



Universitat Autònoma de Barcelona

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències
Experimentals

TESI DOCTORAL

**La comunicació multimodal en
l'ensenyament del cicle de l'aigua**

Conxita Márquez Bargalló

Bellaterra, març de 2002

Directores:

Mariona Espinet Blanch

Mercè Izquierdo Aymerich

Al Santi, al Bernat i a l'Anna.

A la meva mare i, també, al
meu pare a qui li hauria
agradat viure aquest
treball.

A tots els qui m'han donat
part del seu temps.

A g r a ï m e n t s

Una tesi és un camí llarg. Aquest camí hi ha moltes persones que m'han ajudat a fer-lo. Ara és el moment de deixar constància escrita del meu agraïment.

- A tota la gent de les escoles i dels instituts amb qui he treballat.
- A la gent del Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona.
- A tota la gent que m'ha ajudat a formar-me: cursos de mestratge i de doctorat, grups de recerca i seminaris de treball, etc.
- A tota la gent que m'ha ajudat a resoldre els problemes tècnics, de maquetació, informàtics, lingüístics, administratius, etc.
- A tots els alumnes que he tingut al llarg d'aquests anys, perquè és veritat que qui més aprèn és el mestre.
- A la Montserrat Roca, que ha permès que la filmés, que l'analitzés, que l'avalués... i que m'ha permès aprendre d'ella constantment.
- A en Xavier Luna, a qui dec hores de debat, de reflexió i de diàleg.
- A l'Àngels Prat, que m'ha donat criteris d'anàlisi dels llibres de text que he utilitzat.
- A en Joan Bach, que m'ha ajudat a veure que el cicle de l'aigua és més que un cicle i més que aigua.
- Als meus fills Bernat i Anna. Primer perquè són els meus fills, però també perquè en Bernat em va ajudar a transcriure els vídeos que he fet servir, i perquè l'Anna m'ha posat les comes on convenia.
- A en Santi. Perquè és el Santi i perquè sempre em sap fer costat.
- A les meves directores de tesi Mercè Izquierdo i Mariona Espinet.

I a totes aquelles persones que m'han ajudat a posar punt i final a aquesta tesi i a descobrir que un punt i final sempre és un tornar a començar.

ÍNDEX

1. PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA.....	1
1.2 PREGUNTES I OBJECTIUS DE LA RECERCA.....	3
1.3 ORGANITZACIÓ GENERAL DE LA TESI.....	8
2. MARC TEÒRIC DE LA RECERCA.....	11
2.1 LA COMUNICACIÓ A LES CLASSES DE CIÈNCIES: UNA VISIÓ MULTIMODAL	12
2.1.1 <i>La natura del discurs científic</i>	18
2.1.2 <i>Semiòtica social</i>	26
2.1.3 <i>La gramàtica sistemicofuncional. M.A.K Halliday</i>	29
2.1.4 <i>Les imatges en la producció i comunicació de significat científic</i>	37
2.1.5 <i>La gramàtica visual</i>	39
2.1.6 <i>El discurs multimodal del professor: voluntat de convèncer</i>	48
2.2 LA MODELITZACIÓ CIENTÍFICA.....	50
2.2.1 <i>El model cognitiu de ciència</i>	50
2.2.2 <i>Models: tipologies i modes de representació</i>	55
2.2.3 <i>Models mentals, models expressats i representacions</i>	59
2.2.4 <i>L'explicació científica</i>	62
2.3 EL CICLE DE L'AIGUA.....	64
2.3.1 <i>Cicle i ciències</i>	64
2.3.2 <i>El cicle: un contingut escolar?</i>	68
2.3.3 <i>El cicle. Afavoreix maneres de pensar complexes</i>	73
2.3.4 <i>El cicle de l'aigua. Un model explicatiu</i>	74
2.3.5 <i>Evolució històrica del cicle de l'aigua</i>	76
2.3.6 <i>Visió actual del cicle de l'aigua. La Terra com a sistema</i>	86
2.4 ELS LLIBRES DE TEXT: UN TEXT MULDIMODAL.....	91
2.4.1 <i>Algunes consideracions en relació al llibre de text</i>	91
2.4.2 <i>Tipologies de textos didàctics</i>	94
2.4.3 <i>Canvis en els llibres de text de ciències</i>	102
2.4.4 <i>Els cicles en els llibres de text</i>	104
3. METODOLOGIA DE LA RECERCA.....	109
PART 1. INTERVENCIÓ EDUCATIVA: EL CICLE DE L'AIGUA.....	110
3.1 CONTEXT DE L'EXPERIÈNCIA.....	110
3.1.1 <i>La professora</i>	110
3.1.2 <i>L'alumnat</i>	111
3.1.3 <i>Proposta de treball a l'aula</i>	111

PART 2. EL DISCURS MULTIMODAL A L'AULA. EL DISCURS DE LA PROFESSORA	115
3.2 OBTENCIÓ DE LES DADES	117
3.3 ANÀLISI DE LES DADES	118
3.3.1 <i>Transcripció inicial</i>	119
3.3.2 <i>Transcripció per modes comunicatius</i>	121
3.3.3 <i>Relat de les sessions</i>	123
3.3.4 <i>Identificació de les unitats d'anàlisi</i>	123
3.3.5 <i>Anàlisi de la parla de la professora aplicant aspectes de la gramàtica sistemicofuncional</i>	127
3.3.6 <i>Definició provisional de les categories d'anàlisi del mode lingüístic</i> ..	135
3.3.7 <i>Aplicació experimental de les categories d'anàlisi al mode gestual, al llenguatge visual, al text escrit a la pissarra i a la parla de l'alumnat</i>	143
3.3.8 <i>Definició definitiva de les categories d'anàlisi</i>	148
3.3.9 <i>Anàlisi de cada segment d'interactivitat</i>	148
3.3.10 <i>Anàlisi de tota l'activitat comunicativa</i>	152
PART 3. EL CICLE DE L'AIGUA EN ELS LLIBRES DE TEXT	153
3.4 MOSTRA.....	154
3.5 ANÀLISI DE DADES	156
3.5.1 <i>Definició dels aspectes a analitzar</i>	156
3.5.2 <i>Anàlisi de cada aspecte</i>	157
3.5.3 <i>Comparació entre les tipologies definides</i>	157
PART 4. EVOLUCIÓ DE LES REPRESENTACIONS DE L'ALUMNAT SOBRE EL CICLE DE L'AIGUA	157
3.6 MOSTRA.....	159
3.7 OBTENCIÓ DE DADES	159
3.7.1 <i>Disseny i explotació del qüestionari inicial</i>	160
3.7.2 <i>Disseny d'una activitat de classe que comporti l'elaboració d'un diagrama del cicle de l'aigua</i>	161
3.7.3 <i>Disseny i explotació del qüestionari final</i>	161
3.8 ANÀLISI DE DADES	162

4. COMUNICACIÓ MULTIMODAL A L'AULA. EL DISCURS DE LA PROFESSORA	165
4.1 RELAT A GRANS TRETES DE LES DUES SESSIONS DE CLASSE.....	167
4.2 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.1: "PLANTEJAMENT DEL PROBLEMA"	175
4.2.1 <i>Descripció del segment 1.1</i>	175
4.2.2 <i>Situació del segment en el procés de modelització</i>	176
4.2.3 <i>Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat "Plantejament del problema"</i>	176
4.2.4 <i>Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament de l'activitat de modelització del cicle de l'aigua</i>	184

4.2.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	186
4.3 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.2: “APROPIACIÓ DEL PROBLEMA I NOMINACIÓ DE L’ENTITAT”.....	187
4.3.1 Descripció del segment.....	187
4.3.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	188
4.3.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Apropiació del problema i nominació de l’entitat”.....	188
4.3.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d’una activitat de modelització del cicle de l’aigua.....	197
4.3.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	198
4.4 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.3: “PRESENTACIÓ DEL MODEL”.....	199
4.4.1 Descripció del segment.....	199
4.4.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	200
4.4.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Presentació del model”.....	201
4.4.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d’una activitat de modelització del cicle de l’aigua.....	210
4.4.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	212
4.5 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.4: “LOCALITZACIÓ DELS LLOCS O MAGATZEMS ON TROBEM AIGUA A LA NATURA”.....	213
4.5.1 Descripció del segment.....	213
4.5.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	214
4.5.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Localització dels llocs o magatzems on trobem aigua a la natura”.....	215
4.5.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d’una activitat de modelització del cicle de l’aigua.....	226
4.5.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	228
4.6 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DELS SEGMENT 1.5: “IDENTIFICACIÓ I REPRESENTACIÓ DELS CANVIS EN EL CICLE DE L’AIGUA”.....	229
4.6.1 Descripció del segment.....	229
4.6.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	231
4.6.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Identificació i representació dels canvis en el cicle de l’aigua”.....	232

4.6.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament de l'activitat de modelització del cicle de l'aigua.....	244
4.6.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	246
4.7 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.6 : “TREBALL PERSONAL I EXPLICITACIÓ DE DUBTES. IDENTIFICACIÓ I REPRESENTACIÓ DELS CANVIS EN EL CICLE DE L'AIGUA”	247
4.7.1 Descripció del segment.....	247
4.7.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	248
4.7.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “ Treball personal i explicitació de dubtes Identificació i representació dels canvis en el cicle de l'aigua” ...	248
4.7.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d'una activitat de modelització a l'aula	254
4.7.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	256
4.8 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.7: “PER QUÈ PARLEM DE CICLE? ENCADENAMENT DE CANVIS”	257
4.8.1 Descripció del segment.....	257
4.8.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	259
4.8.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “ Per què parlem de cicle? Encadenament de canvis	259
4.8.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament de l'activitat de modelització del cicle de l'aigua.....	268
4.8.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	270
4.9 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 1.8: “DIVERSITAT DE CICLES” ...	271
4.9.1 Descripció del segment.....	271
4.9.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	271
4.9.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Hi ha molts cicles diferents”	272
4.9.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d'una activitat de modelització del cicle de l'aigua.....	281
4.9.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	283
4.10 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 2.1: “DIFICULTATS EN LA IDENTIFICACIÓ I LA REPRESENTACIÓ DELS CANVIS EN EL CICLE DE L'AIGUA”	284
4.10.1 Descripció del segment.....	284
4.10.2 Situació del segment en el procés de modelització	285
4.10.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat “Dificultats en la identificació i en la representació dels canvis en el cicle de l'aigua”	285

4.10.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament de l'activitat de modelització del cicle de l'aigua	295
4.10.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	298
4.11 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 2.2: "IDENTIFICACIÓ I REPRESENTACIÓ DE MÉS CANVIS"	298
4.11.1 Descripció del segment.....	298
4.11.2 Localització del segment dins el procés de modelització.....	299
4.11.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat " Identificació i representació de més canvis".....	299
4.11.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d'una activitat de modelització del cicle de l'aigua	308
4.11.5 Anàlisi i interpretació de la contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	310
4.12 ANÀLISI I INTERPRETACIÓ DEL SEGMENT 2.3: "AGENTS CAUSALS EN EL CICLE DE L'AIGUA"	310
4.12.1 Descripció del segment.....	310
4.12.2 Situació del segment en el procés de modelització.....	311
4.12.3 Anàlisi i interpretació de les funcions principals de cadascun dels modes comunicatius en el segment analitzat "Agents causals en el cicle de l'aigua"	311
4.12.4 Anàlisi i interpretació de la contribució dels diferents modes comunicatius al desenvolupament d'una activitat de modelització del cicle de l'aigua	322
4.12.5 Contribució de la parla de la professora i de l'alumnat en cadascun dels espais temàtics i processos.....	324
4.12.6 Ús de metàfores i analogies figuratives.....	324
4.13 RESULTATS GLOBAIS.....	327
4.13.1 La contribució de cada mode comunicatiu al procés de modelització del cicle de l'aigua.....	328
4.13.2 La relació entre els modes comunicatius en el procés de modelització del cicle de l'aigua	343
4.13.3 Arquitectura comunicativa en el procés de modelització sobre el cicle de l'aigua	347
4.13.4 La contribució de la parla de l'alumnat al procés de modelització del cicle de l'aigua	351

5. EL CICLE DE L'AIGUA EN ELS LLIBRES DE TEXT355

5.1 ELS ELEMENTS DEL CICLE DE L'AIGUA REPRESENTATS I ENUNCIATS EN ELS LLIBRES DE TEXT.....	360
5.1.1 Elements del cicle de l'aigua representats	362
5.1.2 Elements del cicle de l'aigua enunciats.....	365

5.1.3 Comparació entre els elements del cicle de l'aigua representats i enunciat en els llibres de text.....	367
5.2 ELS PROCESSOS DEL CICLE DE L'AIGUA REPRESENTATS I ENUNCIATS EN ELS LLIBRES DE TEXT	368
5.2.1 Processos del cicle de l'aigua representats.....	369
5.2.2 Processos del cicle de l'aigua enunciat	372
5.2.3 Comparació entre els processos del cicle de l'aigua representats i enunciat en els llibres de text	375
5.3 LA PÀGINA DEL LLIBRE DE TEXT: ANÀLISI GLOBAL.....	376
5.4 ELS DIAGRAMES DEL CICLE DE L'AIGUA EN ELS LLIBRES DE TEXT.....	384
5.4.1 Tipologia de diagrames sobre el cicle de l'aigua.....	391
5.4.2 Discussió dels resultats en relació a la tipologia dels diagrames del cicle de l'aigua.....	395
5.5 ELS TEXTOS DIDÀCTICS SOBRE EL CICLE DE L'AIGUA EN ELS LLIBRES DE TEXT	398
5.5.1 Tipologia de textos didàctics del cicle de l'aigua.....	404
5.5.2 Discussió dels resultats en relació a la tipologia del text didàctic sobre el cicle de l'aigua	411
5.6 RELACIONS ENTRE LES TIPOLOGIES DELS DIAGRAMES I DELS TEXTOS DIDÀCTICS SOBRE EL CICLE DE L'AIGUA.....	412
5.7 L'ÚS DE LES FLETXES EN ELS DIAGRAMES DEL CICLE DE L'AIGUA	414
5.7.1 Discussió dels resultats en relació a l'ús de les fletxes en els diagrames del cicle de l'aigua.....	419
5.8 RESULTATS GLOBAIS.....	420

