecanismos específicos para una tarea” (Schmidt y Fitzpatrick 1996), y que son ensamblajes temporales de sinergias funcionales. Pongamos, siguiendo a Kelso (1995), un ejemplo, e imaginemos a una persona intentando alcanzar dos blancos con ambas manos de manera simultánea: todos los elementos involucrados en la consecución de la tarea se convierten en una sinergia específica o estructura coordinativa. ¿Qué características tienen estas estructuras? Acudiremos a los trabajos de Newell (1986), Whiting, Vogt y Vereijken (1992), Kelso (1995) y Schmidt y Fitzpatrick (1996) para resumir sus aspectos clave:

- a) Incluyen elementos de diferentes niveles: neural, biomecánico, metabólico, informacional y ambiental. Vemos, por tanto, que no se trata de cadenas musculares sino de **conjuntos de elementos funcionales**
- b) Esta funcionalidad hace referencia a la tarea que debe cumplirse, por lo que decir que las estructuras coordinativas están funcionalmente definidas es lo mismo que afirmar que son **específicas a una tarea**
- c) Por este motivo, son **agrupaciones temporales** que pierden su razón de ser cuando finaliza la ejecución de la tarea.
- d) Especifican interdependencias entre los grados de libertad controlables con lo que consiguen una **reducción de los grados de libertad** a controlar.
- e) Su funcionamiento está regido por los principios de la **autorregulación**, por lo que puede considerarse que actúan, relativamente, al margen del control central.
- f) Precisamente, la intervención del control central parece centrarse más en aspectos topológicos que en órdenes musculares. Tal y como afirma Kelso “*El córtex cerebral no parece que planee sus acciones a nivel de los músculos*” y más adelante “*El proceso de autoconjunción parece estar espacialmente determinado ...*” (1995, p. 81)
- g) Son, inherentemente **informativas e intencionales**.

Tal y como se ha comentado anteriormente, los sistemas complejos están compuestos por múltiples elementos que pueden organizarse de diferentes maneras ¿Cuál es el mecanismo de reducción de posibilidades que se utiliza? Según Corbetta y Vereijken (1999) se trata de una confluencia de **constricciones** (hemos optado por traducir de esta manera el término inglés “constraints” por considerar que expresa mejor su significado que otras traducciones posibles como “limitaciones” u “obligaciones”) que pueden provenir del propio organismo, del entorno o de la tarea que se desea llevar a cabo. Es necesario dejar claro que, por sí solas, las constricciones no producen el movimiento, sino que lo acotan mediante lo que R.C. Schmidt y Fitzpatrick (1996) denominan “ecuaciones de constricción”. Según Newell (1986) el papel de las constricciones es eliminar ciertas configuraciones de respuesta, quedando, de esta manera, un patrón de coordinación que reflejará la outoorganización óptima para el sistema enfrentado de manera específica a la tarea.

¿Qué papel juega la intencionalidad en este modelo? Según Kelso (1995) “*la dinámica de la coordinación no es física ordinaria. Tiene que ver con la dinámica de cantidades informativas y significativas*” (p. 70). Vemos, pues, como los partidarios de esta corriente intentan fundir dos lenguajes tradicionalmente irreconciliables (dinámica e intencionalidad) en un nuevo y comprensivo (utilizando la expresión del propio Kelso): la **dinámica intencional**. Y es que, siguiendo siempre al mismo autor, si el conocimiento de las tendencias espontáneas de coordinación era la primera piedra angular de la autoorganización biológica, su **especificidad informacional** se constituye como la segunda piedra angular o aspecto clave de este campo de investigación. Dicho con otras palabras, debe concebirse la coordinación como algo intencional e informacional.

Pero ¿cómo actúa la intención en los sistemas dinámicos autoorganizados? Podemos afirmar que esta no envía instrucciones programadas al sistema efector, sino que debe contemplarse como una parte integral de la “orquestración” del conjunto del organismo, es decir como una información específica que actúa en la dinámica, atrayendo el sistema hacia el patrón deseado, estabilizando o desestabilizando, ¡dentro de unos límites!, la organización existente.

Muy ligado con el concepto de intencionalidad, el aprendizaje de nuevos patrones de coordinación es un aspecto que, lógicamente, ha atraído la atención de los partidarios de esta corriente. ¿Cómo se explica el aprendizaje motor desde esta perspectiva? Según la PDE, los seres vivos son sistemas complejos que poseen la capacidad de adaptarse al entorno y, en ocasiones, aprender. Este aprendizaje será, según Wallace (1996) producto de la autoorganización en situaciones alejadas del equilibrio y supondrá, en muchos casos, la pérdida de estabilidad de los patrones existentes y la emergencia de nuevos patrones de comportamiento. En palabras de Swinnen (1996) “*Aprender no implica construir patrones de acción de novo, sino con el trasfondo de sinergias, reflejos o patrones de coordinación intersegmentarios preexistentes*” (p. 58. Las palabras subrayadas están entre comillas en el original). Vemos, tal y como señalan Corbetta y Vereijken (1999), que se debe diferenciar entre los patrones que el sistema ya posee y los que debe o quiere adquirir, es decir entre la dinámica intrínseca y la dinámica extrínseca. La **dinámica intrínseca** estaría constituida por los modos preferidos de coordinación que ya existen en el sistema, es decir, su estado inicial o, si se quiere, el

