

Models teòrics explicatius de l'aprenentatge motor

Albert Batalla Flores, Luis Miguel Ruiz Pérez i

Miguel Ángel Torralba Jordán*

Introducció

Entès com un cas particular del comportament humà, l'estudi de l'aprenentatge motor s'ha abordat des de diferents paradigmes psicològics com ara —posant com a exemples els treballs d'autors del nostre país— la psicologia interconductual (Riera, 1989; 2005) o el constructivisme cultural (López, 2003). Malgrat això, la pràctica totalitat de models teòrics explicatius s'ha generat des de dos grans corrents: el processament de la informació i la psicologia ecològica. Al llarg d'aquestes línies exposarem, a tall d'introducció, les característiques principals de les teories sorgides d'una i altra escola psicològica. Per fer-ho seguirem l'ordre cronològic, de tal manera que primer introduïrem els models cognitius —la teoria del bucle tancat, d'Adams; i la teoria de l'esquema, de Richard Schmidt— i després els nascuts —com a alternativa als primers— des de posicions dinámicoecològiques. Val a dir, però, que aquest criteri cronològic no el tindrem present a l'hora de parlar de les aportacions de Bernstein: per donar més coherència al nostre discurs, farem un salt en el temps i analitzarem les idees d'aquest científic després d'explicar les teories d'Adams i Schmidt; malgrat que el primer va publicar els seus treballs molts anys abans que els altres dos.

(*) Albert Batalla Flores és doctor en Ciències de l'Educació i professor del Departament de Didàctica de l'Expressió Musical i Corporal de la Universitat de Barcelona. Imparteix, entre d'altres, l'assignatura Aprenentatge i Desenvolupament Motor; àrea en la qual ha desenvolupat la major part de la seva activitat professional. Adreça electrònica: abatalla@ub.edu.

Luis Miguel Ruiz Pérez és doctor en Psicologia, professor i secretari de la Facultat de Ciències de l'Esport de la Universitat de Castella-la Manxa. També és autor de nombroses recerques i publicacions en camps com l'aprenentatge i el desenvolupament motor, la psicologia de l'esport o l'entrenament esportiu. Adreça electrònica: luismiguel.ruiz@uclm.es.

Miguel Ángel Torralba Jordán és doctor en Ciències de l'Educació, és professor i director del Departament de Didàctica de l'Expressió Musical i Corporal de la Universitat de Barcelona. Entre les seves àrees d'especialització, hi trobem l'esport adaptat, la iniciació esportiva i la formació continuada del professorat; àrees en què ha dut a terme nombroses recerques i publicacions. Adreça electrònica: torralba@ub.edu.

1. Models cognitius en l'estudi de l'aprenentatge motor

Si exceptuem el model de l'encadenament de respostes¹ i el de les aportacions de Bernstein (que es tractaran més endavant), la primera formulació d'un model teòric explicatiu de l'aprenentatge motor és la teoria del bucle tancat (Adams, 1971), que el científic dels Estats Units d'Amèrica —Jack Adams— va formular a començament de la dècada dels setanta del segle passat. Poc temps després, el seu compatriota Richard Schmidt va publicar la teoria de l'esquema (Schmidt, 1975) que, fins a l'emergència de la perspectiva dinámicoecològica, ha estat el referent teòric més important dins del camp d'estudi que ens ocupa. A continuació descriurem els aspectes principals d'ambdues teories.

1.1. La teoria del bucle tancat d'Adams

1.1.1. Antecedents i influències

1.1.1.1. *La teoria del bucle tancat com a intent de superació de les posicions conductistes*

A la introducció de l'article en què Adams va donar a conèixer la teoria del bucle tancat, s'hi poden trobar nombroses mostres que confirmen el seu intent de proposar un model científic que superés algunes de les limitacions més importants que el conductisme —i més concretament la Llei de l'efecte de Thorndike— havia imposat en l'estudi de l'aprenentatge motor.

- a) L'autor reacciona contra el caràcter exclusivament empíric —i d'aquesta manera ateorètic— de les aproximacions conductistes a l'aprenentatge motor, i proposa un model que no només es preocupa per l'establiment de les condicions òptimes de pràctica, sinó també pels processos subjacents a l'adquisició de noves habilitats motrius.
- b) De la mateixa manera, es qüestiona la premissa de l'equipotencialitat; atès que es dubta que l'aprenentatge animal i l'humà tinguin les mateixes característiques essencials. En aquest sentit, Adams atorga una gran importància a la capacitat verbal de les persones i a la seva influència en l'aprenentatge motor.
- c) Finalment, l'autor discrepa del caràcter automàtic i no cognitiu de l'aprenentatge humà.

Aquest intent de superar els punts de vista del conductisme s'estructura —com hem comentat anteriorment— des dels postulats propis de la psicologia cognitiva i, més concretament, des del processament de la informació. En el punt

1. Derivat del funcionalisme de James i amb influències clares de l'associacionisme elementista de Guthrie, aquest model teòric té —en paraules de Kelso (1982)— tan poc poder explicatiu que sorprèn que durant força anys fos l'única referència teòrica existent al bloc «occidental» sobre els processos subjacents a l'adquisició i el control d'habilitats motrius. De tota manera, no en serà objecte de revisió des d'aquest article.

següent analitzarem alguns dels aspectes de la teoria del bucle tancat que, d'una manera més clara, indiquen la seva pertinença en aquest corrent psicològic.

1.1.1.2. La teoria del bucle tancat com a teoria del processament de la informació

- a) L'autor deixa clar (Adams, 1971, p. 114) —com hem esmentat més amunt— el caràcter cognitiu de l'aprenentatge humà: «El domini cognitiu és la diferència fonamental entre l'ésser humà i els animals inferiors, i es fa difícil plantejar les lleis de l'aprenentatge humà al marge d'ell».
- b) La teoria del bucle tancat té —com la major part de models cognitius— un marcat caràcter cibernètic.
- c) Aquest caràcter cibernètic es complementa, a més, amb l'existència de diverses estructures de memòria que s'utilitzen com a formes de representació de la informació obtinguda; tant del món exterior com del mateix subjecte.
- d) Adams insisteix en el paper actiu de l'aprenent que, més enllà de respondre a determinades característiques de l'ambient, intenta resoldre els problemes que hom li planteja.
- e) Per resoldre aquest problema, el subjecte es converteix en un processador actiu d'informació.

1.1.1.3. Altres influències

A més dels aspectes ja comentats, la teoria del bucle tancat rep altres influències, tal com indica l'autor mateix a la introducció de l'article. Aquestes poden catalogar-se com a externes al camp de l'aprenentatge humà o com a pròpies d'aquest. D'entre les primeres, Adams destaca les repercussions d'estudis psicològics en tasques de persecució —*tracking*—, a més de treballs propis de la fonètica o de la medicina experimental. Dins les aportacions pròpies del camp de l'aprenentatge motor, l'autor assenyala la influència d'autors soviètics com Bernstein, Anokhin o Sokolov.

Una vegada analitzats els antecedents i les influències més destacats de la teoria del bucle tancat, en l'apartat que segueix explicarem el desenvolupament dels aspectes centrals de què consta.

1.1.2. Desenvolupament de la teoria

Encara que l'autor mateix reconeix que les seves recerques i conclusions es poden estendre a diversos tipus de moviments, la intenció inicial que té s'adreça cap a l'establiment d'un model capaç d'explicar l'aprenentatge i el control de moviments simples i autoregulats —*self-paced*— per part d'humans amb prou edat per posseir habilitat, o competència, verbal —*verbal capability*—. Per això, Adams distingeix dues estructures de memòria implicades en la generació i el control d'aquests moviments: l'empremta perceptiva i l'empremta mnèsica.

