

EL PARADIGMA DE LA COMPLEXITAT: UN MARC PER A ORIENTAR L'ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR

Josep Bonil Gargallo
Rosa Maria Pujol Villalonga
Universitat Autònoma de Barcelona

RESUM

Aquest article pren com a punt de partida la rellevància de la complexitat com un emergent dins del coneixement contemporani. Seguidament es presenta el paradigma de la complexitat com un marc que possibilita orientar els processos d'ensenyament-aprenentatge des del diàleg entre pensament, valors i acció. A continuació es presenta com la introducció del paradigma de la complexitat en l'activitat científica escolar comporta evolucionar cap a la recerca de noves formes de pensar, parlar, sentir i actuar que permetin explicar i transformar el món. Per acabar es mostren alguns dels canvis més significatius que comporta entendre l'activitat científica escolar des de la complexitat, concretats en els continguts, la relació entre disciplines, el model de pensament i acció, i en la rellevància de les emocions.

PARAULES CLAU: paradigma, complexitat, activitat científica escolar, ensenyament-aprenentatge.

ABSTRACT

This article takes the relevance of complexity as an emergent in contemporary knowledge as its departure point. It goes on to present the paradigm of complexity as a framework that renders it possible to guide teaching-learning processes driven by the dialogue between thought, values and action. It then shows how the introduction of the paradigm of complexity into school scientific activity entails evolving towards the search for

new forms of thinking, talking, feeling and acting that make it possible to explain and transform the world. To conclude, it presents some of the most significant changes in understanding school scientific activity from the standpoint of complexity, materialised in contents, the relationship between disciplines, the model of thought and action, and in the relevance of emotions.

1. INTRODUCCIÓ

Aquest article mostra una aproximació a la integració de la complexitat en l'ensenyament científic i algunes de les seves implicacions més significatives. Prenent com a punt de partida el caràcter polisèmic del terme complexitat, es proposa el concepte de paradigma de la complexitat com una forma d'orientar la construcció de coneixement científic. Seguidament es presenten diferents àmbits de l'educació científica en què la introducció d'aquests principis comporta canvis rellevants; en concret: en el dels continguts, el de la relació entre disciplines, el de model de pensament i acció, i en el del paper de les emocions.

2. APROXIMACIÓ AL CONCEPTE DE COMPLEXITAT

La complexitat s'ha convertit en un concepte amb presència significativa dins del coneixement generat al llarg del segle XX. Des de diversitat de disciplines es fa referència a la complexitat sota múltiples enfocaments, fins al punt que el terme ha adquirit un fort caràcter polisèmic.

Des d'una perspectiva etimològica, una primera aproximació a la paraula complexitat ens transporta a la paraula llatina *plectere*, que significa 'trenar' o 'entretreixir'. Si bé es pot prendre com a punt de partida la metàfora de la xarxa, el seu significat té un abast molt més ampli. Així, per exemple, Lloyd, a Horgan (1998), des del camp de les ciències experimentals, aporta algunes accepcions sobre aquest terme:

Informació (Shanon); entropia (Gibbs i Boltzman); complexitat algorítmica; contingut d'informació algorítmica (Chaitin, Solomonoff i Kolmogorov); informació de Fisher; entropia de Renyi; longitud de codi autolimitador (Huffman i Shannon-Fano); longitud mínima (Rissanen); nombre de paràmetres o de graus de llibertat, o de dimensions; complexitat de Lempel-Ziv; informació mútua, o capacitat de canal; informació mútua algorítmica; correlació; informació emmagatzemada (Shaw); informació condicional; contingut d'informació algorítmica condicional;

entropia mètrica; dimensió fractal; autosimilaritat; complexitat estocàstica (Rissanen); sofisticació (Koppel i Atlan); mida de màquina topològica (Crutchfield); complexitat efectiva o ideal (Gell-Mann); complexitat jeràrquica (Shanon); diversitat del subgràfic d'arbre (Huberman i Hogg); complexitat homogènia (Teich i Mahler); complexitat computacional de temps; complexitat computacional d'espai; complexitat basada en la informació (Traub); fondària lògica (Bennett); fondària termodinàmica (Lloyd i Pagels); complexitat gramatical (posició en la jerarquia de Chomsky); informació de Kullback-Liebler; distingibilitat (Wooters, Caves i Fisher); distància de Fisher; discriminabilitat (Zee); distància d'informació (Shannon); distància d'informació algorítmica (Zurek); distància de Hamming; ordre de llarg abast; autoorganització; sistemes complexos adaptatius (Gell-Mann); límit del caos (Lewin); estructura dissipativa (Prigogine); agent autònom (Kauffman).

El caràcter polisèmic del terme complexitat s'amplia a altres camps del coneixement quan s'hi fa referència com a una forma de racionalitat lligada a un estil de pensament o bé a un conjunt de valors que s'associen de manera directa a la complexitat.

Des de la perspectiva de la racionalitat existeix un moviment de pensadors que associen complexitat a una forma d'apropar-se al món que supera l'aproximació determinista. Per exemple, Prigogine (1997) considera, des de la complexitat, que el determinisme i la reversibilitat porten a un món artificial, mentre que el món natural mostra un gran component d'atzar i irreversibilitat.