6. LES REPRESENTACIONS DE L'ALUMNAT SOBRE EL CICLE DE L'AIGUA.....423

6.1 IDENTIFICACIÓ, CARACTERITZACIÓ I COMPARACIÓ DELS MODELS ESPACIALS I DINÀMICS	425
6.1.1 Elaboració d'una xarxa sistèmica.....	425
6.1.2 Identificació i caracterització dels models espacials i dinàmics en el diagrama inicial.....	427
6.1.3 Identificació i caracterització dels models espacials i dinàmics en el diagrama realitzat durant l'activitat d'ensenyament - aprenentatge (DA)...	431
6.1.4 Identificació i caracterització dels models espacials i dinàmics en el diagrama final (DF)	435
6.1.5 Evolució dels models en relació als components espacials i dinàmics del cicle de l'aigua.....	439
6.2 IDENTIFICACIÓ, CARACTERITZACIÓ I COMPARACIÓ DELS MODELS CAUSALS.....	445
6.2.1 Elaboració de la xarxa sistèmica	445
6.2.2 Identificació i caracterització dels models causals en el diagrama inicial	448
6.2.3 Identificació i caracterització dels models causals en el diagrama final.....	453

6.2.4	<i>Evolució dels models en relació als components causals</i>	456
6.3	IDENTIFICACIÓ, CARACTERITZACIÓ I COMPARACIÓ DELS USOS DE LES FLETXES EN ELS DIAGRAMES DEL CICLE DE L'AIGUA.....	463
6.3.1	<i>Elaboració d'una xarxa sistèmica</i>	463
6.3.2	<i>Identificació i caracterització dels usos de les fletxes en el diagrama inicial (DI)</i>	466
6.3.3	<i>Identificació i caracterització dels usos de les fletxes en el diagrama fet durant l'activitat d'ensenyament-aprenentatge</i>	468
6.3.4	<i>Identificació i caracterització dels usos de les fletxes en el diagrama final (DF)</i>	470
6.3.5	<i>Comparació entre el diagrama inicial (DI), el diagrama realitzat durant el procés d'ensenyament-aprenentatge (DA) i el diagrama final (DF) en relació a l'ús i significat de les fletxes</i>	472
6.3.6	<i>Comparació de l'ús de les fletxes en els llibres de text i en les representacions de l'alumnat</i>	475
6.4	RESULTATS GLOBALS.....	476
6.4.1	<i>En relació als aspectes espacials i dinàmics del cicle de l'aigua</i>	477
6.4.2	<i>En relació als indicis de raonament causal en el cicle de l'aigua</i>	479
6.4.3	<i>En relació als usos de les fletxes en el cicle de l'aigua</i>	480
6.4.4	<i>En relació amb els models intermediaris</i>	481

7. CONCLUSIONS I POSSIBLES DERIVACIONS DE LA RECERCA.....483

7.1	CONCLUSIONS.....	484
7.2	POSSIBLES DERIVACIONS DE LA RECERCA	495
7.2.1	<i>En l'ensenyament de les ciències</i>	495
7.2.2	<i>Suggeriments de noves línies de recerca</i>	496

8. BIBLIOGRAFIA499

9. ANNEXOS.....513

9.1	ACTIVITATS REALITZADES A L'AULA AMB RELACIÓ AMB EL CICLE DE L'AIGUA.	513
9.2	TEXT LINGÜÍSTIC CORRESPONENT AL CICLE DE L'AIGUA DELS LLIBRES DE TEXT ANALITZATS	529
9.3	TRANSCRIPCIÓ MULTIMODAL DE LES DUES SESSIONS ANALITZADES ..	538

C A P Í T O L 1

Plantejament del problema

INTRODUCCIÓ

En aquest capítol s'exposarà el plantejament del problema, les preguntes i els objectius que ens proposem i l'organització general del document.

1.1 Plantejament del problema

Els darrers anys han augmentat les recerques en didàctica de les ciències que centren la seva anàlisi en el discurs a la classe de ciències i en el seu potencial per entendre millor els processos de creació de significats (Lemke, 1997; Halliday i Martin, 1993; Ogborn, Kress, Martins i McGillicuddy, 1998; Mortimer, 1998; Scott, 1997). Aquestes recerques han generat grans quantitats d'observacions a l'aula que consideren que és l'espai comunicatiu que permet aquesta construcció de significat. Cada recerca es fixa en un aspecte específic, però totes coincideixen que

els professors fan molt més que crear oportunitats per tal que els alumnes participin activament en la construcció del seu coneixement i que, en fer-ho, els professors parlen, fan gestos, utilitzen imatges, materials concrets, etc..., és a dir, utilitzen diferents modes comunicatius. I, així, es pot parlar de la natura multimodal de la comunicació a l'aula (Kress, Ogborn i Martins, 1998).

En la 3rd European Summerschool d'ESERA organitzada a Barcelona, Ogborn, Martins, Kress i McGillicuddy (1996) van plantejar la necessitat de considerar la comunicació a l'aula des d'un punt de vista més ampli que l'estrictament lingüístic. Proposaven que calia observar les imatges, els gestos, la postura, les accions experimentals, i estudiar què comunicaven i com contribuïen a la construcció de significats. Aquest va ser l'inici d'una inquietud i un interès personal en relació amb aquesta temàtica.

La participació en el projecte del CIDE "La clase comunicativa: una estrategia para una enseñanza de calidad" (Izquierdo *et al.*, 2000a) em va permetre aprofundir aspectes de la comunicació a l'aula i focalitzar el meu interès en l'anàlisi de situacions concretes d'aula i en l'ús dels llibres de text en aquest procés comunicatiu (Márquez, Espinet, Roca, 2000; Márquez i Espinet, 2001; Márquez, Espinet i Izquierdo, 2002).

El Departament de Didàctica de les Ciències Experimentals i de la Matemàtica de la Universitat de Barcelona va organitzar el febrer de 2000 un seminari de recerca sobre formes de comunicació a la classe de ciències. En aquest seminari va intervenir Carey Jewitt com a membre del projecte d'investigació britànic *The Rhetorics of the science classroom: a multimodal approach* (Kress, Ogborn, Jewitt i Tsatsarelis, 2000). En aquest projecte es partia de la consideració de l'aula com un ambient multimodal on la construcció dels nous significats es fa per mitjà dels diferents modes comunicatius que hi intervenen. El projecte ara ja finalitzat mostra que cada mode comunicatiu (el mode lingüístic, el mode visual, el mode gestual, el mode accional...) té una funció especialitzada dins el context comunicatiu de l'aula de ciències.

Aquesta **visió multimodal de la comunicació a l'aula de ciències** va resultar molt suggeridora i és el tema central que es tracta en aquesta recerca.

El meu interès per la comunicació multimodal es deu al canvi observat, sobretot a nivell social i en els llibres de text, en la comunicació de les idees científiques. Aquesta comunicació cada vegada més visual és evidentment atractiva, però planteja algunes preguntes: n'hi ha prou

amb la imatge?, quin tipus d'informació cal comunicar a nivell lingüístic? A més, si ens situem en el context escolar les preguntes es multipliquen, sobretot aquelles relacionades amb el paper del professorat en la comunicació dels continguts científics.

En el moment de començar la recerca vaig seleccionar, d'entre els diferents continguts científics, el cicle de l'aigua. És un dels primers cicles que s'ensenya i és un tema present en el currículum de diferents nivells educatius. El vaig escollir pel fet que, al llarg dels anys que he dedicat a l'ensenyament, he pogut constatar els problemes que planteja el seu aprenentatge per part dels alumnes de primària i de secundària. Sempre m'ha impressionat la facilitat amb què els alumnes assumeixen a nivell gràfic el cicle de l'aigua i la dificultat que els representa interpretar situacions que hi fan referència. A més, el cicle de l'aigua pot ser un exemple que permeti el seguiment d'un procés de modelització, i, finalment, el vaig escollir, perquè, tal com ha posat de manifest Christodolou (1999), els cicles són un dels casos més explícits de construcció multimodal de significat. Els cicles, que apareixen en els llibres de text i en les pissarres de les classes, són construccions multimodals de significat: les imatges i el text escrit contribueixen a la construcció del seu significat.

L'altra decisió va ser centrar l'estudi en una aula de ciències de secundària, concretament a primer d'ESO, i focalitzar l'anàlisi en el discurs de la professora. Una companya del Departament i professora, amb molts anys d'experiència, d'un centre d'ensenyament secundari es va oferir a col·laborar en la recerca.

1.2 Preguntes i objectius de la recerca

Passem ara a definir les preguntes de la recerca.

El professor és el facilitador o conductor del procés de construcció de significat a l'aula, és qui decideix en un moment determinat fer un dibuix a la pissarra, llegir un fragment del llibre de text o del material escrit seleccionat per a l'ocasió, escriure una fórmula, moure les mans d'una determinada manera, proposar un experiment. El professor està comunicant el contingut científic a través d'un gran nombre d'estructures comunicatives, de seqüències que se succeeixen i d'una determinada interrelació entre els modes comunicatius. El dibuix fet a la pissarra mostrarà aspectes, com les relacions espacials entre les entitats,

que són més fàcilment comunicables amb aquest mode que amb un altre, mentre que el gest li permetrà afegir característiques rítmiques o dinàmiques als fenòmens dels quals parla. La qüestió és que moltes vegades aquesta manera de procedir es fa intuïtivament o de manera conscient i l'alumnat pot tenir dificultats a destriar-ne el significat científic rellevant.

Aquesta recerca vol aprofundir aquest aspecte i donar dades concretes i no intuïtives dels diferents modes comunicatius que utilitzen els professors a l'hora d'intentar convèncer els alumnes perquè mirin i expliquin els fenòmens de la natura a partir de models cada vegada més semblants als científics. Ens plantegem conèixer què aporta cadascun d'aquests **modos de comunicació** a l'acte de comunicació que té com a finalitat la construcció conjunta d'un determinat concepte o model científic. Ens centrarem en el mode lingüístic, la parla i el text escrit a la pissarra, el mode gestual i el mode visual.

L'anàlisi del discurs de la professora es fa a través de la gramàtica sistemicofuncional (GSF). La consideració del discurs de la professora des d'un punt de vista no estrictament lingüístic, com un discurs multimodal, suposa un repte, ja que caldrà comprovar si una adaptació de l'anàlisi lingüística ens permet analitzar els altres modes semiòtics que constitueixen el discurs de la professora.

La primera pregunta de la recerca és: **com contribueixen els diferents modes comunicatius al discurs del professorat en una classe de ciències?**

L'objectiu general és : conèixer l'ús especialitzat dels diferents modes comunicatius en el discurs de la professora i la seva relació en la construcció de significat en una situació comunicativa concreta com és una classe de ciències de secundària on es treballa el cicle de l'aigua.

Aquest objectiu es concreta en uns de més específics que són:

- Definir unes categories d'anàlisi comunes als diferents modes comunicatius i desenvolupar eines de recerca per analitzar la contribució de diferents modes comunicatius a la comunicació de continguts científics a l'aula.
- Descriure l'ús que fa un professor de ciències dels diferents modes comunicatius i conèixer les funcions específiques que realitza cada mode comunicatiu.

- Determinar les relacions entre els modes comunicatius i la seva influència en la comunicació més eficaç de significats.

La voluntat d'aprofundir l'ús, els potencials comunicatius del text escrit i el llenguatge gràfic i la seva integració en la construcció de significat ens condueix a una nova pregunta, ara sobre el llibre de text.

Hem de fer dues consideracions prèvies que ens porten a aquesta nova pregunta. La primera està relacionada amb el llibre de text com un mediador més, i molt usat, en el procés de construcció de coneixement a l'aula. Els llibres de text comuniquen una gran quantitat d'informació en relació amb tot allò que es considera fonamental en una determinada branca de la ciència. Aquesta informació, en principi, hauria de ser reelaborada a la classe en la interacció entre l'alumnat, el professorat i el llibre de text. D'aquí l'interès del professorat a tenir criteris sobre com avaluar el tractament que fan els llibres de text d'un determinat contingut científic.

La segona es refereix a la natura multimodal dels llibres de text. Aquests són, cada vegada d'una manera més evident, textos multimodals, ja que creen nous significats a partir de la integració de diferents llenguatges o modes comunicatius (Halliday, 1978; Kress i van Leeuwen, 1996; Kress i Ogborn, 1998; Lemke 1998a). En qualsevol llibre de text de ciències es troba aquesta multimodalitat de llenguatges, on predomina el llenguatge escrit però també és de gran rellevància el llenguatge visual (imatges, dibuixos, esquemes) i el llenguatge matemàtic.