reflejo de su historia previa. Por otro lado, la **dinámica extrínseca** estaría constituida por las influencias específicas que suponen la tarea que se desea aprender, la intención de cambio o la información relevante del entorno. Esta dinámica extrínseca interactuaría con la dinámica intrínseca de dos modos principales: la competición y la cooperación. Se da **competición** entre ambas dinámicas cuando estas son contrapuestas, de tal manera que la práctica puede llevar a modificar, incluso a aniquilar, la intrínseca para acomodarla a las nuevas exigencias. Contrariamente, se da **cooperación** cuando ambas dinámicas son compatibles, lo que, evidentemente, facilitará el proceso de aprendizaje (este hecho puede ser útil a la hora de explicar el fenómeno de la transferencia).

Hemos visto que, de alguna manera, aprender es cambiar el paisaje de atractores del sistema, y que los conceptos de estabilidad, inestabilidad y transición vuelven a sonar con insistencia. A la luz de estas premisas ¿Cómo puede favorecerse el proceso de aprendizaje de las habilidades motrices? Lo primero que debemos dejar claro, tal y como hemos introducido anteriormente, es que desde esta perspectiva aun no se han desarrollado pautas completas y concretas de intervención. El propio Kelso es muy explícito al reconocer que (hablando sobre aprendizaje) *“todo lo que puedo proporcionar es un barrido bastante personal”* y, más adelante *“mi principal objetivo , ..., es hacer la “agenda” para desarrollos futuros”* (1995, p. 159). Igualmente, Corbetta y Vereijken, en un artículo específicamente centrado en el aprendizaje y el desarrollo motor, afirman, refiriéndose a las técnicas de enseñanza *“que sepamos, ninguna de las que proponemos se ha comprobado experimentalmente. De manera clara, una extensión futura de este trabajo consistirá en medir el impacto de estas técnicas de enseñanza sobre el rendimiento y el desarrollo”* (1999, p. 525).

Hecha esta aclaración detallaremos algunos de los aspectos que parecen constituir la base para el establecimiento de las estrategias de enseñanza desde la PDE (Whiting, Vogt y Vereijken 1992, Schmidt y Fitzpatrick 1996, Corbetta y Vereijken 1999)

- a) Se debe propiciar el aprendizaje por descubrimiento. Éste hace referencia tanto al descubrimiento de las soluciones óptimas como a qué información es realmente relevante en la ejecución de una acción.

- b) Para facilitar el descubrimiento de las soluciones óptimas puede ser útil perturbar la ejecución para favorecer la exploración del sistema y el hallazgo de nuevos atractores.
- c) Por este motivo la variedad tendrá mucho más peso que la repetición. Esta variedad, concebida para perturbar el sistema, podrá tener fuentes muy diversas.
- d) No parecen útiles los “modelos a imitar”, ni siquiera tiene porqué ser necesario que el aprendiz conozca a priori cual va a ser la solución final. Se trata, contrariamente, de propiciar la búsqueda personal de soluciones individuales a problemas particulares y específicos.
- e) El hecho de considerar que todos los aprendizajes se hacen partiendo de la dinámica intrínseca y que esta refleja la historia personal, ayuda a explicar, como mínimo en parte, las diferencias individuales.

Nos parece oportuno finalizar este apartado con una afirmación de Whiting, Vogt y Vereijken (1992) para quienes la perspectiva tradicional trataba de descubrir las “leyes del aprendizaje”, mientras que el nuevo enfoque pretende el “aprendizaje de las leyes”.

¿Qué críticas se han formulado en relación con esta perspectiva? En el apartado siguiente pasaremos revista a los principales aspectos que este modelo teórico no ha podido explicar de manera convincente.

IV. CRÍTICAS EFECTUADAS A LA PERSPECTIVA DINÁMICA – ECOLÓGICA

Principalmente, las críticas que se hacen a esta corriente se pueden agrupar de la siguiente manera:

- 1) Muchas de sus conclusiones son difíciles de confirmar, estrictamente, de manera experimental. Igualmente, muchos de los resultados obtenidos pueden explicarse desde posiciones cognitivas (Newell 1986, Wieringen 1986, Schmidt 1988, Summers 1998)
- 2) Quedan aun muchos aspectos relativos al proceso del control motor por explicar: cómo se establecen las organizaciones, cómo se desarrollan desde un punto de vista fisiológico, cómo sabe el sistema que la organización adoptada es

la correcta, cómo surgen nuevas organizaciones, por qué se producen los cambios en un momento determinado y no en otro, etc. (Newell 1986, Schmidt 1988, Summers 1998) Según Schmidt (1988) esta incapacidad de explicar las causas últimas lleva a la PDE a padecer el problema que tanto había criticado en relación con el PI: la regresión infinita.