Alguns autors (Vilar, 1997; Morin, 2000; Roger, 2000), des de diversitat d'àmbits de coneixement, presenten el segle XX com el de l'emergència d'una nova racionalitat complexa, que difereix dels plantejaments del determinisme clàssic. La figura 1, adaptada de Vilar (1997), pot donar dades d'aquesta visió comparativa.

Paral·lelament, des de línies de pensament molt associades a paradigmes crítics lligats a moviments socials, es pren el terme complexitat com un element orientador d'un marc de valors. En aquest sentit, la complexitat i el pensament complex s'associen a una forma de veure i actuar sobre el món que pot orientar la transformació social cap a posicionaments equitatius i ambientalistes. Un exemple d'aquest plantejament el proposa Capra (1996), que diferencia entre plantejament asseveratiu (determinista) i intuïtiu (complex), tal com se sintetitza a la figura 2.

<i>Nova racionalitat (complexa)</i>	<i>Vella racionalitat (determinista)</i>
Complexa en relació amb totes les complexitats, internes (de l'ésser humà) i externes (de la societat, de la natura).	Simplificadora.
Desenvolupa noves lògiques, probabilístiques, causes i efectes dels descobriments de la ciència.	Lògica formal, distingeix veritat i falsedat en situacions estàtiques.
Sense perdre de vista el determinisme del moment, es guia per l'indeterminisme.	Determinista.
Complementarietat disciplinària des de la transdisciplinarietat.	Disciplinària.
Suma a l'anàlisi l'observació en síntesi.	Es concentra en l'anàlisi i la separació i el fraccionament dels fets i fenòmens que en realitat estan units.
Uneix a consideracions precises de tot el que és real la investigació d'allò que és potencial de les heterogènesis i les virtualitats, la construcció de realitats noves, la vida com a projecte, l'organització individual i col·lectiva de l'avenir-devenir.	Positivista, limitada a l'estudi de les estructures-funcions del passat-present.
Reticular, compartida, integradora de diversos criteris, imaginativa i inventiva. El coneixement està en constant evolució, fuig del coneixement dogmàtic.	Ultra jeràrquica, excloent i anquilosada en les ciències tradicionals normalitzadores.
Ensenya la llibertat i la creativitat en tots els àmbits.	Educa per a la repetició i l'obediència.
Implica lògiques postindustrials i noves formes de convivència.	Frena i de vegades obstaculitza les dinàmiques globals de la societat del coneixement.

FIGURA 1. Comparació entre la racionalitat complexa i la racionalitat determinista.
 FONT: Adaptació dels autors a partir de Vilar, 1997.

<i>Pensament</i>		<i>Valors</i>	
Asseveratiu	Integratiu	Asseveratiu	Integratiu
Racional	Intuïtiu	Expansió	Conservació
Analític	Sintètic	Competició	Cooperació
Reduccionista	Holístic	Quantitat	Qualitat
Lineal	No lineal	Dominació	Associació

FIGURA 2. Diferència de pensament i valors entre el plantejament determinista i el complex.
FONT: Capra, 1996.

Si bé la complexitat com a emergent del coneixement s'ha vist reconeguda des de diferents camps, paral·lelament ha rebut importants crítiques de la comunitat científica. Així, Horgan (1998) acusa als «*Caoplejólogos*» d'haver construït metàfores poderoses «com l'efecte papallona, els fractals, la vida artificial, el límit del caos, però sense capacitat d'explicar alguna cosa sobre el món» (Horgan, 1998), o bé d'haver creat un món virtual des de l'ordinador que no té connexions amb els fenòmens del món. Un punt de vista molt diferent al de Varela, un dels grans defensors de la complexitat, que afirma: «Per a mi la possibilitat de sobreviure amb dignitat en aquest planeta depèn de l'adquisició d'una nova ment. Aquesta nova ment ha de forjar, entre altres coses, una epistemologia radicalment diferent que informarà d'accions pertinents» (Varela, 1989).

3. EL PARADIGMA DE LA COMPLEXITAT: UN DIÀLEG ENTRE MODEL, VALORS I ACCIÓ

Enfront la polisèmia que envolta el terme complexitat, resulta rellevant definir un marc conceptual que ajudi a incorporar la complexitat en els processos d'ensenyament-aprenentatge. La proposta de paradigma de la complexitat (Bonil *et al*, 2004b) pot resultar un marc adient. El paradigma de la complexitat es constitueix com un espai de diàleg entre una forma de construir models explicatius dels fenòmens del món a partir d'un estil de pensament, una forma de posicionar-se davant del món a partir d'un marc de valors i una forma d'entendre l'acció des d'una perspectiva transformadora. Una proposta que vol ser un espai de diàleg entre les tres perspectives (pensament, valors i acció), des d'un plantejament que pot ser significatiu i orientador del procés educatiu.