L'augment d'imatges, de recursos gràfics, de CD de consulta en els llibres de text, no creiem que sigui només degut als avenços en tècniques d'edició i de tractament d'imatges. Aquest canvi es correspon amb el que també s'observa en altres àmbits de la comunicació social i que es pot considerar que és un tret de la societat de la informació en què vivim. En pocs anys s'ha passat d'una visió de la comunicació centrada en la primacia del llenguatge verbal, sigui escrit o oral, a considerar que la comunicació utilitza diferents llenguatges: el verbal, (però també) el gràfic, el gestual, el so, l'acció, etc.

Tradicionalment, en els llibres de text la informació principal es donava per escrit i les imatges tenien una funció il·lustradora, estaven subordinades al text. Actualment, la relació entre el text escrit i el gràfic és més complexa i les imatges han passat, en alguns casos, de ser la il·lustració del text a ser el nucli fonamental de comunicació de nova informació. Conèixer el tipus d'informació que aporta la imatge i la que dona el text escrit pot ajudar a comprendre millor el paper especialitzat

6

de la representació gràfica i del text escrit en la construcció de models científics (considerats explicacions científiques que impliquen una representació de la realitat) a les aules de ciències. També pot aportar criteris que caldrà tenir en compte a l'hora de triar materials didàctics.

Els llibres de text són molt importants per a la nostra recerca, ja que permeten estudiar en un altre context les relacions entre el text escrit i el llenguatge visual a l'hora de comunicar un determinat contingut científic: el cicle de l'aigua.

La segona pregunta de la recerca és: **com contribueixen els diferents modes comunicatius al discurs científic en el llibre de text?** I, més concretament, què aporten el mode lingüístic i el mode visual, en els llibres de text, a la comunicació d'un model científic com és el cicle de l'aigua?

L'objectiu general és: conèixer l'ús especialitzat dels modes lingüístic i visual i la seva relació en els llibres de text, a la comunicació d'un contingut científic com és el cicle de l'aigua.

Aquest objectiu es concreta en uns de més específics que són:

- Comparar en diferents textos la informació aportada a nivell lingüístic i visual, dels elements i processos que intervenen en el cicle de l'aigua.
- Comparar els llibres de text de secundària i primària.
- Elaborar criteris per analitzar els diagrames i els textos escrits que apareixen en els llibres de text.
- Definir les tipologies textuals i de diagrames més comunes en la comunicació del cicle de l'aigua.
- Determinar els tipus de relacions entre el diagrama i el text escrit en la comunicació del cicle de l'aigua.
- Conèixer els usos i els significats de les fletxes en els diagrames del cicle de l'aigua en els llibres de text.

Finalment, cal considerar que la recerca s'inscriu en l'enfocament que considera l'aprenentatge dels conceptes com un procés evolutiu a través del qual els alumnes estableixen connexions entre diferents coneixements, amplien el grau de complexitat de les concepcions i van precisant el llenguatge utilitzat.

En el Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la UAB s'ha iniciat des de fa anys una línia de recerca que considera l'ensenyament-aprenentatge a l'aula com una activitat de ciència escolar (Izquierdo, 1995; Izquierdo, Espinet, García, Pujol i Sanmartí, 1999) en la qual l'ús de models és fonamental.

Des d'aquest punt de vista, a la classe de ciències, els alumnes i professors s'expliquen els fenòmens del món per mitjà de la construcció i l'ús de models, considerats representacions simplificades dels fenòmens (Gilbert, 1991). Els professors proposen un model teòric escolar (Izquierdo i Adúriz, 2001) l'apropiació del qual, per part de l'alumnat, és diversa i mai s'acompleix d'una manera absoluta.

Aquesta tesi es planteja descriure el procés de modelització, dirigit per una professora, que es du a terme a l'aula en relació a la circulació de l'aigua en la natura. Es presentaran els aspectes del model que es van introduint i que contribueixen a l'elaboració d'una representació cada vegada més completa del fenomen. Així mateix, no volem oblidar l'alumnat i ens proposem mostrar l'evolució del seu procés d'apropiació del model al llarg de dos cursos escolars.

El seguiment del procés d'apropiació es farà a partir de l'anàlisi dels diagrames sobre el cicle de l'aigua. Els diagrames, fets en tres moments, són els models expressats, als quals anomenarem *representacions* i es consideren "els artefactes" a través dels quals externalitzen el seu coneixement (Gobert, 2000).

La tercera pregunta de la recerca és: **com evolucionen les representacions de l'alumnat sobre el cicle de l'aigua?** I, més concretament, com evoluciona el procés d'apropiació, per part de l'alumnat, del contingut científic cicle de l'aigua?

L'objectiu general d'aquesta part de la recerca és identificar, caracteritzar i comparar els diferents tipus de representacions que fa l'alumnat sobre el cicle de l'aigua a través del procés d'ensenyament/aprenentatge.

Aquest objectiu es concreta en uns de més específics que són:

- Identificar, caracteritzar i comparar els models espacials i dinàmics que sobre el cicle de l'aigua tenen els alumnes de la classe.
- Identificar, caracteritzar i comparar els models causals que sobre el cicle de l'aigua tenen els alumnes de la classe.

- Identificar i comparar els usos i significats de les fletxes que apareixen en els diagrames fets pels alumnes.

Conclusió

De manera més general, plantejar-se aquestes preguntes pot contribuir a comprendre el paper dels diferents modes comunicatius en la construcció conjunta de significat a l'aula. I també a comprendre la seva contribució en els llibres de text, cosa que permetrà millorar la capacitat de construir textos que facilitin la modelització científica dels estudiants. I també pot contribuir a donar criteris per conèixer l'evolució dels alumnes en la seva apropiació del procés de modelització.

1.3 Organització general de la tesi

La tesi està organitzada de la manera següent:

El capítol 2 presenta la configuració del marc teòric en quatre camps. En el primer camp, *La comunicació a les classes de ciències: una visió multimodal* es presenten algunes de les últimes aportacions en relació amb l'estudi de la comunicació a l'aula des d'una perspectiva més àmplia que l'estrictament lingüística i que considera l'ús dels diferents llenguatges o modes comunicatius que intervenen en la construcció de significats a les classes de ciències. S'exposen a continuació algunes de les característiques del llenguatge científic que poden influenciar el discurs a l'aula i la comunicació del que és la ciència. Seguidament es dedica un apartat a la semiòtica social, en la mesura que s'interessa per com les persones elaboren signes i símbols i els utilitzen per comunicar-se en un context determinat. Se segueix amb una presentació de la gramàtica sistemicofuncional (GSF) i s'exposen els aspectes específics d'aquesta que són importants per a la recerca. La importància de les imatges en la producció i la comunicació de significat científic és el següent punt al qual es fa referència, posteriorment es presenten algunes de les aportacions de la gramàtica visual que poden ser útils a l'hora d'analitzar el discurs multimodal del professorat i del llibre de text. Aquest primer apartat del marc teòric s'acaba presentant algunes de les aportacions que es fan des de la didàctica de la ciència de considerar el component retòric que hi ha en l'ensenyament de les ciències en la mesura que es vol convèncer els qui s'inicien a mirar el món i a actuar des del punt de vista científic.

En el segon, *La modelització científica* es presenten les aportacions que s'han fet des de la ciència cognitiva i des de la filosofia de les ciències, segons les quals la relació entre els fets i els models s'estableix per mitjà d'hipòtesis lingüístiques. S'exposen les característiques d'una ciència escolar considerada des del punt de vista del model cognitiu de ciència. El terme *model* és un dels més usats en recerca de didàctica de les ciències i es dedica un punt a revisar-ne algunes de les definicions i a presentar diferents tipologies i modes de representació dels models.

En l'apartat *El cicle de l'aigua*, es reflexiona sobre les característiques d'aquest contingut científic i es destaca el seu component multimodal. L'apartat s'inicia amb una reflexió a l'entorn de la importància dels cicles en la ciència, com a expressió d'una determinada manera d'entendre el funcionament del món. A continuació es fa un breu repàs de les propostes curriculars que proposen els cicles com un concepte estructurant o metadisciplinar. Seguidament es reflexiona a l'entorn dels avantatges d'usar la representació de processos en forma de cicles, que poden afavorir maneres de pensar i de raonar pròpies de les ciències, així com la consideració del cicle de l'aigua com un model explicatiu. S'acaba fent un repàs històric de les diferents explicacions que s'han anat donant de la circulació de l'aigua en la natura.

En el darrer apartat, *El llibre de text: un text multimodal* fan unes consideracions generals sobre els llibres de text com a discurs públic acceptat i consensuat sobre allò que es coneix del funcionament del món. Seguidament s'exposen, algunes propostes per analitzar les tipologies dels textos didàctics i es comenten els canvis en els llibres de text, tant pel que fa al contingut, com pel que fa a la intencionalitat o la presentació. Les diferents maneres en què es presenten els cicles en els llibres de text són el darrer punt.

En el capítol 3 es presenten les característiques metodològiques bàsiques de la recerca i les dificultats que han sorgit a l'hora de definir-les.

El capítol 4 presenta l'anàlisi i la interpretació que es fa del discurs multimodal de la professora. Es defineixen les funcions que realitza cadascun dels models comunicatius i es descriuen i s'interpreten les diferents relacions entre aquests i la seva contribució en el procés de modelització sobre la circulació de l'aigua en la natura.

El capítol 5, partint de la consideració del llibre de text com un text multimodal i aprofundeix les aportacions del mode lingüístic i el mode visual en la comunicació del cicle de l'aigua. En aquest capítol es

presenta l'anàlisi que s'ha fet de com comuniquen el cicle de l'aigua diferents llibres de text de primària i de secundària.

En el capítol 6 es mostra l'anàlisi de les representacions que fan els alumnes del cicle de l'aigua en tres moments del procés d'ensenyament-aprenentatge: abans, durant i després. S'estudien les variacions en les seves representacions i es detecten algunes dificultats i alguns aspectes que afavoreixen l'elaboració de millors representacions.

Finalment, el capítol 7 presenta les conclusions en relació amb les preguntes de la recerca i algunes possibles implicacions en l'ensenyament de les ciències.

C A P Í T O L 2

Marc teòric de la recerca

INTRODUCCIÓ

En aquest capítol s'exposen els referents conceptuals en què es basa la recerca. El capítol està dividit en quatre parts.

En la primera part, "La comunicació a les classes de ciències: una visió multimodal", s'aprofundeix una visió més àmplia de l'acte comunicatiu considerant l'ús dels diferents llenguatges o modes comunicatius en les classes de ciències. En la segona part, "La modelització científica" s'exposen algunes idees a l'entorn de l'ús de models en la ciència escolar. En l'apartat "El cicle de l'aigua" es reflexiona sobre aquest contingut científic, del qual es destaca el component multimodal.

En el darrer apartat, "El llibre de text: un text multimodal", es fan unes consideracions generals sobre els llibres de text i es comenten unes propostes d'anàlisi.

2.1 La comunicació a les classes de ciències: Una visió multimodal

The image shows a page of a musical score for J.S. Bach's Concerto for two violins, string quartet, and basso continuo. The score is in D minor and marked 'Vivace'. It features staves for Violino concertino I, Violino concertino II, Violino I, Violino II, Viola, and Cembalo. The score is in 3/4 time and consists of two measures shown. The first measure shows the beginning of the piece with various rhythmic patterns across the instruments. The second measure continues the piece with similar patterns. The score is written in a standard musical notation with clefs, notes, rests, and bar lines.

J. S. BACH. Concert per a dos violins, corda i baix continu. D minor/d-Moll/Ré mineur BWV 1043

En l'àmbit de l'educació hi ha la creença, àmpliament estesa, que considera que tot allò amb significat que s'esdevé en una classe s'expressa a través del llenguatge. Malgrat això, investigacions recents sobre la comunicació en diferents contextos educatius mostren una utilització cada vegada més gran, tant a les aules com en els llibres de text, de diferents modes de comunicació que van més enllà del llenguatge verbal (Kress, Ogborn i Martins, 1998) (Kress, Ogborn, Jewitt i Tsatsarelis, 2000) (Jewitt, Kress, Ogborn i Tsatsarelis, 2001).

Aquest canvi coincideix amb els que es donen en la comunicació social, on de manera constant apareixen nous modes de representació, de producció i de reproducció de coneixement (Lemke, 1998 *a*). La facilitat amb què disposem de processadors de textos, d'aplicacions de dibuix o de disseny gràfic, de programes d'animació, de CD-ROM, d'Internet, ha posat al nostre abast un repertori cada vegada més ampli de modes de comunicació que ha desplaçat el domini del llenguatge verbal.

Aquesta nova situació apunta cap a una transició en la conceptualització de la comunicació que va d'una **visió monomodal de la comunicació**, centrada en la primacia del llenguatge verbal (tant l'escrit com l'oral), cap a **una visió multimodal de la comunicació**, basada en la utilització "orquestrada" de diferents llenguatges o modes comunicatius (mode verbal, mode gestual, mode visual, etc.) (Kress, Ogborn i Martins, 1998). Des d'aquesta segona perspectiva, el llenguatge verbal passa a ser un mode més de comunicació, juntament amb altres. Així, per exemple, quan parlem articulem el nostre missatge amb la parla, el gest, la postura,

l'expressió de la cara. Quan escrivim no només tenen importància les paraules: la disposició del text en la pàgina, els aspectes visuals del text, també comuniquen significat.