1.1.2.1. L'empremta perceptiva

Quan s'inicia el moviment s'evoa aquesta estructura que serveix com a referència per al seu propi control. Així la retroacció —*feedback*— produïda

per la resposta en curs es compara amb l'empremta perceptiva, d'aquesta manera es detecten les diferències que indiquen la direcció i la magnitud de l'error que s'està cometent i se'n possibilita la correcció. L'empremta perceptiva s'enforteix gràcies a la pràctica, i és fruit del contrast entre les conseqüències sensorials de l'acció que es pretén aprendre i el coneixement dels resultats que s'aporta al subjecte. Per dir-ho d'alguna manera, els subjectes aprendrien a reconèixer les conseqüències sensorials pròpies de l'execució correcta del moviment, establint un model amb què comparar les conseqüències sensorials de l'execució en curs i, d'aquesta manera, poder detectar i corregir l'error que s'està cometent. Lògicament, el paper del coneixement dels resultats és fonamental en els primers moments de l'aprenentatge d'aquesta estructura, perquè les correccions que s'efectuïn hi estaran basades. No obstant això, amb la pràctica, l'empremta perceptiva s'enforteix fins a tal extrem que se'n pot arribar a ignorar el coneixement dels resultats; atès que la informació que hi conté permet, per si mateixa, la regulació del moviment. La primera fase de l'aprenentatge, en la qual el coneixement dels resultats és necessari i fonamental, es coneix com l'etapa verbal-motriu; mentre que la fase avançada, en la qual es pot continuar aprenent sense coneixement dels resultats (Adams denomina aquesta capacitat d'aprenentatge sense informació externa sobre els resultats *reforç subjectiu*), rep el nom d'etapa motriu.

1.1.2.2. L'empremta mnèsica

Aquesta segona estructura s'encarregaria de seleccionar i iniciar el moviment en qüestió. De la mateixa manera, s'enforteix amb la pràctica. El fet que tingui existència pròpia, diferenciada de l'empremta perceptiva, es justifica per tres causes fonamentals. En primer lloc, l'empremta perceptiva requereix retroacció, inexistent abans de l'inici del moviment (per aquest motiu es concep l'empremta mnèsica com una espècie de programa motor «limitat» que opera en bucle obert i que té com a funció simplement iniciar o «llançar» el moviment). En segon lloc, es pretén reflectir les diferències conegudes entre els processos de record i de reconeixement: en el desenvolupament de la teoria d'Adams, l'empremta perceptiva assumiria les característiques del reconeixement; mentre que la mnèsica faria el que li correspon amb el record. Finalment, la tercera raó per admetre l'existència de dues estructures diferents radica en la impossibilitat que la mateixa estructura que s'utilitza per iniciar un moviment serveixi per controlar-lo. Si fos així, mai no es podria detectar l'error perquè mai no existiria aquest error! En paraules d'Adams (1971, p. 126), «si l'agent que inicia la resposta és també la referència amb què es contrastarà la correcció de la resposta, aquesta ha de ser necessàriament jutjada com a correcta, perquè s'està comparant amb si mateixa».

1.2. La teoria de l'esquema de Schmidt

La teoria de l'esquema de Richard Schmidt va ser publicada el 1975 i és, possiblement, l'aportació més important que s'ha efectuat —des de posicions cognitives— a l'estudi de l'aprenentatge i el control motor. A continuació, efectuarem una anàlisi del model teòric proposat per Schmidt. Per això, assenya-

larem alguns dels antecedents i influències principals que cal destacar, en una segona part, dels aspectes més importants del seu desenvolupament teòric.

1.2.1. Antecedents i influències

1.2.1.1. Aspectes que pretén superar la teoria de l'esquema

Segons es dedueix de la lectura de la introducció de la publicació de Schmidt, el seu model teòric pretén suposar una reacció contra tres grans aspectes.

1. L'autor reacciona, de manera semblant a Adams, contra la posició conductista a l'hora d'afrontar l'estudi de l'aprenentatge de les habilitats motrius.
2. De la mateixa manera, Schmidt reacciona contra la falta de base empírica que caracteritzaven algunes de les formulacions teòriques nascudes en el si de la psicologia cognitiva.
3. Finalment, podem afirmar que la teoria de l'esquema reacciona contra alguns dels aspectes que la teoria del bucle tancat d'Adams no era capaç d'explicar. D'entre aquests aspectes —set en total— cal remarcar-ne dos.

a) El problema de l'emmagatzematge en la memòria potser sigui, juntament amb la següent, l'objecció més clara i estesa de Schmidt a la teoria del bucle tancat. L'autor sosté que, atesa l'enorme quantitat d'habilitats motrius que som capaços de dur a terme, el fet de disposar d'unes estructures específiques —per a l'execució concreta i específica de cadascuna d'aquestes habilitats— obligaria a disposar d'una capacitat de memòria molt superior a la que se suposa que posseeix l'ésser humà.

b) El problema de la novetat. L'execució de moviments inèdits és un fet indubtable: en moltes ocasions fem respostes específiques que mai abans no s'han posat en acció. La paradoxa és que, si no s'han efectuat anteriorment, és impossible —d'acord amb la teoria d'Adams— que se n'hagin desenvolupat els mecanismes de control i, si no disposem d'aquests, com som capaços de portar-los a terme?

1.2.1.2. Principals influències

1. La teoria de Schmidt reuneix tots els aspectes característics, o com a mínim la majoria, del paradigma psicològic del processament de la informació: estructures i constructes de memòria, transformació (processament) de la informació, etc.
2. Schmidt beu de manera constant de les aportacions d'autors que van treballar dins el camp de l'esquema, encara que és necessari aclarir que es tracta d'una formulació de l'esquema que podríem definir com a «primitiva». Aquest fet, lògic si tenim present la data de publicació de l'article, serà tractat més a fons posteriorment.
3. La tercera gran influència de la teoria de Schmidt radica en els estudis relatius als programes motors. Així, en el treball, s'hi fan referències a estudis pioners

en aquest camp com ara els de Lashley i Henry, i també —molt especialment— a les interessants aportacions de Pew, reconegut pel mateix Schmidt com una de les influències més directes i importants del seu model teòric.

Una vegada analitzades breument les influències de la teoria de l'esquema, és l'hora d'analitzar quins són els seus aspectes més importants; fet que portarem a terme en el següent apartat.

1.2.2. Desenvolupament de la teoria

Schmidt proposa dues estructures que permeten explicar, de manera conjunta, l'aprenentatge i el control d'habilitats motrius: els programes motors i els esquemes motors.

1.2.2.1. *El programa motor*

1.2.2.1.1. *Antecedents i concepte*

La creença de l'existència d'una sèrie d'ordres relatives a l'activitat muscular necessària per desenvolupar una habilitat motriu emmagatzemades en la memòria i que són capaces, per si mateixes, de controlar aquesta habilitat es remunta, com a mínim, als treballs de Lashley. Aquest autor va investigar, el 1917, un pacient que malgrat haver sofert una ferida de bala a l'esquena —que li ocasionava la pèrdua total de sensibilitat del tren inferior— era capaç de moure les cames i de desplaçar-se amb una precisió sorprenent; a causa d'aquest fet, aquest autor va suggerir l'existència d'un control central del moviment capaç de regular-lo en absència de retroacció. Aquesta idea va ser represa per diferents autors, entre els quals cal destacar Henry —que va aplicar el concepte informàtic del «tambor de memòria» al control motor— i Pew, potser un dels autors més destacats en aquest camp i, sens dubte, una de les influències més directes, reconeguda pel mateix Schmidt, en la redacció de la teoria de l'esquema.

De la mateixa manera, molts treballs procedents de la investigació amb animals han servit d'inspiració en aquesta línia de pensament psicològic. Tanmateix, és necessari comentar que cal actuar amb reserves a l'hora d'aplicar els resultats d'aquestes recerques al control de la motricitat humana, tal com fa Schmidt (1975, p. 232) quan afirma: «La limitació d'aquestes troballes en el comportament motor humà radica en el fet que aquests programes motors subhumans probablement poden ser considerats com a innats, i no existeix, tot i l'evidència que els actes apresos puguin ser programats, com ens agradaria creure que succeeix quan es xuta una pilota».

De tota manera, Schmidt adopta una posició clarament favorable a l'existència de programes motors, fins al punt que formen una part fonamental del seu model teòric. No obstant això, aquest autor proposa una concepció substancialment diferent a aquesta estructura de memòria, perquè postula l'existència del que ell denomina *programes motors generalitzats*.