El paradigma de la complexitat és una forma d'estructurar el propi pensament, un pensament que tant en la perspectiva científica com en la quotidiana té la capacitat de dialogar constantment amb el seu entorn. Un pensament que dialoga entre el tot i les parts; que, des d'una perspectiva no reduccionista, entén els antagonics com a complementaris; que integra la imaginació i la creativitat amb la racionalitat; que permet anar d'allò que és local a allò que és global sense perdre la vinculació entre els dos elements com a parts d'un tot. Un pensament que analitza els fenòmens com a xarxes de relacions en constant dinamisme, entenent que els fets no s'expliquen de forma lineal i reduccionista. El pensament complex apareix com una forma articuladora d'organitzar el propi pensament i d'elaborar respostes a les preguntes i els problemes presents en el món. El pensament complex constitueix un model de pensament que, des de l'àmbit de les ciències experimentals, s'ha mostrat amb capacitat de construir models explicatius complets i coherents dels fets, fonamentant-se en una epistemologia sòlida. En aquest punt, la teoria dels sistemes complexos (Gell-Mann, 1995) apareix com un cos de coneixement capaç de donar resposta a la curiositat humana per explicar-se i preveure els fenòmens a partir d'enunciats validats científicament.

Des de la perspectiva ètica, el paradigma de la complexitat defineix els valors en un continu diàleg entre antagonics. Sota aquest marc, la sostenibilitat es construeix en la capacitat de diàleg entre visions ambicèntriques i antropocèntriques que es troben en el context social occidental. Des d'aquesta mirada, configurar la llibertat entre els individus implica dialogar entre l'autonomia i la dependència per assumir el que la persona humana té de social i afavorir la capacitat d'elaborar el propi criteri. És una perspectiva que suposa dialogar entre l'heterogeneïtat i l'homogeneïtat, fet que comporta posicionar-se davant de la diferència, assumint la diversitat com a valor i descobrint en l'altre el que té de comú amb nosaltres. Des de la perspectiva ètica del paradigma de la complexitat, l'equitat es construeix en el diàleg entre allò que cadascú té d'individual, per a definir l'itinerari vital de cada individu i la consideració de la col·lectivitat com a forma d'afavorir el desenvolupament comunitari. Els valors, des del paradigma de la complexitat, es construeixen des del diàleg entre antagonics com a forma de fugir de tot reduccionisme.

Assumir la complexitat com a paradigma significa entendre l'acció dels individus com un mètode-estratègia (Morin, 1998), que es constitueix com a diàleg alhora retroactiu i recursiu, entre teoria i acció. Una acció que és capaç de modular-se de forma contínua davant de les respostes que troba del context, on els objectius són clars i el camí per arribar es va construint de forma continuada. En aquest model, l'individu és a la vegada *individu-actor-subjecte-estratègia* (Roger, 1999), agent i pacient, constructor i construït. Un marc on la societat s'es-

tractura amb un model polític en el qual la justícia i democràcia real constitueixen la forma d'entendre les relacions entre els individus, on la ciutadania pren una dimensió global en què el planeta es configura com el context d'actuació emmarcat conceptualment en el que Morin (2001) anomena política de civilització.

El paradigma de la complexitat es constitueix com un marc teòric en què dialoguen epistemologia, valors i acció en un esquema retroactiu que es genera de forma dinàmica en la interacció entre els tres elements. En aquest espai de diàleg emergeixen com a valors epistèmics els principis sistèmic, dialògic i hologramàtic. El principi sistèmic dóna als tres elements que constitueixen la proposta (pensament, valors i acció) una estructura d'interdependència que permet que, des del paradigma de la complexitat, els fets del món s'entenguin com a xarxes on es donen processos autoreguladors que els reconfiguren de forma continuada. La inclusió del principi dialògic implica presentar les disciplines de forma oberta, assumint els seus límits per a explicar els fets del món, incorporant a la vegada el diàleg entre certesa i incertesa, linealitat i no linealitat, disciplinarietat i transdisciplinarietat com a forma de posicionar-se davant dels fenòmens. Situar el principi hologramàtic comporta reproduir tots els elements del paradigma en qualsevol canvi d'escala; una perspectiva associada a fer l'esforç de considerar la presència de tots els elements presents en un fet, vinculant tot i parts de forma no simplificadora, tot i focalitzar l'atenció en un sol element. La figura 3 mostra una representació gràfica del paradigma de la complexitat que pot ser útil com a síntesi de les idees expressades fins al moment.

4. PARADIGMA DE LA COMPLEXITAT I ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR

Situar l'activitat científica escolar en el marc del paradigma de la complexitat suposa acceptar el repte de reinterpretar els processos d'ensenyament-aprenentatge de les ciències experimentals des d'una nova forma d'aproximar-se, explicar i actuar sobre els fenòmens del món. En aquest sentit el paradigma de la complexitat actua com un referent que permet orientar la pràctica i la innovació a l'aula (Pujol, 2000).