Un problema que es planteja quan s'accepta que tota comunicació és, en essència, multimodal, consisteix a conèixer la funció que pot tenir cada mode comunicatiu en l'acte de comunicació i en la construcció de significats. Així, ens podríem preguntar si aquest enriquiment de modes de comunicació té una funció simplement estètica o accessòria, i per tant superficial, o bé té una funció fonamental en la construcció de significats i per tant en l'aprenentatge. Les investigacions realitzades per Kress, Ogborn i Martins, 1998; Kress, Ogborn, Jewitt i Tsatsarelis, 2000; Jewitt, Kress, Ogborn i Tsatsarelis, 2001 han mostrat que cada mode comunicatiu (lingüístic, visual, gestual, accional) té unes funcions especialitzades o uns rols comunicatius específics dins l'acte comunicatiu que es dona en una classe de ciències.

Alguns dels rols comunicatius que s'han identificat en una classe de ciències, per exemple en relació amb el mode visual són: "The provision of an abstract backdrop to verbal and gestural information; a tool for imaginative work, classification and making information stable, for example, in the form of visual representation of students' observations or actions, visual canonical forms in textbooks, or teacher's visual summaries" (Kress *et al.*, 2000:2).

Situats en aquest paisatge comunicatiu on intervenen diferents modes comunicatius, Kress *et al.* (1998) es pregunten sobre l'ús que es fa d'aquests modes. En el seu treball plantegen tres possibilitats diferents. La relació entre els modes comunicatius pot ser: a) "il·lustradora", b) "especialitzada" o c) "diferenciada" en funció del seu potencial inherent.

Consideren que la relació és d'il·lustració quan un mode duplica les funcions d'un altre. Els dos, o més, modes actuen en paral·lel: seria el cas d'una imatge usada per il·lustrar el que ja s'ha comunicat lingüísticament. La relació serà especialitzada quan un mode s'usa per a una funció i un altre, per a una altra. S'exemplifiquen les dues situacions comparant les pàgines de dos llibres de text de ciències. Les dues pàgines apareixen a les figures 2.1 i 2.2.

Si ens fixem en la figura 2.1, s'observa que el fragment de text escrit que apareix a la part superior esquerra, titulat "Per què es mor de set un naufrag tot i que està envoltat d'aigua?", exposa la distribució de la quantitat d'aigua salada i aigua dolça a la Terra. La imatge que hi ha a la dreta del text escrit comunica la mateixa idea, ja que mostra un

diagrama de sectors que recull les dades enunciades en el text escrit. La relació entre el llenguatge escrit i el llenguatge visual en la figura 2.1 se suposa que és il·lustradora (inevitablement una imatge sempre és més que una mera repetició de la informació), això vol dir que el llenguatge escrit comunica una informació que és “repetida” en la imatge.

En el cas de la figura 2.2, la representació gràfica no és il·lustradora, en el sentit de *repetició* que s’ha dit ratlles amunt. La representació gràfica comunica el contingut científic, presentant dos dels processos més significatius en la circulació de l’aigua en la natura (evaporació, precipitació), ubicant-los (mostrant la precipitació i l’evaporació tant la continental com l’oceànica), donant sentit en l’espai al procés i aportant dades quantitatives. Les preguntes que planteja el text lingüístic fan referència a la informació aportada per la representació gràfica. Per aquest motiu es considera que la relació entre els modes és *especialitzada* en la mesura que els modes comunicatius fan tasques especialitzades.

Finalment, Kress *et al.* (1998) consideren una tercera possibilitat: l’ús diferenciat. Els modes difereixen en els seus potencials (i les seves limitacions) inherents per representar i comunicar, i això pot motivar-ne l’ús diferenciat. Per exemple, si considerem el llenguatge oral i el llenguatge visual, el primer té unes característiques temporals i seqüencials; per tant, un potencial diferent que el segon, que té unes característiques espacials i simultànies. El llenguatge oral necessàriament se centra en una seqüència, en uns esdeveniments i en els esdeveniments ordenats. El llenguatge visual se centra en els elements que es poden presentar alhora en el camp visual i en les maneres com es relacionen. Així, el llenguatge oral permet comunicar seqüències d’esdeveniments, per exemple, a través d’una narració, mentre que el llenguatge visual permet comunicar les relacions espacials entre els elements.

Acceptar que cada mode comunicatiu té unes potencialitats i pot ser usat de manera diferenciada per aconseguir comunicar més fàcilment allò que li és inherent, és una idea important i amb possibles repercussions en les activitats comunicatives a l’aula. Durant molts anys el mode comunicatiu més valorat ha estat el lingüístic; les imatges, si s’usaven, tenien una funció subsidiària, eren un recurs per donar suport a la informació comunicada verbalment. En les últimes dècades hi ha hagut un canvi en les pràctiques socials i educatives i ha augmentat la presència dels diferents modes comunicatius.

En una situació d'ensenyament-aprenentatge com la que es desenvolupa en una aula de ciències, l'ús especialitzat de diferents modes comunicatius pot afavorir la comunicació de determinats aspectes del currículum. Conèixer els potencials comunicatius de cada mode ajudarà a millorar la comunicació a l'aula i donarà criteris per prendre decisions en relació amb l'ensenyament del futur.

Un dels aspectes bàsics a les classes de ciències és l'explicació dels fenòmens que observem. Ara bé, la necessitat d'explicar sorgeix d'un dubte o una pregunta; si el que es planteja és obvi, no cal cap explicació. Sembla clar que els diferents modes comunicatius poden pressuposar l'evidència de diferents aspectes, i d'aquí la importància d'usar-los conjuntament. En *parlar* de la circulació superficial de l'aigua en la natura es pot donar per fet que, evidentment, aquesta és deguda a la naturalesa mateixa. Un *diagrama del cicle de l'aigua* proposa l'evidència que la circulació de l'aigua és un cercle (aspecte que amb la parla no s'ha comentat). El *gest*, pot fer evident quin és el sentit de la força de la gravetat (aspecte que no s'ha comunicat ni amb la parla ni amb el diagrama).

L'ús dels diferents modes comunicatius és apropiat per determinar allò que és o no evident; per tant, pot facilitar la comunicació entre l'alumnat i el professorat i pot permetre diferenciar allò que és obvi i no cal explicar d'allò que no ho és i per tant planteja una pregunta i la necessitat de buscar-hi una resposta.

Així mateix, Kress *et al.* (1998) proposen pensar en l'acte comunicatiu com en una orquestra; així, en l'acte comunicatiu participen diferents modes comunicatius, de la mateixa manera que en un orquestra participen diferents instruments. La funció dels modes comunicatius, a l'igual que la dels instruments, varia al llarg de l'acte comunicatiu. Kress *et al.* (1998) anomenen *focal* el mode que centra l'activitat comunicativa i aporta el contingut temàtic en un episodi comunicatiu concret; seguint amb la metàfora de l'orquestra, l'instrument que porta la melodia. En definir un mode comunicatiu com a focal, els altres modes que es donen en aquell moment actuen en funció d'aquell i són anomenats *ancillarys* (terme que prové del llatí i que hem traduït per subsidiaris). En un moment determinat la parla pot ser el mode comunicatiu focal, però en un altre moment ho pot ser el llenguatge visual, en forma de mapa o de diagrama de manera que la parla, en aquest segon cas, passa a ser un mode subsidiari, en tenir la funció d'assenyalar i comentar la informació aportada pel diagrama. Des d'aquesta perspectiva multimodal, serà important conèixer quina funció fa cada mode comunicatiu en cada moment i intentar saber-ne el perquè.

Finalment, voldria comentar que totes aquestes complexes interaccions han de ser analitzades, sempre, en el context històric i social en què es

produeixen, ja que la comunicació sempre és un procés social. “No nos comunicamos por medio de la transmisión de signos o señales, sino gracias a la creación y manipulación de situaciones sociales. La comunicación es siempre una creación de la comunidad”. (Lemke, 1997:12)

3 L'AIGUA A LA NATURA: UN BÉ LIMITAT

Per què es mor de set un càntir tot i que està envoltat d'aigua?

A la Terra hi ha molta aigua, però la major part no es pot aprofitar directament. Els mars i els oceans cobreixen la major part de la superfície terrestre, però l'aigua del mar no serveix per al consum humà, ni per a l'agricultura ni per a la indústria.

De cada 100 litres d'aigua que hi ha a la Terra, només 3 litres són d'aigua dolça. A més, les tres quartes parts d'aquesta aigua dolça es troben gelades als pols i a les glaceres. Una altra gran part és subterrània (aproximadament el 22%), de manera que l'aigua que es pot utilitzar fàcilment és escassa.



La quantitat total d'aigua de la Terra no varia. Però l'aigua sempre està en moviment.

- 1 La calor del sol fa que l'aigua s'evapori dels mars, els riuers, els llacs, els arbres i es condensa en petites gotes d'aigua i en cristalls de gel que formen les neules.
- 2 El vent empeny les neules i els neulons, les portant cap a què dimes les porten ser en forma de pluja, de neu o de neu.
- 3 Una part de l'aigua de la pluja torna a terra sobre el sòl i s'absorbeix, que s'absorbeix com a humitat, una part es filtra i es diposita subterrània.
- 4 Els rius i els llacs recullen una part d'aquesta aigua.

Intenta imaginar el recorregut d'una gota d'aigua; el seu camí no té començament ni final. Aquest recorregut tanca l'anomenat **cicle de l'aigua**.

Tot i que l'aigua està sempre en moviment a la natura, la seva distribució a la Terra és molt desigual. Per això hi ha focs molt secs, com ara els deserts, i altres de molt humits, com ara els boscos tropicals.

Cal que l'ésser humà faci servir la seva intel·ligència i els mitjans de què disposa per resoldre el repartiment desigual de l'aigua. És necessari la solidaritat entre els pobles per evitar que es produeixin restriccions.

Algunes mesures d'estalvi d'aigua són:

- No deixar l'aigueta oberta mentre es renten les dents. Omple un got d'aigua per banyar.
- Evitar les piles d'aigua al bany o al pati, ni a mig d'aigua.
- Quan alguna cosa no s'hagi de rentar, l'aigua que surt pot servir per regar-la o la nevera si cal.
- Fer una dutxa ràpida en comptes de banyar-se, i tancar l'aigueta mentre t'escurades.
- Tancar bé les portes perquè no obregin.
- Vigilar que la nevera i el congelador no siguin plejos amb gel emprat.
- Revisar les canonades quan s'hi fugi.

La quantitat d'aigua de la Terra és fixa, tot i que està distribuïda de manera desigual. Cal que reduïm el consum d'aigua i que estalviem perquè arribi a la major quantitat de persones possible.

Parlem i canviem!

- 5 Quin és el paper del Sol en el cicle de l'aigua?
- 6 Proposa tres mesures més per estalviar aigua.

Figura 2.1. Relació il·lustradora entre el mode visual i el text escrit.

16. Cicle de l'aigua

L'aigua de la Terra es troba en estat líquid als mars i a les aigües subterrànies; en estat sòlid al glaç dels pols i a les glaceres de muntanya, i en estat gasós a la humitat atmosfèrica.

L'aigua que s'evapora de la superfície del nostre planeta cada any ocuparia 517.000 km³, un volum pràcticament equivalent a una piscina de la mida de l'Estat espanyol i d'una fondària d'un quilòmetre.

Aquesta immensa quantitat d'aigua torna de nou a la superfície terrestre en forma de precipitació.

Activitat 1



1. Què indueix l'aigua de la superfície terrestre a evaporar-se?
2. Només s'evapora l'aigua del mar? Quin volum d'aigua evaporada procedeix del mar?

Activitat 2



1. Explica els diversos orígens té el vapor d'aigua que arriba a l'atmosfera.
2. Explica com torna l'aigua que forma part de la humitat atmosfèrica a la superfície del planeta.
3. Què explica el cicle de l'aigua?

Figura 2.2. Relació “especialitzada” entre el mode visual i el text escrit..

■ 2.1.1. La natura del discurs científic

Aquest canvi cap en el món de la comunicació cap a una visió també es fa evident en el món de la ciència. La natura dels fenòmens que tracta la ciència fa que el llenguatge quotidià sigui insuficient per representar-los, i la comunitat científica es comunica usant un llenguatge altament especialitzat -el llenguatge de la ciència-, que inclou, a més de les paraules, gràfics, mapes, diagrames, símbols matemàtics i equacions. El llenguatge de la ciència és, per tant, un sistema multisemiòtic (Lemke, 1998a).

2.1.1.1 El llenguatge de la ciència és un sistema multisemiòtic

Lemke (1998a) afirma que la ciència no es fa ni es comunica exclusivament a través del llenguatge verbal. Els “conceptes” de la ciència no són només verbals, malgrat tenir components verbals. Proposa el terme *híbrids semiòtics* per expressar que els conceptes científics són simultàniament verbals, visuals, matemàtics i accionals. Demostra aquesta interrelació de llenguatges a partir d'un estudi estadístic sobre l'ús d'expressions textuais no verbals en articles científics apareguts en diaris com el *Bulletin of the New York Academy of Medicine* i la *Physics Review Letters*. L'estudi revela que hi ha almenys una imatge o una expressió matemàtica per cada pàgina de text. Lemke proposa un referent teòric que té un paral·lelisme amb la gramàtica sistemicofuncional de Halliday (1985), segons el qual cada un d'aquests modes pot ser vist com un canal de comunicació que porta informació de natura equivalent, complementària, repetida o a vegades contradictòria. El significat es construeix amb la interacció dels diferents modes semiòtics.