1.2.2.1.2. *El programa motor generalitzat*

Anteriorment hem comentat que una de les crítiques que Schmidt fa a la teoria d'Adams es relaciona amb la incapacitat d'aquesta per respondre, de manera satisfactòria, al problema de la capacitat de la memòria per emmagatzemar les ordres relatives a l'execució de cada moviment específic. Aquest problema es presenta igualment si s'admet que cada execució motriu té el seu propi i exclusiu programa motor. És per aquest motiu que l'autor proposa l'existència de programes motors generalitzats, capaços de controlar l'execució de classes o famílies de moviments. Aquests programes motors serien capaços de «presentar les ordres preestructurades per a un nombre de moviments si es proporcionen les especificacions concretes de cada resposta» (Schmidt, 1975, p. 232). Aquest fet, l'existència d'una única estructura capaç de controlar l'execució de moviments similars —de fet es tracta de dues estructures si tenim present l'esquema motor—, permet solucionar el problema de l'emmagatzematge en la memòria, perquè redueix dràsticament el nombre de programes motors que han d'aprendre's i conservar-se. Alhora, però, planteja un altre dubte: com d'amplis són aquests programes motors generalitzats? o, dit amb altres paraules, quin grau de similitud han de tenir les habilitats per ser controlades pel mateix programa motor generalitzat? Encara que la solució d'aquest problema es desconeix, el mateix Schmidt (1975, p. 232) en minimitza la transcendència quan afirma que «com de gran sigui una categoria no té, ara per ara, una gran importància mentre es pugui postular que no existeix una relació "d'un a un" entre el programa i cada moviment específic que l'individu pugui produir, en el sentit d'evitar el problema de l'emmagatzematge en la memòria».

Anteriorment hem comentat que el programa motor generalitzat és capaç de controlar l'execució dels moviments sempre que es proporcionin les especificacions concretes de cadascun d'aquests. Dit amb altres paraules, el programa motor generalitzat s'encarregaria de controlar els aspectes comuns —les invariants— d'una família de moviments. La pregunta que en sorgeix és: què s'encarrega de controlar els aspectes variables? La resposta que Schmidt proposa es fonamenta en l'existència dels esquemes motors.

1.2.2.2. *L'esquema motor*

1.2.2.2.1. *Antecedents i concepte*

La noció d'esquema té una àmplia tradició en psicologia i s'ha estès a diferents camps o àrees d'estudi com la percepció, la representació del coneixement o la solució de problemes. Schmidt, en la seva teoria l'aplica, lògicament, a l'execució d'habilitats motrius. Abans de comentar els aspectes concrets d'aquesta aplicació, creiem que és necessari comentar alguns aspectes sobre la concepció que Schmidt té dels esquemes.

Encara que l'autor faci múltiples referències als treballs de Bartlett, la seva concepció de l'esquema és poc —o gens— constructivista i molt —o totalment— computacional. Així, proposa una estructura formada per inducció i abs-

tracció que segueix postulats que, en el fons, són clarament associacionistes. A més, la data de publicació del treball de Schmidt, fa que el concepte d'esquema que proposa estigui bastant allunyat de la concepció actual —complexa i sumament elaborada— i se situï més a prop de les teories probabilístiques de formació de conceptes o de les regles de producció. Com a mostra de la primera afirmació, tan sols hem de fixar-nos en les múltiples referències que l'autor fa als treballs de Posner i Keele, que en l'actualitat no es consideren representatius de les teories dels esquemes; sinó de les teories probabilístiques de formació de conceptes (Pozo, 1996). Quant a la proximitat de la posició de Schmidt a les regles de producció, o a parelles de condició-acció del tipus «si..., llavors...», n'hi ha prou que ens fixem en la definició d'esquema que, l'autor mateix proposa en publicacions posteriors en què afirma (Schmidt, 1982, p. 320) que un esquema és «una regla que relaciona els diversos resultats dels membres d'una classe d'accions amb els paràmetres que en determinen el resultat».

De tota manera, Schmidt atribueix als esquemes motors el paper de reguladors dels aspectes variables de l'execució de les habilitats motrius. A continuació, analitzarem el procés de formació d'aquests esquemes. La informació provinent de diferents fonts —la retroacció intrínseca, la situació inicial, els comandaments, el coneixement dels resultats, etc.— s'emmagatzema de manera conjunta en acabar el moviment. Quan s'han efectuat una certa quantitat de respostes, el subjecte comença a relacionar les diferents fonts d'informació i porta a terme una abstracció d'aquestes relacions. És important destacar que l'esquema, el que s'emmagatzema, no són les dades concretes; sinó les relacions que s'hi estableixen i s'elaboren, per abstracció, un conjunt de regles. Aquest procés, clarament inductiu, s'enforteix —segons Schmidt— amb la pràctica i amb la precisió de les diferents retroaccions que es rebin.

Arribats en aquest punt, creiem necessari efectuar un comentari crític sobre aquest aspecte de la teoria de Schmidt. Igual que moltes aportacions dutes a terme des del Processament de la Informació, la teoria de l'esquema no concreta quins són els mecanismes concrets de l'aprenentatge, sinó que es limita a indicar que s'abstreuen i s'emmagatzemen una sèrie de regles obtingudes mitjançant processos d'inducció no determinats. La pregunta és qui, què o com es controlen aquests processos inductius? Es relacionen totes les informacions i totes les dades entre si? Una resposta afirmativa en aquesta pregunta implicaria una quantitat ingent, gairebé infinita, d'operacions de processament la majoria de les quals donarien com a resultat unes regles absolutament irrelevantes. Contràriament, una resposta negativa, és a dir admetre l'existència d'un procés de selecció de les dades que s'han de relacionar, implicaria l'actuació d'un mecanisme de control de la inducció que simplifiqués les operacions i conduís a l'abstracció de, tan sols, aquelles regles útils: Schmidt no efectua la més mínima referència en aquest mecanisme ni a cap procés comparable. Seria injust, no obstant això, fer aquesta crítica exclusivament a l'autor que ens ocupa: tal com afirma Pozo (1996) el control de la inducció és una de les manques més importants i comunes de, pràcticament, totes les teories computacionals de l'aprenentatge.

Si deixem al marge aquestes apreciacions i partim del fet que el subjecte ja ha adquirit el programa motor generalitzat i l'esquema motor propis d'una classe de moviments, quins són els processos que es porten a terme per executar una habilitat?

1.2.2.3. *La producció i el reconeixement de la resposta*

A l'hora d'executar una resposta, el subjecte ha de processar la informació procedent de dues fonts: les condicions inicials i la sortida desitjada o resposta específica. De la relació entre els resultats obtinguts i les especificacions pròpies d'execucions anteriors, aplicant el que Schmidt denomina *esquema de record* —que, en certa manera, seria l'equivalent a l'empremta mnèsica d'Adams—, el subjecte és capaç de determinar les especificacions necessàries per portar a terme la resposta actual. L'existència de l'esquema, al model de Schmidt, permet explicar la producció, dins una classe determinada de moviments, de respostes inèdites, perquè aquestes es generarien per interpolació a partir de les experiències anteriors. Aquestes especificacions servirien per aplicar el programa motor generalitzat a les circumstàncies concretes en què es va a portar a terme la resposta actual.

Com veiem, l'esquema de record permet a Schmidt explicar la producció de la resposta. No obstant això, aquesta estructura no pot, per les característiques i components que té, servir com a element de control de l'execució del moviment. Per portar a terme aquesta funció, la teoria de Schmidt preveu l'existència d'un segon tipus d'esquema: l'esquema de reconeixement.

1.2.2.3.1. *El reconeixement de la resposta*

Tenint present les condicions inicials, el subjecte genera un esquema que li permet preveure les conseqüències sensorials que implicarà l'execució del moviment, el que li possibilitarà controlar el desenvolupament de l'acció. Aquest segon esquema, que podria homologar-se a l'empremta perceptiva de la teoria d'Adams, rep el nom d'esquema de reconeixement i suposa un element de referència amb què es compararan les conseqüències sensorials de la resposta actual. Aquesta comparança permetrà detectar els errors que es produeixin.

Ambdós esquemes, el de record i el de reconeixement, estan fortament relacionats, però són diferents. En paraules de l'autor, «encara que les conseqüències sensorials esperades i les especificacions de la resposta estan fortament associades, no és necessari que siguin isomòrfiques [...] perquè els esquemes de record i de reconeixement són diferents». Cal que es noti que, en la formació de l'esquema de record, hi intervenen les condicions inicials, la sortida desitjada i les especificacions; mentre que, en la de l'esquema de reconeixement, hi participen igualment les condicions inicials i la sortida desitjada, però, la tercera font és diferent: en lloc de les especificacions es tenen en compte les conseqüències sensorials.

Tal com hem vist, els models cognitius defensen l'existència de representacions internes com a explicació del control motor. Si bé aquests constructes

han permès entendre molts aspectes de la nostra capacitat motriu, també és cert que han deixat moltes llacunes, algunes de les quals les va detectar el científic rus Nikolai Bernstein molts anys abans de l'eclosió d'aquests models.