L'activitat científica escolar es configura com un context en el qual interaccionen constantment alumnat, docent i sabers, orientats cap a una finalitat comuna concretada en l'educació de la ciutadania. El paradigma de la complexitat introdueix en aquests tres àmbits un focus d'atenció orientador de canvis, de noves direccions. La perspectiva de la complexitat obliga a plantejar-se un nou model de pensament capaç de fer front als models científics a treballar amb l'a-

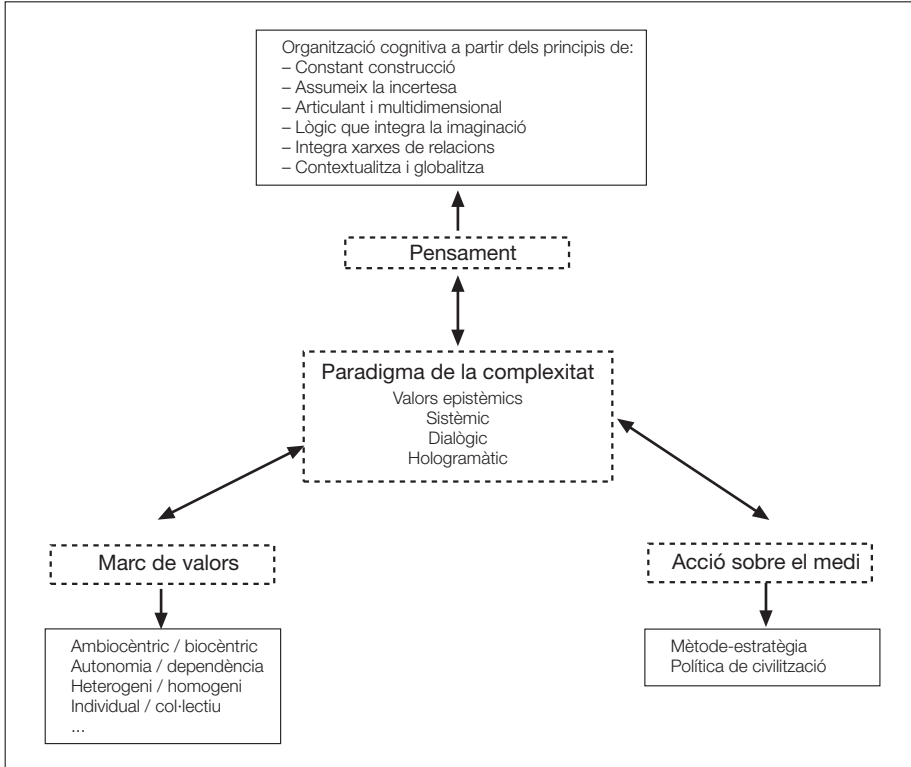


FIGURA 3. Representació del paradigma de la complexitat.
 FONT: Bonil *et al.*, 2004b.

lumnat, derivats de concebre els fenòmens com a sistemes complexos; alhora comporta nous èmfasis remarcant la necessitat d'establir ponts entre disciplines diverses i els seus corresponents models interpretatius. Per altra banda, la complexitat introdueix noves dimensions de la forma d'enfocar la formació del pensament científic de l'alumnat, orientant-lo cap a la construcció d'un pensament complex. Imaginar l'activitat científica escolar des de la complexitat obliga també a recuperar l'acció sobre el medi i a donar-li un enfocament més estratègic. Finalment, el paradigma de la complexitat anima a recuperar el paper de les emocions com a element central en el procés de construcció de coneixement científic.

4.1. ACTIVITAT ESCOLAR I NOUS CONTINGUTS

La ciència escolar explica els processos d'ensenyament-aprenentatge en termes de modelització (Izquierdo *et al.*, 1999), relacionant els models conceptuals de les ciències experimentals amb els models mentals de l'alumnat. Definir un procés d'ensenyament-aprenentatge de les ciències en termes de modelització planteja la importància de situar els models inicials de l'alumnat respecte a un fenomen d'estudi i de planificar cicles d'activitats que ajudin l'alumnat a fer-lo evolucionar cap a un model més complex (Giere, 1999). Es tracta d'un procés continu d'augment de la complexitat del model mental que elabora l'alumnat, en la direcció dels models conceptuals que ha anat definint la ciència, un procés que es converteix en un joc continu entre model mental, representació i model conceptual.

El model mental de cada alumne és la construcció cognitiva que li serveix de model explicatiu del fenomen d'estudi i que, a priori, pot no contenir elements propis del coneixement científic. La representació apareix com la concreció d'aquest model de l'alumne a partir d'un determinat llenguatge: un dibuix, un text escrit, una explicació oral, una maqueta, etc., que permet al docent aproximar-s'hi per definir mecanismes d'influència educativa que ajudin a la seva evolució. La direcció en què es planifica el procés evolutiu de modelització la marca el model conceptual elaborat per la ciència. Des de la perspectiva de la complexitat, centrar l'atenció en els models conceptuals de la ciència significa considerar-los com a models complexos que segueixen les regles definides des de la perspectiva cognitiva del paradigma de la complexitat, canviant per tant els tipus de continguts que són significatius a l'aula i la forma de tractar-los.