2.1.1.2 El llenguatge de la ciència és dinàmic

En fer-se nous descobriments, els significats establerts han de canviar i emergeixen nous significats. El que fa que la ciència sigui un discurs dominant en la societat occidental és la seva capacitat de reformular-se en nous propòsits i contextos. Aquesta reconfiguració i reordenació del coneixement ha estat descrita com una “recontextualització” per Bernstein (1977, 1990, 1996). El terme va sorgir de la necessitat de descriure la reformulació dels significats que es donen en el context educatiu quan un camp del coneixement és recontextualitzat, per tal d'adaptar-se als objectius, al temps i a l'espai del sistema educatiu.

Martin i Veel (1998) citen tres influències que expliquen el perquè d'aquesta recontextualització, és a dir, d'aquesta expansió i aquest canvi del discurs científic.

- La primera és l'emergència de "*nous camps d'activitat científica*" o l'especialització d'un camp ja existent, com pot ser, en el segle XX, el cas de la genètica, que fa que canviï el coneixement establert i que es construeixin noves idees i nous conceptes.
- La segona és l'emergència de "*nous tipus de relacions socials*" que requereixen que el llenguatge de la ciència es faci comprensible a audiències de no experts. L'exemple més clàssic d'aquest tipus de recontextualització és l'escolar. Perquè el coneixement científic es pugui donar en el sistema escolar cal que s'organitzi en funció dels rols d'ensenyant i d'aprenent, s'ha de poder repartir en unitats de temps (llició, unitat didàctica, curs escolar, primària, secundària), s'ha de poder fer amb els recursos de què disposa l'escola (aula, llibre de text, laboratori, biblioteca) i també ha de permetre l'avaluació. Així, la ciència recontextualitzada en el camp escolar és molt diferent a la ciència en el camp de la producció, com pot ser la d'un laboratori de recerca.
- I, finalment, hi ha la influència dels "*nous modes de representació i de (re) producció del coneixement*." Avui en dia un text científic pot estar format per combinacions variades de text escrit, diagrames, imatges, taules, gràfics, símbols matemàtics, so i imatges de vídeo. Les noves tecnologies permeten representar i comunicar el coneixement d'altres maneres, permeten una transformació de la manera en què els científics es comuniquen entre si i dels codis semiòtics que usen (Kress i Van Leeuwen, 1996; Lemke, 1998a).

2.1.1.3 El llenguatge científic: una determinada visió del que és la ciència

Sutton (1996) opina que determinades característiques del llenguatge científic influencien negativament en la visió del que és la ciència. Critica la concepció que atribueix al llenguatge científic una funció fonamentalment descriptiva, neutra i independent deslligada dels éssers humans que la utilitzen. Sutton defensa el llenguatge científic com un instrument per posar a prova idees, imaginar-se models i interpretar situacions. En els seus treballs analitza la progressió que va des de l'estil personal, persuasiu, dels escrits dels científics, en les primeres afirmacions provisionals de les seves recerques, fins a la forma neutra de

presentació del coneixement públic, una vegada consolidat en els llibres de text. El primer tipus de llenguatge l'anomena *llenguatge com a sistema interpretatiu* i el segon, *llenguatge com a sistema d'etiquetatge*.

Massa sovint, els professors i els estudiants només usen el llenguatge de la ciència com a sistema d'etiquetatge, i això porta a la percepció que la ciència és únicament coneixement establert; per tant, estàtic. En contraposició, Sutton mostra com en l'inici de les teories el llenguatge científic sempre és personal i persuasiu i fa ús de moltes metàfores provinents d'altres camps. Proposa que aquest estadi del llenguatge científic no sigui amagat als estudiants perquè així puguin veure com són construïts els significats, cosa que permetrà mostrar una visió de la ciència més dinàmica: la ciència obre la possibilitat d'entendre el món d'altres maneres i aquesta nova visió dels fenòmens requereix noves formes d'expressió.

2.1.1.4 Algunes característiques del llenguatge científic

El llenguatge de la ciència, com que parla del món d'una manera diferent a com ho fa el llenguatge quotidià, té unes característiques lingüístiques pròpies, una gramàtica en la qual la funció dels verbs i els noms és diferent a la del llenguatge quotidià (Halliday, 1993). Aquestes peculiaritats gramaticals també contribueixen a donar una determinada visió de la ciència, com un coneixement objectiu i fix. Algunes d'aquestes característiques són:

- **L'ús de les formes verbals passives** . El llenguatge científic té preferència per l'ús de la veu passiva, en contraposició amb l'ús de les formes personals, i és fàcil trobar-ne molts exemples: “la Terra va ser elevada” en lloc de “la pressió va elevar la Terra”, “les mesures van ser preses” en lloc de “vaig mesurar”, “l'experimentació va ser realitzada” en lloc de “els meus col·legues i jo vam realitzar els experiments”. Aquest ús de la veu passiva és particularment adequat en les descripcions dels experiments, ja que centren l'atenció en el que es fa, no en qui ho fa. Martin (1993) ho exemplifica de la següent manera: “The stem of a leafy shoot was cut...is more suitable than I cut the stem of a leafy shoot... because “the stem” rather than I conveys the meaning and the focus of concern more directly and therefore more effectively”. (Martin, 1993: 194). Per contra, aquest poc ús de les formes personals té un altre efecte: la desaparició de les persones com a agents o actors de l'activitat científica.

- **Les nominalitzacions.** Consisteixen a crear nous noms abstractes i frases nominalitzades, del tipus “el raig pateix una refracció lineal” en lloc de “la llum s’inclina segons una altra direcció”. Apareix “refracció”, un nom, en lloc de “s’inclina”, un verb. Halliday i Martin (1993) consideren que aquest procés de nominalització és crucial per a la ciència perquè separa l’investigador de la natura. Aquesta nominalització del llenguatge s’ha intensificat en tots els discursos acadèmics, i això fa que els ciutadans hagin d’aprendre a llegir i a entendre aquest tipus d’expressions. Les nominalitzacions, on els noms i les frases nominalitzades provenen de verbs i adjectius, construeixen els fenòmens del món com si fossin coses. El significat de verbs com *moure*, *explicar*, *absorbir* i adjectius com *estable*, *fluorescent*, és més abstracte mitjançant els noms “*moviment*”, “*explicació*”, “*absorció*”, “*estabilitat*” i “*fluorescència*”.

Aquest procés dóna com a resultat un grau d’abstracció elevadíssim que es pot considerar metafòric.

Halliday (1993) es pregunta per què els científics, a partir d’Isaac Newton, han usat d’una manera tan generalitzada aquest mode d’expressió, i la seva resposta és que la raó és la naturalesa del discurs científic. Ho argumenta de la manera següent: Newton i els seus successors van crear una varietat nova de l’anglès per comunicar una forma nova de coneixement, una forma de coneixement que es basava en els experiments: a partir dels resultats d’aquests i amb l’ajuda de les matemàtiques, s’arribava a uns principis generals, i aquests principis eren comprovats amb més experiments. Per comunicar amb claredat tot aquest procés calia que el discurs avancés pas a pas, amb un moviment constant de “això és el que hem establert fins ara” i “el que seguirà és” i cadascuna d’aquestes dues parts “el que es dóna per sabut” i la nova informació, ha de ser presentades de manera que facilitin la construcció de l’argument. Halliday considera que la millor manera de fer-ho en la gramàtica anglesa, que és la que ell estudia, és construir una frase amb dos noms, un al començament i un al final, i un verb al mig que digui com el segon nom es relaciona amb al primer.

Halliday (1998) considera que el llenguatge de les ciències té un paper molt important en la manera de mirar el món, en el “com” es construeixen les relacions entre els humans i el seu entorn. Els textos científics procuren que els lligams lògics que s’estableixen entre els fenòmens físics semblin tan “naturals” i immutables com sigui possible, i totes les estructures gramaticals que s’usen ho promocionen.

Veel (1998), preocupat per una visió del món ambientalitzadora, en la qual el paper dels humans és fonamental, constata que la manera en què els llibres de text presenten la informació afavoreix la construcció de la idea que no hi ha relació entre l'activitat humana i l'entorn, encara que això està començant a canviar.

2.1.1.5 Metàfores i llenguatge científic

La metàfora, que Aristòtil va definir a la *Poètica* com “[...] la translació a una cosa d'un nom que en designa una altra”, s'ha considerat des dels inicis mateixos dels estudis sobre retòrica un dels recursos més eficaços tant en la poesia com en els discursos. Tradicionalment, s'ha estudiat en aquests contextos i considerant-la com un ornament afegit. Lakoff i Johnson (1980), en una obra que ha esdevingut clàssica, van refutar aquesta creença tradicional. Per a aquests autors, en la “vida quotidiana” s'usa un gran nombre de metàfores que, més enllà de la funció estètica, tenen una funció cognitiva, ja que són un mecanisme que ens permet concebre i expressar situacions complexes fent ús de conceptes bàsics i propers.

Seguint aquests autors, podem establir dos pols relacionats amb la capacitat d'aprendre. En un extrem tindriem les tendències que defensen la possibilitat de conèixer les propietats inherents dels objectes, propietats que després s'expressen a través dels mots; de manera que quan parlem expressem la realitat tal com és. Aquest és el pol objectivista, en el qual podríem trobar gran part de les teories filosòfiques que han dominat la cultura occidental, entre altres el racionalisme i l'empirisme, que poden divergir pel que fa al mètode, però que coincideixen en l'objectiu. A l'altre pol trobaríem la tendència més subjektivista, relacionada amb el romanticisme, segons la qual la realitat tangible mai no pot establir límits a la imaginació. Segons la primera tendència és possible accedir a la veritat absoluta; segons la segona, la veritat sempre és relativa. Entre aquests dos extrems, la proposta experimentalista que defensen Lakoff i Johnson (1980) parteix de la idea que allò que podem arribar a saber sobre el món és fruit de la interacció. Per tant, no hi ha una veritat absoluta, sinó unes construccions mentals que projectem sobre el món, fruit de la nostra capacitat d'interactuar. Aquestes construccions mentals s'enlairen per sobre dels prejudicis particulars, ja que es fonamenten en un sistema conceptual propi d'una cultura concreta. I la base d'aquest sistema conceptual és bàsicament de naturalesa metafòrica.

Cal destacar que en tot procés metafòric es posen en relleu uns aspectes i se n'amaguen d'altres. Les metàfores són, doncs, una qüestió del pensament, no només del llenguatge. L'existència d'estructures metafòriques suposa que la capacitat de conèixer de cada individu s'inscriu en una mentalitat compartida pels membres d'una mateixa cultura i en un sistema de valors específics.

Les metàfores estan en el cor de la ciència: tots acceptem que la circulació de les càrregues elèctriques és un "corrent", que la llum és una "ona" i moltes coses més. De manera que, en aprendre ciències, s'adquireixen al mateix temps els models per comprendre el món i les metàfores convencionals mitjançant les quals aquells expressaran aquest coneixement.

Kuhn (1979) considera que les teories científiques i filosòfiques són, bàsicament, metàfores.

La metàfora, per tant, constitueix molt més que un recurs retòric d'ornamentació dels discursos, és un procediment central en la cognició humana. Moltes d'aquestes metàfores s'han fet tan habituals que no les percebem com a tals, i més que pensar en el cor com en una bomba, diem que el cor és una bomba, la llum és una ona, el cos humà és una màquina (Sutton, 1995). Les comparacions passen a ser metàfores i el llenguatge de les ciències esdevé un sistema d'etiquetatge i nominalització on els noms i les frases substantivades provenen de verbs i adjectius. Aquest últim aspecte està relacionat amb un tipus de metàfora especial, la metàfora gramatical.

La *metàfora gramatical*, terme proposat per Halliday (1993), és com una metàfora en el sentit usual, però en la qual, enlloc de substituir una paraula per una altra, se substitueix una classe o estructura gramatical, per una altra. Per exemple, l'aigua s'evapora per l'evaporació de l'aigua, és a dir una nominalització, aquí les paraules són les mateixes, el que ha canviat és el seu lloc gramatical; evaporar, un procés expressat a través d'un verb, s'ha substituït per evaporació, un nom. A vegades les frases substantivades poden ser estructuralment força complexes i desdibuixar el contingut científic. Per exemple, la frase "la mitjana del creixement de les esquerdes en el vidre" és la nominalització de "com de ràpid creixen les esquerdes en el vidre" (Halliday, 1998). Aquestes metàfores gramaticals doten el llenguatge d'un significat d'objectivitat i generalització no sempre justificat.

Les expressions metafòriques no són altres maneres de dir les mateixes coses, sinó que presenten una manera diferent de veure el món. "We have to reconstruct our mental image of the world so that it becomes a

world made out of things, rather than the world of happenings -events with things taking part in them- that we were accustomed to" (Halliday 1993: 82).

Aquesta visió del món en què els processos esdevenen noms i que transforma un món d'esdeveniments en un món fet de coses, pot ser difícil d'assumir per a alguns alumnes i, a més, els científics mateixos consideren que la metàfora gramatical, malgrat que ha resultat útil durant molt temps, ha anat massa lluny en aquesta direcció i si es vol avançar en noves idees en ciència cal tornar a expressions menys nominalitzades.