2. Les aportacions de N. A. Bernstein

Nikolai Alexandrovic Bernstein va néixer a Rússia el 1896 i va desenvolupar, en l'antiga Unió Soviètica, tota la seva activitat professional fins al moment de la seva mort, esdevinguda el 1966. Va estudiar medicina encara que va estar interessat per temes molt diversos (les matemàtiques, la música, etc.). També va rebre inspiració de corrents científics molt dispars —la Gestalt, la cibernètica, etc.— (Boongardt, Meijer, 2000). Aquesta diversitat d'interessos i de fonts d'inspiració, juntament amb la gran quantitat i diversitat de llocs de treball que va ocupar al llarg de la seva vida, van motivar que els seus camps de desenvolupament professional fossin molts i molt diversos (el registre del moviment, la biomecànica, l'ortopèdia, la fisiologia, etc.). Tot i amb això, es pot afirmar que va dedicar bona part de la seva vida professional a l'estudi dels mecanismes fisiològics dels moviments i de l'activitat motriu humana (Luria, 1995; Gurfinkel, Cordo, 1998).

En aquesta dedicació va reaccionar contra les visions purament reactives de la motricitat (Bernstein, 1989d) que en aquesta època predominaven a l'URSS, on la línia pavloviana era considerada com l'«oficial» per part del règim. Aquest fet li va implicar importants problemes que van arribar, fins i tot, a apartar-lo de l'activitat laboral i de la producció científica. L'evolució política de la Unió Soviètica va propiciar, no obstant això, la reincorporació professional de Bernstein i el va dur a aconseguir importants guardons. El seu posicionament científic es va situar en la denominada *fisiologia de l'activitat* que —com explicarem més endavant— considera que els moviments, lluny de ser una mera resposta a estímuls ambientals, són dirigits pels seus objectius o, dit d'una altra manera, que constitueixen —i així cal que siguin entesos i analitzats— la solució a un problema. Aquesta perspectiva, que remarca la interacció entre l'individu i el seu entorn (Feigenberg, 1998) el va dur a mantenir posicions molt properes a científics com Vygotsky, Luria o Leontiev (Bongaardt, Meijer, 2000).

L'obra de Bernstein és extensa (prop de cent quaranta publicacions) però les circumstàncies geopolítiques pròpies de bona part del segle xx van dificultar-ne la difusió més enllà de l'esfera dels països socialistes: tan sols vint-i-vuit dels seus treballs són traduïts a l'anglès o a l'alemany (Bongaardt, Meijer, 2000); quant a la presència de treballs d'aquest autor traduïts a llengües d'arrel romànica, el panorama és descoratjador: tan sols hem trobat una publicació en italià on es recullen alguns dels seus articles més significatius. Aquest fet va motivar que les idees d'aquest autor no fossin gaire conegudes en el «bloc occidental» fins fa pocs anys. No obstant això, els últims temps han suposat una important reconsideració cap a la seva obra —motivada sobretot

per l'auge de la perspectiva dinámicoecològica en l'estudi del control, l'aprenentatge i el desenvolupament motor— que adopta alguns dels pressuposts teòrics de Bernstein com a fonament del seu paradigma.

Ara bé, el caràcter ambigu —i fins i tot contradictori en alguns casos— de les conclusions a què arriba ha motivat que la seva influència es deixi notar en models teòrics diferents i, en ocasions, contradictoris com és el cas de la ja citada perspectiva dinámicoecològica i el punt de vista dels programes motors generalitzats de Schmidt (Bongaardt, Meijer, 2000). Malgrat aquest fet, és indubtable la importància que les idees i aportacions d'aquest tenen avui dia en el desenvolupament de les ciències del moviment humà, motiu pel qual a continuació intentarem resumir-ne alguns dels aspectes més destacats.

- a) *La variabilitat del moviment humà*: l'observació sistemàtica i el registre del moviment humà van dur Bernstein a afirmar que, en l'execució de les habilitats motrius —fins i tot en aquelles més consolidades—, s'hi detecta una estructura bàsica i comuna, però la seva execució i la forma final que té, mai no es repeteix de manera idèntica (Luria, 1995).
- b) *Els graus de llibertat*: pensem en la gran quantitat d'articulacions (cadascuna amb un, dos o tres eixos possibles de gir) que s'impliquen en la major part de moviments que som capaços de dur a terme. Considerem ara que el moviment d'aquestes articulacions està, com a mínim parcialment (vegeu el punt següent), controlat per diferents grups musculars i que, en definitiva, la unitat funcional dels músculs són les unitats motores (cada grup muscular està constituït per una quantitat variable però substancialment elevada d'aquestes). Aquestes reflexions són les que van dur el nostre autor a afirmar que una de les característiques més importants del nostre sistema motor és la gran quantitat de graus de llibertat que cal controlar (Bernstein, 1989a). Aquesta constatació, que s'ha denominat *el problema de Bernstein*, fa molt difícil considerar que el senyal central pugui manejar tots els graus de llibertat presents en el sistema (Turvey, Fitch, Tuller, 1982; Bongaardt, Meijer, 2000).
- c) *La influència de forces externes*: les forces reactives i/o externes (la gravetat, els fregaments, les inèrcies, etc.) desenvolupen una tasca crucial en el desenvolupament final de l'execució motriu. Atès que aquest tipus de forces són, per les seves característiques, imprevisibles per part del sistema nerviós central, Bernstein (1989c) va afirmar que no pot existir una relació unívoca entre els senyals centrals i la resposta motriu.
- d) *El caràcter global del control dels moviments*: fruit de l'observació i el registre del moviment humà, Bernstein va constatar que qualsevol modificació en l'execució d'una acció motriu s'anava corregint al llarg del seu desenvolupament posterior. Dit amb altres paraules, cal entendre el control dels moviments com una unitat (Bernstein, 1989b).

Com es pot explicar el control i l'aprenentatge d'uns moviments que mai no es repeteixen de la mateixa manera?, com ho fa el sistema motor per con-

trolar una quantitat tan gran de graus de llibertat?, de quina manera tenen present les ordres centrals la influència de les forces externes? i, finalment, com es pot explicar el control global de les accions motrius? Per donar resposta en aquestes qüestions, Bernstein va proposar una organització jeràrquica del sistema de moviment humà en què coexisteixen un nivell superior, encarregat de definir de manera global la resposta al problema plantejat (recordem que aquest autor entenia els moviments com a solucions a problemes), i un d'inferior; la coordinació que, mitjançant un flux constant d'informació, organitza l'aparell locomotor perquè aquest pugui resoldre amb èxit el problema plantejat (Bernstein, 1989*b*; 1989*d*). En paraules del propi autor (1989*d*, p. 165), «en tot moviment hem de distingir entre: l'estructura del seu contingut i els moviments que el componen (composició motriu). L'estructura del contingut d'una acció motriu és determinada globalment per la naturalesa del problema motor que cal solucionar, i determina el nivell de guia estructural (primari) que ha de fer-se càrrec d'aquest problema. Els moviments que el componen són determinats, no només per l'objectiu; sinó també per la relació amb les possibilitats motrius que té, amb les característiques de les cadenes cinemàtiques, amb la disponibilitat dels diversos instruments, amb el contingut de les experiències psicomotrius adquirides fins en aquest moment per l'individu, etc».

Si deixem de banda la possible manca de concreció del model aportat per l'autor soviètic, el que sí que és evident és que, des de posicions cognitives, es gairebé impossible donar una resposta satisfactòria als diferents problemes que Bernstein va plantejar. Com poden, unes ordres més o menys fixes —com ho són les que formen part dels constructes propugnats tant per Adams com per Schmidt—, generar respostes motrius variades? Com pot, el sistema nerviós central, controlar una quantitat tan gran de graus de llibertat? De quina manera unes ordres preestablertes poden tenir present la influència —canviant i imprevisible— de les forces externes? Com s'explica, a partir dels programes i dels esquemes motors o de les empremtes mnèsica i perceptiva, el caràcter global —gairebé circular— del control motor? I és que les aportacions de Bernstein són, sense cap mena de dubte, la crítica *avant la lettre* més important i inqüestionable que han patit les postures cognitives en la seva formulació teòrica sobre el control motor, i s'han constituït en el principal fonament de les formulacions teòriques alternatives.