La incorporació de la perspectiva de la complexitat a la ciència escolar afecta el tipus de continguts a escollir en el treball a l'aula. Hauran de ser continguts que se situïn des d'un enfocament sistèmic i que permetin tenir en compte l'atzar i la indeterminació i, per tant, l'emergència de noves entitats que donen sentit a les característiques dels sistemes. La vertebració dels currículums de ciències a partir d'aquests models teòrics permet relacionar les idees principals en un camp científic amb els seus exemples paradigmàtics gràcies a hipòtesis que són, en realitat, les regles del joc (del fer, sentir, pensar i dir), que han estat condensades per la comunitat científica (Izquierdo *et al.*, 1999). Constitueix una proposta en què es fa fonamental incorporar l'interès pels aspectes dinàmics dels sistemes com una de les grans idees que configuren la forma de mirar de la ciència actual. Una proposta que planteja la necessitat d'abandonar el que fins ara constituïa la trama conceptual clàssica, centrada en la conservació i els estats, per a incorporar nous fets paradigmàtics que introdueixen les relacions, els processos i l'atzar.

4.2. ACTIVITAT CIENTÍFICA I DIÀLEG DISCIPLINARI

L'activitat científica es constitueix com una eina necessària, però no suficient per a abordar els reptes del nostre temps. La complexitat dels fenòmens del món demana a la ciutadania desenvolupar la capacitat d'abordar-los des de diversitat de perspectives, fugint del reduccionisme disciplinari i buscant espais de relació entre les disciplines.

Entendre l'activitat científica escolar des del paradigma de la complexitat afavoreix incorporar el principi dialògic que comporta posicionar-se davant dels fenòmens des d'una perspectiva oberta sense perdre la identitat disciplinària. Oberta perquè és capaç d'incorporar aportacions de diversitat de camps de coneixement, i amb identitat perquè té la capacitat d'identificar i fer evolucionar els models conceptuals de les ciències experimentals.

La forma d'articular la relació entre disciplines no és un tema nou en el camp educatiu on la literatura sobre interdisciplinarietat, multidisciplinarietat i transdisciplinarietat és àmplia. Des del paradigma de la complexitat es veu més adient situar el concepte de diàleg disciplinari. La proposta de diàleg disciplinari (Bonil *et al.*, 2004a) implica establir un eix dialògic entre disciplinari i transdisciplinari, entre allò que és essencial d'una disciplina i la perspectiva holística que conflueix en els fenòmens. Tal com es mostra en la figura 4, el diàleg disciplinari implica entendre els fets del món com a espais on les diferents disciplines puguin dialogar per crear nous punts de vista.

El diàleg disciplinari consisteix en una forma d'organitzar les disciplines de coneixement que afavoreix el diàleg entre aquestes sense exclusions. És un anar i tornar, en la visió del fenomen, des de la disciplina a un espai de contrast i creació de noves visions. Un espai on es desenvolupen els nous models a partir del diàleg entre els coneixements que sobre els fets del món tenen les diferents disciplines.

Des del diàleg disciplinari s'entén el coneixement com un procés en constant construcció. S'aporta la visió d'incertesa del propi coneixement sense renunciar al rigor, ja que difícilment sabem tot el que ens poden aportar les diferents disciplines. Es dona una visió integrada dels fets del món, a partir de considerar diferents punts de vista. Ajuda a fugir del reduccionisme disciplinari a partir de considerar de forma rellevant la diversitat de disciplines sense perdre de vista el rigor i assumint el límit de cadascuna. En definitiva, afavoreix la construcció d'una visió integral de l'individu en el seu coneixement sobre el món i en la seva identitat individual i cultural. El diàleg disciplinari convida a conèixer a fons una disciplina per establir ponts de diàleg amb les altres i fugir de la jerarquia disciplinària que porta a veure els fets del món des del reduccionisme.

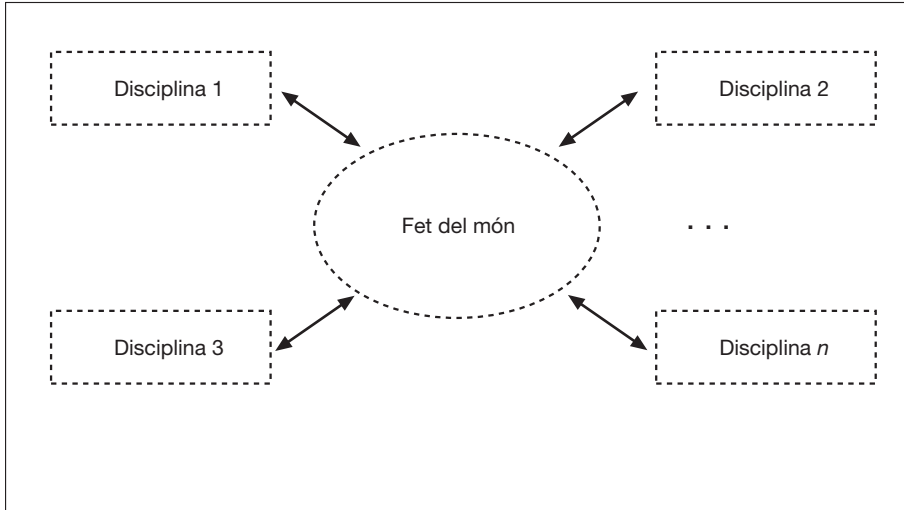


FIGURA 4. Model de relació entre disciplines com a diàleg disciplinari.
 FONT: Bonil *et al.*, 2004a.