Les metàfores tenen també un paper essencial en el discurs didàctic. Sovint, quan es vol simplificar un text altament tècnic o de dificultat conceptual elevada per fer-lo més entenedor, se sol fer afegint-hi metàfores. En el cas de la ciència, que mira i interpreta el món d'una determinada manera, creant noves entitats s'estan creant noves metàfores.

2.1.1.6 Implicacions a l'aula

Sembla clar que la comunitat científica es comunica usant un llenguatge altament especialitzat -el llenguatge de la ciència- que incorpora moltes coses més que no pas paraules. Per tant, els professors de ciències han de ser conscients de com aquests signes i senyals poden ser usats per ajudar els alumnes a desenvolupar el coneixement científic a les classes.

Més que pensar que la ciència és la interpretació correcta i el sentit comú la incorrecta, és interessant considerar que són diferents visions d'una mateixa realitat, basada en criteris d'organització o de modelització diferents. Els científics veuen el món de manera diferent a l'altra gent i són de vegades molt crítics amb les interpretacions quotidianes. La funció de la ciència és construir una interpretació del món diferent a la que dona el sentit comú, però no necessàriament contradictòria. Això té implicacions importants per a l'ensenyament de les ciències. Significa que el coneixement quotidià pot ser un punt de partida molt útil per a l'ensenyament de les ciències, ja que organitza el món d'una manera comprensible però que ha de ser superada gràcies al coneixement científic. De la mateixa manera, és clar que el coneixement quotidià difereix del científic i que l'escola té una responsabilitat crucial a l'hora de fer veure als alumnes el món d'una altra manera. Els professors han de vigilar el perill de deixar els alumnes encallats en les seves pròpies paraules. El paper de guia, d'acostar el sentit comú i la ciència, és

expressat molt bé per Britton *et al.* (1979): “Surely it is the links between “commonsense” and “theoretical” concepts, the links between “ordinary language” and “theoretical languages” that make learning possible whether in school or out- and it is the ability to move back and forth that continuum that characterizes thinking at any mature stage” (Britton *et al.*, 1979:27).

Més que veure les paraules, els gestos, els dibuixos o, en general, qualsevol signe, amb un significat fix, ens és útil pensar que el llenguatge i qualsevol altre mode comunicatiu té un *significat potencial* (Halliday 1978) que permet la interpretació individual del significat dependent del context. Aquest punt és important per entendre com els alumnes poden desenvolupar els seus propis significats científics. El llenguatge que s’usa (sigui un diagrama, una taula) ha de ser seleccionat de manera acurada i sistemàtica perquè els alumnes aprenguin a llegir el significat *desitjat* i així ells mateixos puguin usar el llenguatge científic de manera apropiada i comprensible.

Per construir els coneixements de ciències els alumnes necessiten apropiat-se de les maneres de parlar del discurs científic (Lemke, 1997; Lomas, 2001). Els estudiants construeixen les seves idees científiques a partir de la reconstrucció en la seva ment, de manera integrada, dels diferents ítems de coneixement que els proporcionem. Lemke (1998a, 1998b) defensa que aquest procés de reconstrucció personal es produeix de manera natural i amb una certa facilitat. Però també emfasitza que la manera en què els alumnes individualment interpretaran aquest coneixement depèn dels seus coneixements i experiències prèvies, és a dir, del text que ja tenen a les seves ments. Per tant, el significat sorgeix de la intertextualitat (Lemke 1992), de la combinació del text exterior amb el que ja tenen a la seva ment. Això vol dir que cada estudiant és un constructor de significat.

Si el llenguatge és un vehicle de motivació, és clar que el llenguatge científic actual possibilita poc la comunicació. Per poder-ho fer caldria que les persones tinguessin a la seva disposició diferents modes comunicatius i fossin capaces de canviar de l’un a l’altre quan la situació ho requerís. Traduir el que escriuen els científics a un llenguatge entenedor per a l’alumnat és una de les tasques que es demana al professorat. El professorat moltes vegades desconeix aquests mecanismes, i aquí rau la importància d’avançar en aquest camp.

Conclusió

A les classes de ciències necessitem els diferents modes de comunicació per transmetre els significats: representacions gràfiques, equacions matemàtiques, taules, fotografies, accions o gestos, a més del llenguatge quotidià (Lemke 1990, 1998*b*; Halliday 1993). Tot i això, malgrat aquesta varietat de recursos, les descripcions científiques que fem del món natural continuaran sent versions simplificades d'aquest món, independentment de la complexitat de la representació en signes que en fem.

Per fer ciència, per parlar sobre ciència, per llegir i escriure ciència, és necessari combinar el discurs verbal, les expressions matemàtiques, les representacions visuals i gràfiques i les accions o experiències. D'aquesta multimodalitat comunicativa sorgiran els nous significats.

■ 2.1.2 Semiòtica social

La construcció de significats a l'aula es produeix mitjançant les paraules que es diuen, els diagrames que es dibuixen, les fórmules que s'escriuen, els experiments que es realitzen. És el resultat d'un procés dinàmic en el qual totes les accions són socialment compartides i en el qual hi ha una construcció conjunta entre el professorat i l'alumnat. Des d'aquest punt de vista, té sentit referir-se a la semiòtica social.

El concepte de semiòtica deriva del concepte de *signe*, que vol dir «significar» en la filosofia estoica de la Grècia clàssica i que reapareix al segle XX amb Ferdinand de Saussure en la seva obra pòstuma *Cours de Linguistique Générale* de 1916, obra que inicia l'estructuralisme en la lingüística, en què es dona un lloc central al concepte de signe. La semiòtica, doncs, es refereix a l'estudi de com es construeix el significat a través dels sistemes de recursos culturals com són el sistema lingüístic amb les paraules, el sistema de comunicació per les imatges o pels gestos (Lemke 1998*b*). La semiòtica considera que cada objecte o acció és un signe, que té un significat que va més enllà de les seves propietats com a objecte material o procés (Peirce, 1955).

La semiòtica social, una de les derivacions de l'estructuralisme iniciat per Saussure, observa aquestes pràctiques de construcció de significats com a processos socials. La semiòtica social (Halliday, 1978) es diferencia d'altres aproximacions més tradicionals de la semiòtica, que es podrien incloure sota el nom de semiòtica formal. Mentre que la semiòtica formal s'interessa principalment per l'estudi sistemàtic dels

sistemes de significat per si mateixos, la semiòtica social, que inclouria la formal, s'interessa per com les persones elaboren i utilitzen els signes per construir la comunicació dins d'una comunitat (Lemke, 1997).

L'etiqueta de "semiòtica social" s'explica segons Halliday en els termes següents: «[...] which is meant to suggest two things simultaneously. One is "social" used in the sense of the social system, which I take to be synonymous with the culture. So when I say "social-semiotic", in the first instance, I am simply referring to the definition of a social system, or a culture, as a system of meanings. But I also intend a more specific interpretation of the word "social", to indicate that we are concerned particularly with the relationships between language and social structure, considering the social structure as one aspect of the social system» (Halliday i Hasan 1985:4).

El supòsit bàsic de la semiòtica social és que els significats són elaborats; això comporta un canvi del terme *significat* respecte al que té la semàntica. És erroni dir que una paraula, un diagrama o un gest tenen significat; el significat ha de ser *elaborat* o *construït* per algú, d'acord amb una sèrie de convencions, per crear sentit. Els signes no tenen "significat per decret".

Ara bé, aquestes accions de construcció de significat han de tenir sentit en la comunitat en què es produeixen. La semiòtica social considera que una acció es fa significativa quan s'insereix en un context. "Fer significat" és el procés de vincular les coses amb els contextos: fem que les accions siguin significatives quan les contextualitzem (Lemke, 1997).

Podem dir que cada acció comunicativa (com el text, si ens referim a la llengua) es produeix en un context determinat sense el qual el significat no es pot explicar. I, dins de l'ampli àmbit contextual, cal diferenciar el context de situació del context de cultura. El primer és l'entorn o situació concreta on es produeix l'acte comunicatiu, mentre que el segon és el coneixement emmagatzemat en la ment dels interlocutors.

El context de situació, l'identifiquem amb la noció de *registre* proposada per Halliday (1978). El registre és el context de situació en què es produeix la comunicació. És una situació o un escenari que està format o condicionat per tres components, que són el camp, el mode i el tenor.

- El camp és el tema de què es tracta (en el nostre cas és una temàtica científica, la circulació de l'aigua en la natura), el qual comporta l'ús d'un determinat lèxic molt especialitzat i d'uns recursos lingüístics com poden ser les nominalitzacions i les frases en passiva.

- El mode o canal és la manera en què el text s'organitza en un tot coherent, el mitjà a través del qual s'emet, es transmet i es rep el missatge. La característica principal en aquest apartat és la que separa l'oral de l'escrit, tot i que hi ha moltes altres possibilitats. En la nostra recerca, els modes són variats, ja que la comunicació a l'aula s'estableix a través de diferents modes: oral, gestual, gràfic i escrit.
- El tenor són les relacions interpersonals que s'estableixen en un acte comunicatiu. Es tenen en compte els rols que estan implicats en les relacions jeràrquiques de poder o de control entre els participants (Luna, 1993). Cadascun dels participants té un rol determinat condicionat pel seu estatus i el seu grau de coneixement o de poder. En una classe hi ha diferència de poder i de coneixement entre el professor i els alumnes. Les relacions no són d'igualtat i el professor utilitza aquesta diferència per controlar i estructurar la interacció (Kress, 1985).

La semiòtica descriu l'acció social en termes de sistemes de recursos semiòtics, que són els sistemes organitzats de formes possibles de crear significat. El llenguatge verbal és un d'aquests modes semiòtics en la mesura que és un sistema de formes possibles de crear significat. Però a part del llenguatge hi ha molts altres sistemes de recursos semiòtics: el sistema visual (Kress i Van Leeuwen, 1996), els gestos i els moviments, l'arquitectura (Preziosi, 1983), el vestit i el pentinat (Barthes, 1983), l'art culinari (Douglas, 1984), etc.

En aquesta recerca usarem el terme *modes semiòtics* o *modes comunicatius* com a equivalent a *sistemes de recursos semiòtics*.

Lemke (1998a) creu que el significat, sigui quin sigui el mode semiòtic que s'utilitzi i tant si s'usa sol com si s'usa en combinació amb d'altres, s'ha organitzat al voltant de tres funcions semiòtiques generalitzables. El terme *funció* s'utilitza per fer referència a les finalitats que ha de complir el llenguatge i els altres modes semiòtics per tal de comunicar significat.

És a dir, un mode comunicatiu o semiòtic ens ha de permetre: elaborar una "presentació" o exposició d'alguna temàtica (*funció presentacional*), orientada a algú (*funció orientacional*) i en fer-ho es crea una estructura organitzada d'elements relacionats (*funció organitzacional*).

En el mode lingüístic aquestes funcions corresponen a les metafuncions lingüístiques proposades per Halliday (1978). Halliday proposa el terme

metafuncions (vegeu Halliday, 1978, capítol 2) per anomenar els components funcionals que té la llengua per tal de comunicar significat.

Halliday, en la seva proposta de gramàtica sistemicofuncional, fa una aplicació d'alguns d'aquests principis teòrics a l'estudi de la gramàtica anglesa.

Conclusió

La semiòtica social s'interessa per com les persones elaboren signes (incloen gestos, imatges, etc.) i els utilitzen per comunicar-se en un context determinat.

■ 2.1.3 La gramàtica sistemicofuncional. M. A. K. Halliday

Segons la gramàtica sistemicofuncional (GSF), el llenguatge és un sistema de significats acompanyat de les formes que permeten que es produeixin aquests significats. És funcional en el sentit que no pretén ser una descripció formal del llenguatge, sinó que té com a objectiu explicar com s'usa el llenguatge per tal de crear significat: "It is functional in the sense that is designed to account for how the language is used" (Halliday, 1985: xiii).

La seva aspiració és poder analitzar discursos, tant orals com escrits, en una varietat de contextos: etnogràfics, literaris, educacionals, pedagògics. En el context de l'educació, la GSF és apropiada per observar la comunicació a l'aula i analitzar el llenguatge dels llibres de text (Halliday, 1985, xv), els dos objectes d'anàlisi d'aquesta tesi.

La GSF és funcional en la mesura que cada element del llenguatge, sigui una frase o una paraula, és explicat en relació amb la seva funció en el sistema lingüístic total. La GSF segueix els conceptes que Saussure havia instal·lat en la lingüística estructural amb els termes de sintagmàtica i paradigmàtica. Ara però es reformulen posant èmfasi en el concepte de sistema, hereu del de paradigma. En paraules de Butler: "Elements in syntagmatic association formed *structures* at the level concerned, while events in communicative relation at a particular place in a structure were said to constitute a *system*, in a restricted technical sense of the term" (Butler, 1985:6), així la GSF és sistèmica, ja que considera el significat com una tria. Això vol dir que el llenguatge o qualsevol altre sistema semiòtic és interpretat com una xarxa d'opcions interconnectades: "Applied to the description of a language, it means starting with the most general features and proceeding step by step so as

to become ever more specific: a message is either about doing, or about thinking, or about being; if it is about doing, this is either a plain action or action on something, if acting on something it is either creating or dealing with something created”, and so on” (Halliday, 1985: xiv).