3. Introducció a la perspectiva dinámicoecològica

En un interessant treball que es va publicar ja fa uns anys, Abernethy i Sparrow (1992) analitzen sota quin paradigma s'han escrit els articles publicats a la prestigiosa revista *Journal of Motor Behavior* (que és considerada com una de les publicacions més influents, sinó la que més, en el camp de l'aprenentatge i el control motor) entre 1969 i 1990. Els resultats mostren que a partir de la dècada dels vuitanta els escrits relacionats amb les teories emmarcades dins el processament de la informació pateixen un important declivi; mentre que, simultàniament, apareix amb força una nova línia teòrica i de

recerca que els autors engloben sota l'epígraf de *teories dinàmiques oscil·latòries* i que nosaltres denominarem *perspectiva dinámicoecològica*.² Aquest paradigma ha rebut diferents denominacions: perspectiva de l'acció, perspectiva dinàmica, perspectiva ecològica, perspectiva dels sistemes dinàmics, perspectiva dels sistemes complexos, etc., i rep influències de posicions properes a la teoria del caos, de la complexitat o de la dinàmica no lineal.³ Els seus plantejaments són antagònics als exhibits pels models cognitius, atès que aquesta perspectiva es caracteritza per negar l'existència de representacions mentals enteses com a elements del control motor. En què es fonamenten per negar l'existència de les representacions internes? A part de prendre com a base les aportacions de Bernstein, els autors emmarcats en aquesta línia al·ludeixen al *problema de la regressió infinita* per argumentar les crítiques que fan als models cognitius. En paraules de Schmidt mateix —que efectua una revisió dels seus propis punts de vista i exposa els arguments utilitzats pels seus contrincants—, «si els detalls d'una acció són controlats per un programa, aleshores, com s'estructura el programa? Qui l'estructura? Quines són les regles per a la seva formació? D'aquesta manera, per a la perspectiva de l'acció cada especificació de l'activitat en el sistema nerviós central manlleva intel·ligència en tant que representa un comportament —en l'àmbit de l'SNC— que, finalment, ha de ser explicat» (Schmidt, 1988, p. 7).

En absència de representacions mentals, com es controla la resposta motriu? Segons aquesta perspectiva el sistema motor humà s'autoorganitza per aconseguir assolir els objectius plantejats.

3.1. L'autoorganització

Es pot definir l'autoorganització com una forma de comportament que mostra els sistemes complexos en situacions allunyades de l'equilibri i que permet explicar «com un comportament extraordinàriament complex pot sorgir a partir de poques (però no lineals) regles» (Kelso, 1995, p. 2). Un sistema complex és aquell que està format per més de dos elements —en poden ser molts més!— que interactuen. De la mateixa manera, un sistema obert és aquell que es troba en una situació de no-equilibri, atès que intercanvia, si més no, energia amb l'entorn en què es troba. En aquestes condicions, l'autoorganització porta el sistema a adoptar, en determinades condicions, uns *patrons de comportament* que constituïran determinades formes d'organitza-

-
2. Dins aquesta perspectiva coexisteixen diferents línies teòriques i de recerca. Segons Summers (1998) cal destacar tres grans corrents: la percepció directa, la cinètica i els sistemes dinàmics. En el desenvolupament d'aquest apartat ens fixarem especialment en les aportacions del tercer corrent (el dels sistemes dinàmics), que és el que més pes té actualment.
 3. Segons diferents autors, com ara Abernethy i Sparrow (1992), Summers (1998), Turvey (1990) o Whiting *et al.* (1992), les principals influències d'aquest paradigma cal cercar-les en els treballs de Bernstein, en la teoria ecològica de la percepció de Gibson i en aportacions de la matemàtica o la física com ara la no-linearitat, la termodinàmica o la sinèrgica. Si bé hem fet una introducció a les aportacions de Bernstein, les característiques d'aquest treball i l'orientació que hem decidit donar-li no ens permeten entretenir-nos en l'anàlisi de les altres dues grans influències.

ció dels elements (tots o alguns d'ells) que el componen. Tanmateix, la formació de patrons no s'explica per les característiques intrínseques i específiques dels elements del sistema, sinó, fonamentalment, per la dinàmica de les relacions que s'hi estableixen: «En els sistemes naturals a on es formen patrons, els continguts no es troben ubicats enlloc, sinó que es mostren únicament en la dinàmica [...] com ara en un riu, a on els remolins i les turbulències no existeixen de manera independent al propi corrent» (Kelso, 1995, p. 1). És important remarcar que un mateix mecanisme permet formar patrons diferents i que, de manera semblant, un mateix patró pot formar-se en diferents mecanismes. D'això podem deduir que no pot establir-se una relació directa i unívoca entre el mecanisme i els patrons formats: tot acabarà depenent de la dinàmica que s'estableixi en la relació dels seus elements constitutius.

D'una altra banda, aquesta dinàmica de relació entre els elements d'un sistema està condicionada pel canvi en què es coneix com a *paràmetre de control*. Aquest paràmetre es caracteritza, i això té una gran importància, per ser inespecífic al sistema i als canvis que s'hi produeixen: per si mateix no inclou cap informació sobre el canvi de patró, però els provoca i els dirigeix. En definitiva, els patrons són el resultat no del paràmetre de control, sinó de l'autoorganització del sistema o, encara millor, de l'autoorganització de les relacions entre els elements que componen el sistema.

Un altre concepte de gran importància és el de paràmetre d'ordre o *variable col·lectiva* del patró. Aquesta variable col·lectiva seria la descripció macroscòpica del comportament del sistema —més aviat dels patrons que exhibeix— en una situació determinada. Atès que abans hem comentat que els patrons neixen de les interrelacions entre els elements i que les variables col·lectives serveixen per descriure els patrons, podem afirmar que la variable col·lectiva representa o explicita un determinat tipus d'interrelacions entre els elements del sistema que participen en l'acció.

Un cop hem arribat en aquest punt és molt important remarcar que ni res ni ningú no organitza el sistema. Kelso (1995, p. 25), fent referència a la metàfora més utilitzada pels partidaris de posicions cognitives a l'hora d'explicar el control motor, afirma que «a diferència dels ordinadors, que requereixen programes determinats per produir resultats determinats, la tendència a l'autoorganització és intrínseca als sistemes naturals sota determinades condicions». Així, els elements del sistema s'autoorganitzen com a conseqüència dels canvis que experimenta un paràmetre (el de control) que li és inespecífic: no conté cap informació útil per organitzar el sistema, únicament provoca canvis en la relació que s'estableix entre els seus propis elements, i aquesta nova forma de relació desemboca en l'emergència de patrons d'ordre, que es descriuen mitjançant la variable col·lectiva. Una qualitat característica de les variables col·lectives és que es mantenen, enfront dels canvis del paràmetre de control, més temps invariables i que quan canvien ho fan de manera més lenta que altres variables o formes de comportament mostrades pel sistema. És per aquest motiu que les variables col·lectives són, sobretot, identificables en situacions de canvi o de transició.

Com fa Wallace (1996), posarem un exemple del món natural per ajudar a explicar tots aquests aspectes. Imaginem un curs d'aigua amb un roc al mig del seu recorregut. Si el corrent flueix a poc a poc podrem observar com, al voltant del roc, s'hi formaran uns patrons laminars de desplaçament de l'aigua. Si la velocitat del corrent s'incrementa, aquests patrons es veuran afectats i entraran en una fase d'inestabilitat, fins que, en arribar a un punt crític, es produirà un canvi espontani de patró de comportament i apareixeran remolins al voltant de la pedra. Aquests remolins ocuparan una posició relativament estable (segurament no es desplaçaran riu avall) però, si es continua incrementant la velocitat de l'aigua, es començaran a desfer i a avançar en el sentit del corrent. Finalment, si la velocitat arriba a un nou punt crític, els remolins desapareixeran i es formaran turbulències al voltant de la pedra. Apliquem els conceptes que hem introduït abans al cas concret del riu. El curs d'aigua és el sistema, format per nombrosos elements que hi interactuen. Les formes que descriu l'aigua (el flux laminar, els remolins, els remolins que avancen i les turbulències) són els patrons de comportament, que estan caracteritzats per unes variables col·lectives determinades i que canvien en funció de la variació d'un paràmetre de control (la velocitat de l'aigua), que d'una banda, és inespecífic al sistema i, d'una altra, no conté cap informació relativa als patrons de comportament que aquest origina. Ens trobem davant un cas clar d'autoorganització: ni res ni ningú no organitza el sistema, és la interrelació entre els seus elements, guiada pel canvi en el paràmetre de control —que és inespecífic!—, la responsable de l'emergència de patrons autoorganitzats d'ordre.