4.3. ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR I PENSAMENT COMPLEX

Al llarg d'aquest escrit s'ha plantejat que els valors sistèmic, dialògic i hologràmic constitueixen els tres valors epistèmics fonamentals que orienten el paradigma de la complexitat. Un model de pensament que s'estructura al voltant de la complexitat integra aquests valors com a forma d'apropar-se al món estructurant un nou marc per a interpretar els fenòmens sobre els quals s'ocupa l'activitat científica escolar.

En primer lloc, incorporar la perspectiva sistèmica en l'activitat científica escolar suposa situar els fenòmens objecte d'estudi des d'una perspectiva dinàmica, on conflueixen simultàniament multitud de causes i efectes amb un component significatiu d'indeterminació; un marc on no es renuncia a la dimensió temporal que orienta el disseny de mecanismes que faciliten els processos de modelització científica. Des d'aquesta perspectiva, l'estudi dels éssers vius, per exemple, s'aborda com el resultat d'un diàleg continu entre una estructura, unes funcions i un flux. Això significa deixar de veure'ls com una «fotografia» per a

entendre'ls com una organització amb història. En aquest marc, la indeterminació pren rellevància ja que es desconeixen aquells elements que compartiran la història del sistema i com s'orientaran en el futur. Això comporta contemplar l'ésser viu com a subjecte exposat contínuament a noves variables (la presència d'un depredador que el fereixi, una sequera, etc.) i a respostes desconegudes (unes ferides que potser es curaran, l'aparició sobtada de pluges torrencials, etc.).

Situar els fenòmens del món des de la perspectiva que aporta la complexitat significa veure'ls com a espais de confluència de múltiples causes i diversitat d'efectes relacionats entre si en una àmplia trama de xarxes multidimensionals. Tornant a l'exemple dels éssers vius, una pluja pot canviar la configuració del paisatge i afavorir la continuïtat d'unes espècies o fer-ne desaparèixer d'altres; tenir-ho present és tenir en compte l'existència de múltiples relacions causals productores de possibles multiefectes, que en confluïr poden amplificar-se o limitar-se creant un context en què l'impacte pot augmentar de forma no lineal (una pluja pot incrementar la disponibilitat de nutrients en un ecosistema i a la vegada pot afavorir la proliferació d'una determinada espècie i causar una careència global de nutrients, etc.).

Veure el món sistèmicament comporta que la irreversibilitat adquireixi un caràcter fonamental ja que l'evolució del sistema s'orienta en un eix temporal. Això suposa, en el cas de l'exemple dels éssers vius, partir de la seva dimensió individual per a veure la seva història com a espècie; una perspectiva que mostra cada ésser viu com un punt discontinu en la línia de continuïtat de l'evolució, en la qual el temps és una variable fonamental.

En segon lloc, incorporar la perspectiva dialògica del paradigma de la complexitat en l'activitat científica escolar suposa plantejar que els fenòmens estan en constant dinamisme derivat de la interacció contínua amb el seu entorn. Es torna fonamental el diàleg entre medi intern i medi extern, entre ordre i desordre, entre equilibri i canvi. Seguint amb l'exemple anterior, és bàsic veure els éssers vius com un conjunt de processos continuats d'autotransformació i de transformació del medi; veure que la seva organització respon a les possibilitats de desenvolupar-se en un ambient segons els límits que aquest li imposa i de la informació genètica que posseeix, permetent que pugui ser i, consegüentment, viure, o, al contrari, impedir que sigui i, per tant, morir.

La perspectiva dialògica comporta entendre que l'activitat científica escolar és dinàmica no sols davant dels canvis que es produeixen en el coneixement científic sinó també davant dels que es plantegen en el context en què es desenvolupa, establint un diàleg constant que estimuli un procés de regulació permanent. El valor dialògic aporta la consciència de formar l'alumnat com a membre de la ciutadania en diàleg continuat amb els models que la mateixa ciència va elaborant i,

paral·lelament, amb altres àmbits de coneixement, que poden ser no disciplinaris, com a camí per a afavorir una percepció més àmplia dels fenòmens del món.

Significa, també, considerar que si bé existeixen preguntes i respostes pròpies de la ciència, cal tenir present les seves limitacions per a explicar un fenomen. Així, en tractar els éssers vius des del model conceptual ésser viu, no pot obviar-se la perspectiva emocional que generen els éssers vius en els individus o el sentit que pren la seva mitologia expressada en la literatura, la pintura o altres manifestacions culturals. Els éssers vius deixen de ser patrimoni de la ciència per a constituir-se en un espai de diàleg de sabers que ajuden a configurar la seva significació cultural sense desconnectar-la de l'aportació que fa cada una de les disciplines.