Halliday considera que, en la llengua dels adults, totes les funcions socials possibles del llenguatge es tradueixen en tres metafuncions o components del funcionament lingüístic:

- *Metafunció ideacional* per la qual es transmet la nostra experiència del món per mitjà de conceptes i mots que s’hi refereixen. Dóna lloc a l’estudi de la *clàusula com a representació*. El terme *clàusula* es pot considerar equivalent a *oració simple*
- *Metafunció interpersonal*, fruit de la interacció i de les relacions socials entre els parlants. En resulta l’estudi de la *clàusula com a intercanvi*.
- *Metafunció textual* que permet de construir textos cohesionats i origina l’estudi de la *clàusula com a missatge*.

Posant les tres metafuncions juntes, en un acte de discurs es diu alguna cosa (ideacional) en una relació entre persones (interpersonal) i es construeix de manera que tingui continuïtat i coherència (textual).

Aquestes metafuncions constitueixen els tres components de la gramàtica. Cada component estructura la clàusula per mitjà d’unitats diferents. A continuació s’exemplifiquen aquests tres components (Castellà, 1992):

- *Component ideacional* Com a representació de l’experiència, distingeix entre el procés, els participants i les circumstàncies. Hi ha processos materials o de fer, mentals, relacionals, verbals, etc. Els participants poden ser: Actor, Objecte; Sensor, Fenomen; Portador, Atribut; Identificat, Identificador; etc. I les circumstàncies: de manera, causa, acompanyament, etc.
- *Component interpersonal*. S’hi manegen unitats com: subjecte, mode, predicat, complements, etc.
- *Component textual* En aquest component cal distingir el tema de la rema. El tema ens indica “de què es parla” i la rema, “què es diu sobre això”.

Com que les metafuncions actuen conjuntament, és possible analitzar qualsevol enunciat des dels tres punts de vista al mateix temps. Es mostra un exemple d'això en el quadre de la figura 2.3:

	El duc	va regalar	una tetera	a la meva tieta
Ideacional	Actor	Procés	Objecte	Beneficiari
Interpersonal	Subjecte	Predicat	Complement	Adjunt
Textual	Tema	Rema		

Figura 2.3. Anàlisi d'una clàusula en funció els seus tres components (segons la gramàtica sistemicofuncional de M. A. K. Halliday, 1985).

2.1.3.1 Alguns aspectes específics de la gramàtica sistemicofuncional que són importants en la recerca

a) Els processos

La gramàtica construeix les experiències a través de l'anomenat *Procés* en forma d'una unitat gramatical: la clàusula.

La nostra anàlisi se centrarà en la *clàusula com a representació* és a dir en la funció ideacional. La funció bàsica, com ja s'ha dit, és l'anomenada *Procés*, i deriva d'una consideració general sobre la funció del llenguatge com a representació: "a fundamental property of language is that it enables humans beings to build a mental picture of reality, to make sense of their experience of what goes on around them and inside them" (Halliday, 1985:101).

Halliday considera que la clàusula és la unitat principal on apareix aquesta funció. Des d'aquesta perspectiva, es considera que la clàusula s'organitza en el sistema general de la transitivitat i que especifica els diferents tipus de processos que podem reconèixer en el llenguatge i l'estructura a través de la qual s'expressen aquests.

Un aspecte essencial de la GSF en aquesta recerca és l'anàlisi dels *processos*. El marc teòric semàntic per a l'anàlisi de les representacions dels processos és molt simple. Consisteix en el procés mateix, els participants en el procés, i en les coses i circumstàncies associades amb el procés, com són la situació en el temps i en l'espai. Els conceptes de *procés*, *participants* i *circumstàncies* són categories semàntiques que expliquen de manera general com els fenòmens (tant els físics, com els

pragmàtics i els socials) del món real són representats per mitjà de les estructures lingüístiques (Halliday, 1985).

L'estructura bàsica per representar un *Procés* és molt simple:

- el procés (representat típicament mitjançant el grup verbal),
- els participants en aquest procés (grup nominal)
- i les circumstàncies que s'associen a aquest procés (grup adverbial i sintagma preposicional).

Considerant els tipus de *Procés* possibles, la proposta de Halliday (1985) és la següent:

- Processos materials o de “fer”
- Processos existencials o d’ “existir”
- Processos relacionals o de “ser”
- Processos verbals o de “dir”
- Processos comportamentals o de “comportar-se”
- Processos mentals o de “sentir”

Associades a cadascun d'aquests processos es defineixen diferents funcions, sempre particulars del procés de què es tracti.

A continuació es comenten les característiques generals de cadascun d'aquests processos. Els exemples que acompanyen les explicacions són extrets de les transcripcions d'aquesta recerca.

Processos materials o de “fer”

Hi ha dos tipus fonamentals de processos materials: aquells en què hi ha un sol participant (ACTOR) i aquells en què hi ha un segon participant (GOAL). Luna (1993) proposa traduir el terme anglès goal per objecte, i és el que utilitzarem en aquest treball. L'Actor és qui fa l'acció i Objecte implica “adreçat a”. La figura 2.4 en mostra un exemple.

Els cotxes	circulen	El riu	va	al mar
		El sol	fon	la neu
Actor	Procés	Actor	Procés	Objecte

Figura 2.4. Processos materials amb un i dos participants.

Els processos materials expressen la idea que alguna entitat “fa” alguna cosa - que ha de ser feta- “a” alguna altra entitat.

Els processos materials no són necessàriament concrets (fets físics); poden ser també activitats abstractes o esdeveniments, com es mostra en l'exemple de la figura 2.5:

El núvol	agafa	aigua
Actor	Procés	Objecte

Figura 2.5. Processos materials abstractes.

Processos existencials o de “existir”

Aquests processos representen que alguna cosa existeix o passa. En aquestes clàusules normalment hi ha el verb *haver* o algun altre verb que expressa existència, com *existir* o *semblar*, seguit per un grup nominal que funciona com a EXISTENT. L'existent pot ser un fenomen de qualsevol tipus, un esdeveniment, com en «hi ha un canvi» o una entitat, com en «hi ha un llac».

Processos relacionals o de “ser”

Els processos relacionals són els processos de ser. El significat central de les clàusules d'aquest tipus és que “alguna cosa és”.

En una clàusula hi ha dos modes fonamentals d'expressar els processos relacionals, que són:

- Mode atributiu, es dóna un atribut a una entitat. Estructuralment, s'hi defineixen dos participants: ATRIBUT i PORTADOR. Alguns dels verbs atributius són: *ser* (d'una determinada manera), *esdevenir*, *semblar*, *créixer*, *tenir* ... (figura 2.6).

L'aigua del mar	és	salada
Portador	Procés	Atribut

Figura 2.6. Clàusula atributiva.

- Mode identificatiu, on una entitat és usada per identificar-ne una altra. Estructuralment, s'hi defineixen dos participants, que són: IDENTIFICAT i IDENTIFICADOR. Alguns dels verbs identificatius són: *ser* (pertànyer a una determinada categoria), *representar*, *significar*, *indicar*, *formar*, *simbolitzar*.. (figura 2.7).

La fusió	és	un canvi
L'aigua	(pot) ser	vapor
Identificat	Procés	Identificador

Figura 2.7. Clàusules identificatives.

Processos verbals o de “dir”

Són processos de dir. En els processos verbals hi ha un participant, que és el qui diu: l'EMISSOR.

«S1.271. Lola: Jo no puc dir que l'aigua va del núvol al mar...»

Aquest emissor no ha de ser obligatòriament un participant humà, com en el cas dels processos mentals, en què pot ser qualsevol cosa o persona qui emeti un senyal.

«S1.1. Lola: Què vol dir aquest dibuix?»

El RECEPTOR és aquell a qui va adreçada la verbalització.

Processos comportamentals o de “comportar-se”

Són processos de comportament fisiològic i psicològic, com respirar, dormir, somriure, estossegar. La majoria de clàusules de processos comportamentals tenen només un participant (el que “es comporta”).

En aquesta categoria s'inclouen els processos mentals però que són representats com formes de comportament, del tipus *mira*, *observa*, *escolta*, *pensa*.

Processos mentals o de “sentir”

Hi ha clàusules que expressen sentiments, pensaments, percepcions..., allò que podríem considerar processos mentals.

En les clàusules d'aquest tipus sempre hi ha dos participants, un d'humà, que és qui sent, pensa o percep, és a dir, el SENSOR i un altre participant que anomenarem FENOMEN, que és allò que és sentit, pensat o vist.

A diferència dels processos materials, en els quals cap participant ha de ser forçosament humà, en els processos mentals és imprescindible que un dels participants sigui humà. En relació amb l'altre participant, el fenomen, pot ser una "cosa", però també pot ser un "fet". Es pot dir «A la Maria li ha agradat el regal», i el regal és una "cosa", però també podríem dir «La Maria ha estat encantada de rebre un regal», i en aquest cas allò que "ha sentit" no és una cosa, sinó un fet. Una altra diferència amb els processos materials és que aquests poden tenir un participant (Actor) o dos (Actor i Objecte), i en canvi, tots els processos mentals involucren potencialment dos participants: un Sensor i un Fenomen.

Es poden considerar tres categories de processos mentals, que es poden identificar com: (1) PERCEPCIÓ (veure, sentir, etc.), (2) AFECCIÓ (agradar, témer, etc.) i (3) COGNICIÓ (pensar, saber, entendre, etc.)

La taula de la figura 2.8 mostra un resum dels diferents tipus de processos definits per Halliday (1985):

Tipus de procés	Categoria significat	de Participants
Material o de “fer” acció esdeveniment	“fent” “fent” “passant”	ACTOR, OBJECTE
Existencial o de “existir”	“existint”	EXISTENT
Relacional o de “ser” atribució identificació	“sent” “atribuint” “identificant”	PORTADOR, ATRIBUT IDENTIFICAT, IDENTIFICADOR
Verbal o de “dir”	“dient”	EMISSOR, RECEPTOR
Comportamentals o de “comportar-se”	“comportar-se”	EL QUE ES COMPORTA
Mental o de “sentir” percepció afecció cognició	“sentint” “veient” “sentint” “pensant”	SENSOR, FENOMEN

Figura 2.8. Tipus de processos i els corresponents significats i participants (Halliday, 1985).

b) La metàfora gramatical

Un altre aspecte que s’ha de destacar de les propostes de Halliday és la metàfora gramatical. La metàfora gramatical proposada per Halliday es basa en distingir les relacions més o menys naturals dels processos amb les paraules.

L’estructura gramatical dels processos, segons s’ha comentat es podria representar com mostra la figura 2.9:

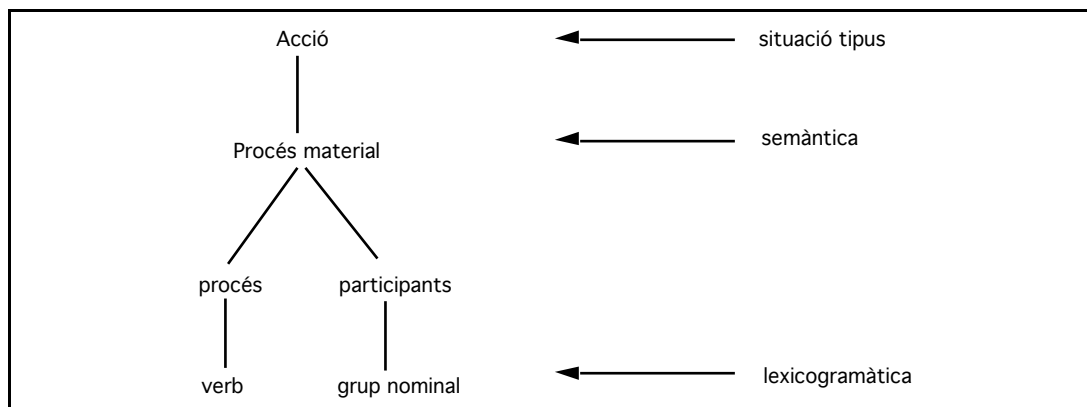


Figura 2.9. Estructura gramatical dels processos.

La figura 2.9 mostra l'estructura gramatical "natural" dels processos. Ara bé, en casos com: "L'evaporació de l'aigua és part del cicle de l'aigua", on el grup nominal "l'evaporació de l'aigua" hauria de ser un participant, en realitat és un procés que actua gramaticalment com un participant. Això és el que Halliday anomena *metàfora gramatical*. Recordem que la metàfora gramatical proposada per Halliday és com una metàfora en el sentit usual que, en lloc de substituir una paraula per una altra, substitueix una classe o estructura gramatical per una altra.

Conclusió

La gramàtica sistemicofuncional va ser dissenyada per explicar com s'usa el llenguatge per crear significat. Recentment aquest plantejament s'ha utilitzat per explicar com altres modes comunicatius, com les imatges, creen significat (Hodge i Kress, 1988; Kress i Van Leeuwen, 1996).

■ 2.1.4 Les imatges en la producció i la comunicació de significat científic

Les imatges són, per raons diverses, essencials per a la ciència. Tenen un paper molt important en la conceptualització i la comunicació de determinats conceptes o idees científiques. En la història de la ciència trobem alguns exemples de representacions fonamentals, com ara la dels camps magnètics a partir de la visualització de les línies de força o l'estructura en doble hèlix de la molècula d'ADN, descoberta per James Watson i Francis Crick gràcies a la tècnica de difracció dels raigs X. Altres entitats científiques, com ara l'àtom, les plaques tectòniques o l'evolució de les espècies, que són inaccessibles a la percepció quotidiana, necessiten correspondència amb una mateixa entitat visible. Les imatges també permeten presentar juntes entitats o fenòmens que no es donen alhora, per així plasmar l'ordre i la relació entre ells; seria el cas de la taula periòdica, dels diagrames en arbre que il·lustren les taxonomies de les espècies o de les representacions de fenòmens naturals, com ara cadenes alimentàries o diagrames del cicle hidrològic. Una altra funció de les imatges en ciències és la de visualitzar les estructures internes i les parts que componen tant els òrgans biològics com els aparells tècnics.