Si seguim amb l'exemple del riu podrem introduir dos nous conceptes molt utilitzats pels partidaris d'aquest corrent: l'*estabilitat* i la *inestabilitat*. El primer, reflecteix la resistència al canvi exhibida pels patrons de comportament sempre que el paràmetre de control no variï. L'alteració del paràmetre de control fa que el sistema es mostri inestable: els patrons de comportament varien i, en arribar a un punt crític, el sistema canvia espontàniament i dona lloc a l'emergència d'un altre patró estable —i diferent— de comportament. L'estabilitat i la inestabilitat són conceptes fonamentals en la perspectiva dinàmica i ecològica, perquè descriuen el comportament del sistema dins un patró i en el moment de *transició* o canvi d'un patró a un altre. Segons Corbetta i Vereijken (1999), la inestabilitat sorgeix de les modificacions internes i/o externes que afecten els patrons de comportament del sistema, dura molt menys que les fases estables i, en paraules de Kelso (1995), possibilita el sondeig del sistema; cosa que permet que aquest trobi nous patrons estables. Aquest procés d'alteració característic dels sistemes autoorganitzats té una peculiaritat: els canvis no sempre són reversibles. La seqüència de canvis que provoca, en el sistema, la variació quantitativa —en un sentit del paràmetre de control— no té perquè reproduir-se a l'inrevés, quan el paràmetre de control es modifica en el sentit contrari.

Un altre aspecte important a l'hora d'explicar les característiques de l'autoorganització és la *multiestabilitat*. Un sistema pot mostrar alhora més d'un patró de comportament estable. Per exemple, si posem una paella amb oli a escalfar

a foc lent, podem veure que en arribar a un punt de temperatura crític (paràmetre de control) es comencen a produir moviments circulars de l'oli que poden anar en un sentit de gir o en el contrari: el sistema té dos patrons estables de comportament simultanis. Que existeixi multiestabilitat no implica que el sistema mostri la mateixa tendència a adoptar ambdós patrons de comportament. Acostuma a passar que el sistema mostra preferència per comportar-se d'una manera determinada, encara que això no vol dir que aquest tipus de comportament sigui l'únic que és capaç d'exhibir. La tendència diferenciada del sistema a mostrar un patró de comportament o un altre depèn de la potència de l'*atractor* que origina cada patró. Un atractor, com el nom indica, atrau el sistema cap a una forma determinada de comportament, i com més potent sigui, més tendència mostrarà el sistema a adoptar-lo i més estable serà el seu comportament —en aquest patró— enfront dels canvis del paràmetre de control.

3.2. L'autoorganització en el sistema motor

A l'hora de qüestionar l'aplicació de la teoria dels sistemes dinàmics al control motor, la primera pregunta que hem de fer-nos és si es pot considerar el sistema motor com un sistema complex. La resposta que dona Kelso (1995, p. 37) en aquesta pregunta ens sembla difícilment refutable «(*referint-se al cos humà*) conté, aproximadament 10^2 articulacions, 10^3 músculs, 10^3 tipus de cèl·lules i 10^{14} neurones i connexions neuronals [...]. D'altra banda el cos humà és multifuncional i de comportament complex». Un cop aclarit aquest aspecte, arriba el moment de formular-se una segona qüestió —fins i tot més important, sota el nostre punt de vista—: *Es comporta el cos humà com un sistema complex autoorganitzat?* Fins ara hem vist exemples de l'autoorganització en objectes no animats i, en aquest àmbit, veiem que queden automàticament descartats conceptes com intenció o programació a l'hora d'explicar-ne el comportament: és evident que ni res ni ningú no programa el comportament de l'oli que bull o del curs de l'aigua que flueix; per aquest motiu, els patrons mostrats han de sorgir de la interrelació dels seus elements, és a dir, han d'estar autoorganitzats. No obstant això, a priori, parlar de persones i de comportaments humans probablement és situar-se a un altre nivell.

En uns experiments ja clàssics, realitzats als anys 1981 i 1984, Kelso va mostrar evidències que *determinades formes de comportament motor humà exhibien totes les característiques mostrades en els comportaments autoorganitzats* que es donen a la naturalesa. Llavors, si d'una banda tenim que l'ésser humà pot considerar-se com un sistema complex i, d'altra, que mostra trets clars d'autoorganització en alguns dels seus comportaments, el pas està fet: es pot analitzar, com a mínim, una part de la conducta humana sota el prisma dels sistemes dinàmics autoorganitzats.

En què consistien aquests experiments? Kelso va demanar als participants que seguissin un ritme oscil·latori, marcat amb un metrònom, amb els moviments en el pla horitzontal dels dits índex d'ambdues mans. A l'hora de seguir aquest ritme, es demanava als subjectes que actuessin, segons el grup

experimental, de dues maneres diferenciades: en fase (EF) o fora de fase (FF). El comportament EF implicava que els grups musculars homòlegs de les dues mans es contreïen simultàniament (quan el dit índex de la mà dreta estava en adducció, el de l'esquerra també hi estava); mentre que el comportament FF suposava l'actuació alternativa dels grups musculars homòlegs de les dues mans (quan l'índex de la mà dreta estava en adducció, el de l'esquerra estava en abducció). A grans trets podem dir que la variable depenent era el manteniment dels modes de comportament (EF o FF) i la independent la freqüència d'oscil·lació que anava incrementant-se mitjançant l'acceleració del metrònom. En el disseny experimental mateix podem trobar diversos conceptes dels que hem introduït anteriorment: es determina un sistema complex i es descriu una variable col·lectiva que servirà per analitzar-ne el comportament (modes EF i FF), es preveu un paràmetre de control (la freqüència d'oscil·lació) que és inespecífic al sistema i que no inclou cap informació relativa al comportament d'aquest (la variable col·lectiva). Quins van ser els principals resultats d'aquests experiments? Es va poder comprovar que, en els grups que actuaven EF, l'augment de la freqüència d'oscil·lació no suposava cap canvi significatiu en la seva execució: eren capaços de mantenir el patró amb poques alteracions. Contràriament, en els grups que actuaven FF, l'augment de la freqüència originava una creixent inestabilitat en el patró i, en arribar a un punt crític d'aquesta (específic per a cada participant) es produïa un canvi espontani cap a la modalitat EF. Curiosament, un cop produït aquest canvi FF a EF, la disminució de la freqüència d'oscil·lació no suposava el retorn al patró original (FF) sinó que es mantenia el nou patró (EF). Partint d'aquests experiments —el físic Haken, el mateix Kelso i Bunz— van formular l'any 1985 el model teòric que pren el seu nom (Haken-Kelso-Bunz) i que, mitjançant una modelització matemàtica, va permetre arribar a les següents conclusions:

- a) El sistema posseeix multiestabilitat: els modes EF i FF són dos patrons coordinatius estables. És a dir: el sistema presenta dos atractors (en l'àmbit de l'anàlisi del moviment humà cal entendre els atractors com aquelles formes de comportament que, entre la gran quantitat de respostes que el sistema pot mostrar, són preferentment exhibides pels subjectes).
- b) La potència dels dos atractors no és igual: el corresponent al mode EF és molt més potent que el corresponent al mode FF.
- c) La variació en el paràmetre de control produeix una modificació en el *paisatge d'atractors* que caracteritza el comportament del sistema: l'estabilitat del patró EF disminueix molt lleument; mentre que la del patró FF ho fa de manera accentuada fins que, arribat un valor crític, aquest patró desapareix i el sistema adopta espontàniament el mode EF.
- d) Una vegada produïda la transició FF a EF, la variació del paràmetre de control en sentit contrari no fa que el sistema recuperi l'estat inicial. Això és degut al fet que, com hem comentat, la potència de l'atractor EF és superior a la de l'atractor FF i no permet que el sistema abandoni la forma de comportament que provoca.

Tal com es pot comprovar, els experiments bimanuals de Kelso, i el subsegüent model teòric de Haken-Kelso-Bunz, permeten afirmar que el sistema motor mostra signes d'autoorganització en el seu comportament. N'hi ha prou, però, amb això per afirmar que el moviment humà és producte de l'autoorganització del sistema? Per respondre aquesta pregunta, els autors emmarcats en la perspectiva que ens ocupa van dissenyar experiments on se cercaven aquests indicis d'autoorganització en diferents parts i accions corporals, obtenint resultats que permeten donar suport al punt de vista que acabem de citar. Alguns d'aquests experiments són:

- a) Tuller i Kelso (1990); que van estudiar la parla.
- b) Schmidt, Carello i Turvey (1990); que van analitzar l'actuació coordinada de dues persones desenvolupant un moviment segmentari simple.
- c) Turvey (1990); que es va centrar en l'anàlisi dels malabars.
- d) Kelso, Buchanan i Wallace (1991); que es van fixar en el moviment oscil·latori coordinat del canell i el colze.
- e) Kelso i Jeka (1992); que van experimentar utilitzant la coordinació intersegmentària.
- f) Wallace i altres (1994); que van estudiar les accions de seguiment i prensió.