Finalment, en tercer lloc, pensar en els fenòmens objecte d'estudi incorporant la visió hologramàtica que aporta el paradigma de la complexitat converteix en rellevant el constant diàleg entre el macro, el meso i el micro. Suposa acceptar, en la seva formulació més simple, que un sistema està format per un conjunt de parts i que a la vegada dins de cada part hi ha la totalitat del sistema (Morin, 2001). Planteja la necessitat de no perdre de vista les diferents escales d'anàlisi dels fenòmens per a poder viatjar entre elles sense perdre de vista les seves connexions. Un viatge indissociable de la incertesa i el dinamisme, ja que és impossible conèixer les múltiples connexions existents. Com a conseqüència, i amb l'exemple de l'estudi de l'ésser viu, abordar-lo des d'aquesta perspectiva suposa establir contínues relacions entre el nivell meso (l'individu) on se centra l'estudi, i els nivells micro (medi intern) i macro (medi extern); relacions que han de servir no només per a explicar els fenòmens, sinó també per a detectar les pautes que es repeteixen i que serveixen com a eines per a reconstruir el model mental. En aquesta relació, la formalització és una aproximació comprensiva al fenomen però no es constitueix com una forma de simplificació. Es tracta d'una aproximació en la qual allò que és simple no existeix sinó com a exercici de pensament que desconnecta momentàniament la part del tot per, després d'aprofundir en ella, tornar a establir connexions amb el tot.

4.4. ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR I ACCIÓ

Ensenyar i aprendre ciències és una activitat que ha de capacitar els individus per a construir la seva forma de sentir, pensar, parlar i actuar sobre el món, prenent els models científics com un dels punts de referència. L'activitat científica escolar es configura d'aquesta manera com una acció transformadora d'un mateix a la vegada que es desenvolupa com a acció transformadora del món, oberta a un futur indeterminat perquè acompanya la persona que aprèn en el

seu camí vital. Això suposa acceptar que l'activitat científica que es promou a l'escola ha d'establir una interacció amb el món mitjançant instruments i formes de fer que depenen de valors diversos: ètics, epistèmics i socials.

L'activitat científica escolar no pot obviar la necessitat de formar la ciutadania per a participar de la intervenció i transformació socials. En aquesta tasca d'educar per a l'acció ciutadana, emplaçar-se en el marc de l'estratègia ecològica de l'acció (Morin, 2001) resulta útil en la mesura que ajuda l'alumnat a situar-se en la complexitat de la confluència d'interessos que es donen en una societat plural i democràtica. Des d'aquesta òptica, les propostes d'acció ciutadana que es poden generar a l'aula passen a ser un dels múltiples factors que una comunitat pot considerar davant d'un procés decisor. És un procés creatiu en què l'elaboració de propostes pren més rellevància que el resultat final.

Per exemple, des de l'educació científica, moltes vegades s'aborden temàtiques que en relacionar-se amb aspectes socials, ambientals, del consum, etc. van més enllà del fet científic, definint propostes d'acció col·lectives. No serveix de gaire concretar a classe possibles accions de la forma en què s'ha de gestionar una reserva natural. El que és interessant, des de la perspectiva complexa, és elaborar propostes considerant que la reserva natural és un punt de confluència d'individus, col·lectius i interessos; que les nostres propostes són una entre moltes i que poden entrar en contradicció amb els interessos d'altres col·lectius; que és important donar-les a conèixer tenint present que en una societat democràtica s'avança mitjançant el diàleg i la tolerància, pensant que l'opció final davant de la gestió pot ser diferent de la proposta elaborada a classe.

4.5. ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR I EMOCIONS

En general, la racionalitat, la seriositat, la neutralitat, l'estudi, l'objectivitat, la regularitat s'entenen com a aspectes diferents de la creativitat, la imaginació, l'emoció, el sentiment, la intuïció, la irrepetibilitat, el desordre i la llibertat. Constitueixen una perspectiva que obstaculitza comprendre el món com una construcció i interpretació humana que segueix unes regles que permeten construir lliurement estratègies, utilitzant els límits i les barreres establerts; unes regles que permeten activar la creativitat que és racional i també intuïtiva, integradora de pensament i sentiment. Situats en la perspectiva científica, fer ciència suposa crear models teòrics, i aquest és un procés inevitablement associat a la capacitat d'imaginar, d'emocionar-se, d'assaborir el repte de pensar noves idees amb les quals elaborar noves hipòtesis que permetin avançar en la construcció de nous coneixements.

Igual que la ciència, l'activitat científica escolar no suposa només un procés de reconstrucció de models mentals. Pensar, per exemple, en éssers vius no significa tan sols pensar en una estructura situada dins una xarxa tròfica en què els individus es distribueixen d'una forma jeràrquica, on el comportament del protagonista del vèrtex superior de la piràmide és previsible. Implica emocionar-se plantejant una pregunta significativa, exercitar la creativitat per trobar una resposta fent una immersió en el nivell micro (allò que no veig però puc imaginar). Suposa entrar en tensió emocional per a contrastar la pròpia representació amb l'elaborada pels altres companys, exercitar la imaginació per a comprendre les seves formes de veure la qüestió i, conjuntament, tenir la satisfacció de formular una resposta; tot això per a, possiblement, posar en crisi la representació inicial i fer-la evolucionar generant noves preguntes.