3) No se dispone de una teoría sólida, completa y con valor explicativo sobre el aprendizaje de habilidades (Abernethy y Sparrow 1992, Schmidt 2003).

4) Los estudios realizados se ciñen a una gama muy reducida de tareas. Falta comprobar si sus resultados se reproducen en otro tipo de habilidades (Summers 1998, Corbetta y Vereijken 1999).

5) Se utilizan demasiadas metáforas y términos complejos y de difícil comprensión (“jerga”). Igualmente se da un abuso en la utilización de la modelización matemática (Schmidt 1988, Summers 1998, Corbetta y Vereijken 1999).

Posiblemente, un buen resumen de todo lo anterior sea afirmar que la PDE tiene mucho más poder descriptivo que explicativo.

Frente a estas lagunas ¿Es posible pensar que la solución está en una hibridación entre ambas corrientes (el PI y la PDE)? A favor de la reconciliación podemos citar la evolución vivida por la PDE, que ha pasado de contar con explicaciones puramente físicas a tener presentes aspectos como la motivación, la intención, etc. y el interés de buena parte de los teóricos del PI en incorporar parte de las aportaciones de la otra corriente a sus trabajos (Schmidt y Lee 1999). Por otro lado, son diversos los autores que opinan que las diferencias entre ambas corrientes se deben a la situación de una y otra en diferentes niveles explicativos (Abernethy y Sparrow 1992, Wieringen 1988, Schmidt 1988).

Sin embargo esta reconciliación parece difícil: *“las perspectivas están de acuerdo en no estar de acuerdo”* en palabras de Summers (1998, p. 386). Y es que ambas presentan profundas diferencias en diferentes niveles tal y como se muestra en la tabla 4.1 extraída de Abernethy y Sparrow (1992, p. 28 – 29) con la que concluimos este capítulo.

DIMENSIONES DE CONTRASTE	PERSPECTIVA COGNITIVA	PERSP. DINÁMICA - ECOLÓGICA
Otras denominaciones	Procesamiento de la Información Perspectiva prescriptiva Perspectiva computacional Perspectiva representacional Perspectiva del “movimiento”	Perspectiva “emergente” Perspectiva de la acción
Orígenes filosóficos	Metáfora “hombre – máquina” Soporte implícito al dualismo actor - ambiente	Realismo ecológico Soporte explícito a la sinergia actor - entorno
Orígenes del modelo	Informática e ingeniería	Física moderna y biología teórica / comparada
Dirección de la lógica explicativa	Aumento del poder explicativo por añadidura de sofisticación e inteligencia al modelo computacional	Aumento del poder explicativo por descubrimiento de nuevos procesos fundamentales
Subdisciplina psicológica más próxima	Psicología cognitiva	Psicología ecológica
Modo de organización y control del movimiento	de “arriba a abajo”. Control jerárquico actuando mediante prescripciones	de “abajo a arriba”. Control heterárquico actuando sobre las estructuras coordinativas
Solución a los grados de libertad	Programas motores generalizados estructurados y almacenados centralmente	Estructuras coordinativas que aprovechan las propiedades dinámicas del sistema motor
Relación del control con la cinemática	Planificación a priori que resulta en la cinemática deseada. Prescripción.	La cinemática es una consecuencia a posteriori de la autoorganización
Representaciones centrales	Presentes	Ausentes
Mecanismos de traducción	Esenciales, convierten los planes abstractos en “lenguaje muscular”	No necesarios. Todo el control está en unidades comunes ambientales
Papel del músculo	Ejecuta los planes de control centrales	Determina la forma del movimiento y las interacciones de fases a través de la dinámica
Organización temporal del movimiento	Características temporales de la acción “dictadas” por un mecanismo central	Las características temporales emergen de la interrelación entre efectores
Relación con la percepción	Procesos seriales independientes en los que la percepción precede a la acción.	Acoplamiento inseparable entre percepción y acción (funcional y evolutivamente).
Modelo perceptual utilizado	Computacional (Marr, 1982)	Percepción directa (Gibson, 1979)
Explicación del aprendizaje	Mejora de las estrategias de PI	Mejora de la sintonización con las invariantes esenciales y control sobre la variabilidad del contexto
Papel de la memoria en el aprendizaje	Fundamental en la mejora de las estrategias y en la adquisición de habilidades a largo plazo	Mínimo. Muchos autores niegan los procesos de memoria per se debido a la necesidad de apelar a las representaciones
Paradigma experimental	Trabajo de laboratorio. Movimientos artificiales	Esencial a la validación ecológica. Estudio de acciones naturales
Unidades de medida	Información medida matemáticamente con respecto a la dificultad y/o previsibilidad de la relación estímulo - tarea	Información esencial descrita en unidades acordes con el actor

Tabla 4.1. Dimensiones de contraste entre las perspectivas cognitiva y dinámica – ecológica en el aprendizaje y control motor (basada en Abernethy y Sparrow 1992, p. 28 – 29)