Tots aquests treballs —i molts d'altres!— permeten suposar que el sistema motor humà mostra trets d'autoorganització no només en zones diferents, sinó també en accions molt diverses i, fins i tot, en sistemes formats per més d'un individu. Aquest fet és molt important atès que, malgrat que analitzar estructures anatòmiques i neurològiques molt diferenciades, tots els estudis obtenen resultats molt similars. D'aquesta manera es podria afirmar —tal com fan Whiting, Voght i Vereijken (1992)— que l'organització motriu, més que assumir-se a priori s'aconsegueix a posteriori i com a conseqüència de la dinàmica del sistema d'acció que funciona d'acord amb uns principis generals d'autoorganització.⁴

De la mateixa manera que abans hem exposat les crítiques que han rebut els models teòrics propis del processament de la informació, en l'apartat següent resumirem alguns dels aspectes en què aquesta perspectiva mostra més deficiències.

3.3. Crítiques rebudes per la perspectiva dinámicoecològica

Sense ànim de ser exhaustius, podem afirmar que les principals crítiques que s'han fet a la perspectiva que ens ocupa són:

-
- 4. Una altra vegada, les característiques d'aquest treball no ens permeten desenvolupar aspectes essencials del model explicatiu que ens ocupa (les estructures coordinatives, la dinàmica intencional, la sintonització amb l'entorn, etc.). La nostra intenció ha estat, únicament, mostrar els aspectes fonamentals que permetin entendre les propostes teòriques analitzades.

- a) Moltes de les seves conclusions són difícils de confirmar, estrictament, de manera experimental. Igualment, molts dels resultats obtinguts poden explicar-se des de posicions cognitives (Newell, 1986; Wieringen, 1988; Schmidt, 1988; Summers, 1998).
- b) Encara queden molts aspectes relatius al procés del control motor per explicar. Segons Schmidt (1988) aquesta incapacitat d'explicar les causes últimes duu la perspectiva dinámicoecològica a patir el problema que tant havia criticat en relació amb el processament de la informació: la regressió infinita.
- c) No es disposa d'una teoria sòlida, completa i amb valor explicatiu sobre l'aprenentatge d'habilitats (Abernethy, Sparrow, 1992).
- d) Els estudis elaborats se ceneixen a una gamma molt reduïda de tasques. Falta comprovar si els seus resultats es reproduïxen en un altre tipus d'habilitats (Summers, 1998; Corbetta, Vereijken, 1999).
- e) S'utilitzen massa metàfores i termes complexos i de difícil comprensió. Igualment, hi ha un abús en la utilització de la modelització matemàtica (Schmidt, 1988; Summers, 1998; Corbetta, Vereijken, 1999).
- f) Possiblement, és un bon resum de tot l'anterior afirmar que la perspectiva dinámicoecològica té molt més poder descriptiu que no pas explicatiu.

Enfront d'aquestes llacunes, és possible pensar que la solució està en una hibridació entre ambdós corrents (el processament de la informació i la perspectiva dinámicoecològica). A favor de la reconciliació podem citar l'evolució viscuda per la segona, que ha passat de comptar amb explicacions purament físiques a tenir present aspectes com la motivació, la intenció, etc. i l'interès de bona part dels teòrics de la primera a incorporar part de les aportacions de l'altre corrent als seus treballs (Schmidt, Lee, 1999). D'altra banda, són diversos els autors que opinen que les diferències entre ambdós corrents es deuen a la situació de l'un i de l'altre en diferents nivells explicatius (Abernethy, Sparrow, 1992; Wieringen, 1988; Schmidt, 1988).

Tanmateix, aquesta reconciliació sembla difícil: «les perspectives estan d'acord en no estar d'acord» en paraules de Summers (1998, p. 386). I és que ambdues presenten profundes diferències en diferents nivells tal com es mostra en el quadre següent extret d'Abernethy i Sparrow (1992, p. 28-29).

DIMENSIONS DE CONTRAST	PERSPECTIVA COGNITIVA	PERSP. DINÀMICA ECOLÒGICA
Altres denominacions	Processament de la informació Perspectiva prescriptiva Perspectiva computacional Perspectiva representacional Perspectiva del moviment	Perspectiva “emergent” Perspectiva de l'acció
Orígens filosòfics	Metàfora “home – màquina” Suport implícit al dualisme actor – ambient	Realisme ecològic Suport explícit a la sinèrgia actor - entorn
Orígens del model	Informàtica i enginyeria	Física moderna i biologia teòrica / comparada
Direcció de la lògica explicativa	Augment del poder explicatiu afegint sofisticació i intel·ligència al model computacional	Augment del poder explicatiu per descobriment de nous processos fonamentals
Subdisciplina psicològica més pròxima	Psicologia cognitiva	Psicologia ecològica
Mode d'organització i control del moviment	De “dalt a baix”. Control jeràrquic actuant mitjançant prescripcions	De “baix a dalt”. Control heteràrquic actuant sobre les estructures coordinatives
Solució als graus de llibertat	Programes motors generalitzats estructurats i emmagatzemats centralment	Estructures coordinatives que aprofiten les propietats dinàmiques del sistema motor
Relació del control amb la cinemàtica	Planificació a priori que resulta en la cinemàtica desitjada. Prescripció.	La cinemàtica és una conseqüència a posteriori de l'autoorganització
Representacions centrals	Presentes	Absents
Mecanismes de traducció	Essencials, converteixen els plans abstractes en “llenguatge muscular”	No necessaris. Tot el control està en unitats comunes ambientals
Paper del múscul	Executa els plans de control centrals	Determina la forma del moviment i les interaccions de fases a través de la dinàmica
Organització temporal del moviment	Característiques temporals de l'acció “dictades” per un mecanisme central	Les característiques temporals emergeixen de la interrelació entre efectors
Relació amb la percepció	Processos serials independents en els que la percepció precedeix a l'acció.	Acoblament inseparable entre percepció i acció (funcional i evolutivament).
Model perceptual utilitzat	Computacional (Marr, 1982)	Percepció directa (Gibson, 1979)
Explicació de l'aprenentatge	Millora de les estratègies de processament de la informació	Millora de la sintonització amb les invariants essencials i control sobre la variabilitat del context
Paper de la memòria en l'aprenentatge	Fonamental en la millora de les estratègies i en l'adquisició d'habilitats a llarg termini	Mínim. Molts autors neguen els processos de memòria “per se” a causa de la no necessitat d'apel·lar a les representacions
Paradigma experimental	Treball de laboratori. Moviments artificials	Essencial a la validació ecològica. Estudi d'accions naturals
Unitats de mesura	Informació mesurada matemàticament relacionada amb la dificultat i/o previsibilitat de la relació estímulo - tasca	Informació essencial descrita en unitats acordes amb l'actor