L'activitat científica escolar comporta activar de forma permanent un procés de construcció intel·lectual que està en constant diàleg entre certesa i incertesa, ordre i desordre, rigor i espontaneïtat, i que no està al marge de l'emoció i la imaginació. Un procés en el qual s'articula la relació entre diversitat de nivells sistèmics, atès que s'estableix una interacció bidireccional entre el macro, el meso i el micro, i ens planteja preguntes per a elaborar les respostes a partir del diàleg entre nivells escalars.

És una forma d'entendre l'activitat científica escolar que no perd de vista la perspectiva emocional, atès que desenvolupa la curiositat, valora la interacció social, estableix un diàleg entre estabilitat i canvi, possibilita crear el propi coneixement científic integrant la creativitat (Mayer, 2002). És un plantejament de l'activitat científica escolar que pressuposa que l'emoció i la creativitat no són incompatibles amb la construcció de coneixement científic a l'escola. Un coneixement savi que es gaudeix i és útil per a viure, inventar i crear un futur més equitatiu i sostenible.

5. A TALL DE CONCLUSIÓ

El paradigma de la complexitat es mostra com un camí obert. Com una forma d'aventurar-se a noves visions del món. Una manera d'entendre els fenòmens que es va construint dia a dia, en un diàleg permanent entre el risc i la seguretat, entre el rigor i l'espontaneïtat. En aquest sentit ens mostra els processos d'ensenyament-aprenentatge i les disciplines que els estudien des d'una nova perspectiva. Permet integrar l'atzar i la indeterminació com una forma de responsabilitat que fa sentir a tots els participants en els processos d'ensenyament-aprenentatge com a protagonistes en la construcció del futur. Tot i així, el para-

digma de la complexitat encara mostra aspectes que desafien el nostre sentit comú, que ens demanen continuar investigant en diversitat de perspectives com a forma de fer front als reptes que ens presenta el nostre temps.

BIBLIOGRAFIA

- BONIL, J. [et al.]. «El diálogo disciplinar, un camino necesario para avanzar hacia la complejidad». A: *Investigación en la escuela*. Sevilla: Díada, 2004a, p. 83-97.
- «Un nuevo marco para dar respuesta a las dinámicas sociales: el paradigma de la complejidad». A: *Investigación en la escuela*. Sevilla: Díada, 2004b, p. 5-19.
- CAPRA, F. *La trama de la vida, una nueva perspectiva de los sistemas vivos*. Barcelona: Anagrama, 1996.
- GELL-MANN, M. *El quark y el jaguar, aventuras en lo simple y lo complejo*. Barcelona: Tusquets, 1995.
- GIERE, R. N. «Un nuevo marco para enseñar el razonamiento científico». *Enseñanza de las Ciencias* [Barcelona: ICE-Universitat Autònoma de Barcelona], núm. extra (juny 1999), p. 63-70.
- HORGAN, J. *El fin de la ciencia, los límites del conocimiento en el declive de la era científica*. Barcelona: Paidós, 1998.
- IZQUIERDO, M.; ESPINET, M.; GARCÍA, M. P.; PUJOL, R. M.; SANMARTÍ, N. «Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar». *Enseñanza de las Ciencias* [Barcelona: ICE-Universitat Autònoma de Barcelona], núm. extra (juny 1999), p. 79-92.
- MAYER, M. «Ciudadanos del barrio y del planeta». A: IMBERNON, F. [coord.]. *Cinco ciudadanías para una nueva educación*. Barcelona: Graó, 2002, p. 83-104.
- MORIN, E. *Els set coneixements necessaris per a l'educació del futur*. Barcelona: UNESCO, 2000.
- *Tenir el cap clar*. Barcelona: La Campana, 2001.
- MORIN, E.; NAÏR, S. *Una política de civilització*. Barcelona: UOC: Proa, 1998.
- PRIGOGINE, I. *El fin de las certidumbres*. Barcelona: Taurus, 1997.
- PUJOL, R. M. «Les ciències, més que mai, poden ser una eina per formar ciutadans i ciutadanes». *Perspectiva Escolar* [Barcelona], núm. 257 (2000), p. 2-8.
- ROGER, E. *Complejidad, identidad, relativismo cultural y individuo* [en línia]. 1999. <<http://www.complejidad.org>>
- *Complejidad, elementos para una definición* [en línia]. 2000. <<http://www.complejidad.org>>
- VARELA, F. «Haciendo camino al andar». A: THOMSON, W. I. [coord.]. *Gaia, implicaciones de la nueva biología*. Barcelona: Kairós, 1989.
- VILAR, S. *La nueva racionalidad: Comprender la complejidad con métodos transdisciplinarios*. Barcelona: Kairós, 1997.
- VON BERTALANFFY, L. *Teoría general de los sistemas, fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. Mèxic: Fondo de Cultura Económica, 1986.