Bibliografia

- ABERNETHY, B.; SPARROW, W. A. «The rise and fall of dominant paradigms in motor behavior research». A: SUMMERS, J. (ed.). *Approaches to the study of motor control and learning*. Amsterdam: North Holland, 1992, pp. 3-45.
- ADAMS, J. A. «A closed loop theory of motor learning». *Journal of Motor Behavior*, vol. 3, núm. 2, 1971, pp. 111-149.
- BERNSTEIN, N. A. (ed.). «Alcuni problemi attuali della regolazione degli atti motori». *Fisiologia del movimento*. Roma: Società Stampa Sportiva, 1989a, pp. 219-246.
- BERNSTEIN, N. A. (ed.). «Il problema dell'interrelazione tra coordinazione e localizzazione». A: *Fisiologia del movimento*. Roma: Società Stampa Sportiva, 1989b, pp. 79-119.
- BERNSTEIN, N. A. (ed.). «Biodinamica della locomozione (genesì, struttura, cambiamenti)». A: *Fisiologia del movimento*. Roma: Società Stampa Sportiva, 1989c, pp. 21-77.
- BERNSTEIN, N. A. (ed.). «La coordinazione dei movimenti nell'ontogenesi». A: *Fisiologia del movimento*. Roma: Società Stampa Sportiva, 1989d, pp. 121-170.
- BONGAARDT, R.; MEIJER, O. G. «Bernstein's theory of movement behavior: Historical development and contemporary relevance». *Journal of Motor Behavior*, vol. 32, núm. 1, 2000, pp. 57-71.
- CORBETTA, D.; VEREIJKEN, B. «Understanding development and learning of motor coordination in sport: The contribution of Dynamic Systems theory». A: *International Journal of Sport Psychology*, vol. 30, 1999, pp. 507-530.
- FEIGENBERG, J. M. «The model of the future in motor control». A: LATASH, M. L. (ed). *Progress in motor control*. Vol. I: *Bernstein's tradition in movement studies*. Champaign: Human Kinetics, 1998, pp. 89-103.
- GURFINKEL, V. S.; CORDO, P. J. «The scientific legacy of Nikolai Bernstein». A: LATASH, M. L. (ed.). *Progress in motor control*. Vol. I: *Bernstein's tradition in movement studies*. Champaign: Human Kinetics, 1998, pp. 1-19.
- KELSO, J. A. S. (ed.). *Human motor behavior: An introduction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1982.
- KELSO, J. A. S. *Dynamic patterns. The self organizations of brain and behavior*. Cambridge: MIT Press, 1995.
- KELSO, J. A. S.; BUCHANAN, J. J.; WALLACE, S. A. «Order parameters for the neural organization of simple, multijoint limb movement parameters». *Experimental Brain Research*, vol. 85, 1991, pp. 432-444.
- KELSO, J. A. S.; JEKA, J. J. «Symmetry breaking dynamics of human multilimb coordination». *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 18, 1992, pp. 645-668.
- LÓPEZ, V. «Enseñanza, aprendizaje e iniciación deportiva: la interacción educativa en el aprendizaje comprensivo del deporte». A: CASTEJÓN, J. (coord). *Iniciación deportiva. La enseñanza y el aprendizaje comprensivo en el deporte*. Sevilla: Wanceulen, 2003.
- LURIA, A. R. «Bernstein, Nicholas». A: GREGORY, R. L. *Diccionario Oxford de la Mente*. Madrid: Alianza, 1995, pp. 111-112.

- NEWELL, K. M. «Constraints on the development of coordination». A: WADE, M. G.; WHITING, M. T. A. (ed.). *Motor development in children: aspects of coordination and control*. Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1986.
- NEWELL, K. M. «Schema theory (1975): Retrospectives and perspectives». *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 74, núm. 4, 2003, pp. 383-388.
- POZO, J. I. *Teorías cognitivas del aprendizaje*. 2a ed. Madrid: Morata, 1996.
- RIERA, J. *Fundamentos del aprendizaje de la técnica y la táctica deportivas*. Barcelona: INDE, 1989.
- RIERA, J. *Habilidades en el deporte*. Barcelona: INDE, 2005.
- SCHMIDT, R. A. «A schema theory of discrete motor skill learning». *Psychological Review*, vol. 82, 1975, pp. 225-260.
- SCHMIDT, R. A. «The schema concept». A: KELSO, J. A. S. (ed.). *Human motor behavior: an introduction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1982, pp. 219-238.
- SCHMIDT, R. A. «Motor and action perspectives on motor behaviour». A: MEIJER, O. G.; ROTH, K. (ed.). *Complex movement behavior: the motor-action controversy*. Amsterdam: North Holland, 1988.
- SCHMIDT, R. A. «Motor schema theory after 27 years: Reflections and implications for a new theory». *Research Quarterly for Exercise and Sport*. vol. 74, núm. 4, 2003, pp. 366-375.
- SCHMIDT, R. A.; LEE, T. D. *Motor control and learning. A behavioral emphasis*. 3a ed. Champaign: Human Kinetics, 1999.
- SCHMIDT, R. A.; CARELLO, C.; TURVEY, M. T. «Phase transitions and critical fluctuations in the visual coordination of rhythmic movements between people». *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, vol. 16, 1990, pp. 227-247.
- SHERWOOD, D. E.; LEE, T. D. «Schema theory: critical review and implications for the role of cognition in a new theory of motor learning». *Research Quarterly for Exercise and Sport*, vol. 74, núm. 4, 2003, pp. 376-382.
- SUMMERS, J. J. «Has Ecological psychology delivered what it promised?» A: PIEK, J. P. (ed.). *Motor behavior and human skill. A multidisciplinary approach*. Champaign: Human Kinetics, 1998.
- TULLER, B.; KELSO, J. A. S. «Phase transitions in speech production and their perceptual consequences». A: JEANNEROD, M. (ed.). *Attention and performance XIII*. Hillsdale: Erlbaum, 1990.
- TURVEY, M. T. «Coordination». *American Psychologist*, vol. 45, núm. 8, 1990, pp. 938-953.
- TURVEY, M. T.; FITCH, H. L.; TULLER, B. «The Bernstein's perspective: I. The problem of degree of freedom and context-conditioned variability». A: KELSO, J. A. S. (ed.). *Human motor behavior. An introduction*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, 1982, pp. 239-252.
- WALLACE, S. A. «Dynamic pattern perspective of rhythmic movement: an introduction». A: ZELAZNIK, H. N. (ed.). *Advances in motor learning and control*. Champaign: Human Kinetics, 1996.
- WALLACE, S. A.; STEVENSON, E.; SPEAR, A.; WEEKS, D. L. «Scanning the dynamics of reaching and grasping movements». *Human Movement Science*, vol. 13, 1994, pp. 255-289.

- WHITING, M. T. A.; VOGT, S.; VEREIJKEN, B. «Human skill and motor control: some aspects of the motor control-motor learning relation». A: SUMMERS, J. (ed.). *Approaches to the study of motor control and learning*. Amsterdam: North Holland, 1992.
- WIERINGEN, P. C. W. «Kinds and levels of explanation: implications for the motor systems versus action systems controversy». A: MEIJER, O. G.; ROTH, K. (ed.). *Complex movement behavior: the motor-action controversy*. Amsterdam: North Holland, 1988.

Paraules clau

educació física, aprenentatge motor, teoria de l'esquema, perspectiva dinàmico-ecològica

Abstracts

En este artículo se repasan los principales modelos teóricos explicativos del aprendizaje motor. En un primer apartado se comentan las aportaciones propias de la psicología cognitiva y más concretamente del corriente del procesamiento de la información: la Teoría del bucle cerrado de Jack Adams y la Teoría del esquema de Richard Schmidt. Posteriormente, se exponen las críticas que han recibido estos modelos y, para hacerlo, se introducen las principales aportaciones que el científico ruso Nikolai Bernstein hizo al estudio del aprendizaje y el control motor. A partir de estas aportaciones, se introducen las formulaciones teóricas que, surgidas desde la perspectiva dinámica-ecológica, pretenden superar las limitaciones de los modelos cognitivos. Finalmente, se comparan las dos perspectivas y se sugieren algunas posibles vías de desarrollo futuro del campo que nos ocupa.

Cet article permet à l'auteur de réviser les principaux modèles théoriques explicatifs de l'apprentissage moteur. Dans un premier chapitre, il commente les contributions propres de la psychologie cognitive et plus concrètement du courant du traitement de l'information: la théorie en boucle fermée de Jack Adams et la théorie du schéma de Richard Schmidt. Ensuite, il expose les critiques qu'ont reçues ces modèles et, pour ce faire, il introduit les principales contributions que le scientifique russe Nikolai Bernstein a faites à l'étude de l'apprentissage et du contrôle moteur. À partir de ces contributions, il introduit les formulations théoriques, issues de la perspective dynamique-écologique, qui prétendent aller au-delà des limites des modèles cognitifs. Enfin, il compare les deux perspectives et suggère certaines voies possibles pour le développement à venir du domaine qui nous intéresse.

In this article they go over the principle explanatory theoretical models of the learning motor. First of all they comment on the contributions made by cognitive psychology and more specifically of the ordinary processing of information: A Closed Loop Theory of Motor Control by Jack Adams and the Theory of the Plan by Richard Schmidt. Later, there is an explanation of the criticism that these models have received and, to do so, they introduce the principal contributions that the Russian scientist Nikolai Bernstein made with his study on learning and the control motor. From these contributions, they introduced the theoretical formulations with which, arisen from the dynamic-ecological perspective, they try to overcome the limitations of the cognitive models. Finally, they compare the two perspectives and suggest some possible channels of future development in the field of education.