Les imatges no només són crucials per a la conceptualització de les idees científiques, sinó que també són considerades de gran ajuda per comunicar coneixement especialitzat a audiències de no experts. Es constata que una gran part de les dificultats que tenen els no especialistes per entendre les ciències està lligada a l'anomenat

llenguatge de les ciències Com ja s'ha comentat en l'apartat anterior, els textos científics tenen una estructura determinada, una organització gramatical concreta, amb l'ús de formes passives de verbs i de nominalitzacions de molts processos i una terminologia molt especialitzada. El conjunt de totes aquestes característiques del llenguatge de la ciència pot explicar perquè els no experts se senten desconnectats de la ciència.

Es pensa que el medi visual és més transparent que el llenguatge i per això les imatges s'usen per superar algunes de les dificultats que té la comunicació de les idees per mitjà del mode verbal. Per això els professors i les professores a classe fem dibuixos, perquè creiem i hem comprovat que algunes imatges comuniquen les idees d'una manera més entenedora. De tota manera, Kress i Van Leeuwen (1996) recorden que el llenguatge visual sempre està codificat i que si en ocasions ens pot semblar transparent és perquè en coneixem el codi, encara que només sigui passivament no sabem explicar què fem quan llegim o interpretem una imatge. Aquesta passivitat es comprova quan mirem imatges d'altres cultures: observant-les podem considerar que són "maques", "exòtiques" o "misterioses", però no les entenem com a formes de comunicació i no ho seran fins que esdevinguem membres d'aquella cultura.

A partir de la proposta de Kress i Van Leeuwen (1996) segons la qual les imatges no són un simple acompanyament del text escrit en els llibres de text, sinó que poden organitzar i construir significat i que sovint poden tenir un paper més important que el text escrit, Veel (1998) es pregunta sobre el potencial de les imatges en la construcció de les relacions entre els humans i el seu entorn. Fa un estudi de dues pàgines d'un llibre de text sobre ecologia i arriba a la conclusió que les imatges sembla que tenen un paper important en la negociació entre les formes abstractes de coneixement i els fets específics i contextualitzats, un aspecte difícil i inestable de la visió ambientalitzadora del món físic.

Les imatges han estat objecte d'estudi des d'àrees diverses com la psicologia, l'antropologia, la ciència cognitiva, la semiòtica i les ciències de la comunicació (Joly, 1994). L'anàlisi de les imatges des del punt de vista de la didàctica de les ciències es pot beneficiar d'aquest fet, el qual permetrà fer una discussió més àmplia que involucri diferents disciplines. Concretament, el potencial de les imatges com a ajuda per a l'aprenentatge ha estat establert i corroborat per nombroses recerques. Per exemple, resultats des del camp de la ciència cognitiva revelen que es recorden millor les imatges que les seves correspondències verbals (Levie, 1987, *apud* Levin i Mayer, 1993). També s'ha comprovat que afegir

il·lustracions en un text ha fet millorar l'aprenentatge dels alumnes (Levie & Lentz, 1982, *apud* Levin i Mayer, 1993).

Un altre ús de les imatges és com a mitjà d'expressió de les idees dels alumnes. Promoure que els alumnes comuniquin les seves visions i idees per mitjà de dibuixos es basa en la idea que el mode visual imposa menys restriccions a l'expressió de les idees (Barlex i Carré, 1985). La idea que les imatges poden comunicar les idees de manera més clara que el llenguatge verbal és una idea persuasiva entre els investigadors en didàctica de les ciències, que han utilitzat els dibuixos i les explicacions dels dibuixos realitzades per alumnes com a dades per investigar la manera de pensar d'aquests (Driver *et al.*, 1994).

Conclusió

La gran quantitat d'informació de què es disposa, juntament amb l'ús de les noves tecnologies de la informació, ha portat a un canvi en el valor social d'altres modes semiòtics de comunicació, com per exemple les imatges. Des d'aquesta perspectiva, el domini del llenguatge verbal (oral o escrit) es qüestiona en la mesura que es reconeixen les possibilitats comunicatives d'altres modes de comunicació per representar i per ajudar al desenvolupament del coneixement dels alumnes.

■ 2.1.5 La gramàtica visual

Kress i Van Leeuwen (1996) han fet una important contribució al camp de la semiòtica social. Segons aquests, els estudis de semiòtica visual s'han centrat en allò que els lingüistes anomenen *lexic*, fent “formal, aesthetic description of images, sometimes on the basis of psychology of perception, or sometimes on more pragmatic descriptions, for instance on the way the composition can be used to attract the viewer's attention to one thing rather than other” (Kress i Van Leeuwen, 1996:1). En canvi, ells proposen un estudi més gramatical “to provide inventories of the major compositional structures which have become established as conventions in the course of history of visual semiotics, and to analyse how they are used to produce meaning by contemporary image-makers” (Kress i Van Leeuwen, 1996:1). En el seu llibre *Reading Images: the Grammar of Visual Design*, argumenten que la comunicació visual, com qualsevol sistema comunicatiu, ha de complir com a requeriment les tres demandes bàsiques que configuren com es fa el significat. Aquests requisits reflecteixen els components fonamentals que organitzen el sistema semàntic i que segons Halliday són les metafuncions ideacional, interpersonal i textual.

Plantegen que un sistema de representació:

- Ha de ser capaç de representar fenòmens i processos del món i ha d'establir una relació simbòlica entre el sistema representat i els aspectes del món real.
- Ha de ser capaç de localitzar els subjectes en diferents interaccions socials i ha de respondre de les relacions socials entre els participants en actes comunicatius.
- Ha de permetre relacions coherents entre els components visuals i entre el text i el context.

A partir d'aquest plantejament, Kress i Van Leeuwen (1996) identifiquen les estructures que organitzen les imatges, descrivint com es combinen els diferents elements que constitueixen una imatge per formar un conjunt ple de sentit. De manera similar al llenguatge verbal, el llenguatge visual s'entén millor si es considera com a "accions en el món" que relacionen els éssers socials amb els contextos socials. Aquest aspecte del llenguatge posa en evidència la seva acció transformadora no només d'idees, sinó també de les conseqüències que aquestes comporten pel que fa als compromisos i les actuacions de les persones (Austin, 1962).

La seva gramàtica visual tracta tant aspectes teòrics com pràctics. D'una banda, aprofundeix en la discussió del potencial dels diferents modes de representació per donar significat, segons el seu estatus i la seva valoració en contextos socials específics. I, a nivell pràctic, proposen que pot ser una eina per a l'anàlisi visual, que pugui proporcionar als professionals, com per exemple educadors i especialistes en mitjans de comunicació, elements per descriure, examinar i investigar la varietat de formes i de significats de diferents materials visuals.

Kress i Van Leeuwen (1996) desenvolupen les bases d'un marc teòric i descriptiu dels principis estructurals de l'organització de les representacions visuals en la cultura occidental. En el seu llibre en mostren un gran nombre d'exemples.

Classifiquen les estructures representacionals en narratives i conceptuals. Les representacions narratives mostren relacions de transitivitat, és a dir, un dels participants ha de fer (a un altre) algun tipus d'acció en unes determinades circumstàncies. Les representacions conceptuals expressen relacions permanents entre els participants representats. Kress i Van Leeuwen (1996) a l'hora de descriure un dibuix

prefereixen parlar de “participants” en lloc d’ “elements” o “objectes”, per dos motius: en primer lloc perquè el terme *participant* remarca el caràcter relacional, participar en un acte semiòtic, i en segon lloc perquè permet diferenciar entre participants “interactius” i participants “representats”. “The former are the participants in the act of communication – who speak and listen or write and read, make images or view them– the latter are the participants who are the subject of communication, that is, the people, places and things (including abstract “things”) represented in and by speech or writing or image, the participants about whom or which we are speaking or writing or producing images” (Kress i Van Leeuwen, 1996:46).

Les dues estructures poden ser naturalistes o abstractes i poden donar-se alhora. La xarxa sistèmica de la figura 2.10 representa aquesta idea, mostrant el conjunt encadenat de possibilitats de tria:

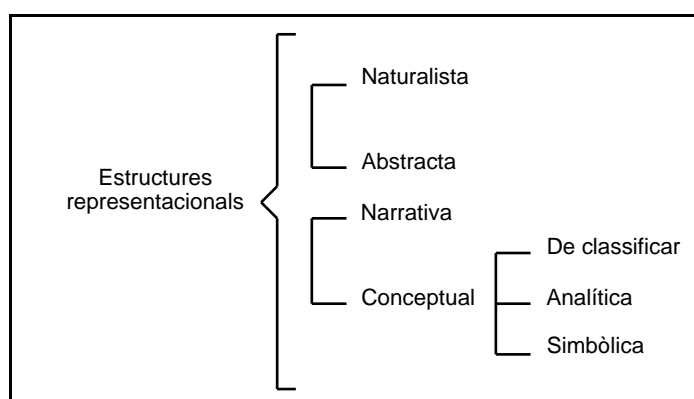


Figura 2.10. Tipologies de les estructures representacionals proposades per Kress i Van Leeuwen (1996).

2.1.5.1 Estructures representacionals narratives

Les imatges narratives ens expliquen històries, representen el món en termes de “fer” o “succeir”. Representen processos i accions que passen al llarg del temps, processos de canvi, com un glaçó de gel fonent-se, o mostren disposicions espacials transitòries, com el moviment relatiu de dos cossos. Els processos narratius poden ser expressats per mitjà de diagrames, per exemple amb requadres units per fletxes, o mostrant formes que impliquen una seqüència, com és el cas de les tires dels còmics.

La marca visual d’una proposició narrativa visual és la presència d’un vector. En els dibuixos, les fotografies o les pintures, aquests vectors poden estar formats pels mateixos elements dibuixats que formen una

línia obliqua, sovint diagonal. Els vectors també poden estar definits per cossos, membres o eines “en acció”. Hi ha, però, moltes altres maneres de convertir els elements representats en línies diagonals que marquin acció. Per exemple, en el procés de conduir una carretera que creua diagonalment l'espai del dibuix és un vector i el cotxe és l'actor. En dibuixos més abstractes (tipus diagrames) els processos narratius estan representats per elements gràfics també abstractes, per exemple, línies amb un clar indicador de direccionalitat, com pot ser una punta de fletxa. En tota representació narrativa han d'aparèixer trets de direccionalitat.

Una representació narrativa es pot analitzar des del punt de vista de:

L'Actor: és el participant actiu, qui realitza l'acció o el procés. És el participant del qual surt el vector i pot formar part del vector.

L'Objecte: és el participant passiu, qui rep l'acció, el participant al que va adreçat el vector.

Com en tota narració hi ha d'haver una relació de transitivitat entre els participants, és a dir, l'Actor ha de fer algun tipus d'acció a l'Objecte. També hi ha d'haver les circumstàncies en les que es dona el procés.

Segons el tipus de vector i el nombre i el tipus de participants, es poden definir diferents tipus de processos narratius.

a) Processos d'acció

L'Actor és el participant del qual surt el vector o és ell mateix el que forma el vector

Quan els diagrames tenen només un participant, aquest participant serà sempre l'Actor. Aquest tipus d'estructura, l'anomenen *no transaccional*, perquè no va adreçada a ningú, no hi ha Objecte. Es pot considerar que les accions no transaccionals són anàlogues als verbs intransitius (*bufar, nevar...*).

Quan en una proposició narrativa visual apareixen dos participants, un és l'Actor i l'altre l'Objecte. Estem davant d'un procés transaccional unidireccional. L'Actor és no només el participant que, per exemple, es mou, sinó que és qui provoca el moviment o, millor dit qui transporta (alguna cosa) o envia (alguna cosa). Quan volem expressar un procés transaccional amb paraules, utilitzem generalment un verb transitiu (*llegir, enviar*).

Algunes estructures transaccionals poden ser bidireccionals, és a dir, els participants poden actuar alternativament com a Actors i com a Receptors.

b) Processos reaccionals

En les representacions narratives la mirada d'algun dels participants representats pot ser un element molt important a l'hora de donar direcció. En aquest cas estem davant d'un "procés reaccional": no es parla d'Actor, sinó de "Sensor" o de "Qui Mira", ni d'Objecte, sinó de "Fenomen", que és el participant objecte de la mirada.

De la mateixa manera que els processos d'acció, els processos reaccionals poden ser transaccionals o no transaccionals.

• Processos de parla i processos mentals

Els processos de parla són els que apareixen a les tires còmiques. En aquestes apareix un vector format per la fletxa, que és el final de la bombolla amb el diàleg, que connecta "Qui parla" amb "Què diu", o Declaració. Qui parla és el participant d'un procés verbal del qual surt la bombolla; la Declaració és el participant verbal inclòs dins la bombolla o globus.

Els processos mentals són similars als de la parla, però ara el que s'expressa dins la bombolla no és una declaració, sinó un pensament. Els qui intervenen s'anomenen Sensor (qui pensa) i Fenomen.

• Processos de conversió

Són les representacions en què apareix una cadena de processos transaccionals. Un participant, l'Actor, fa alguna cosa a l'altre participant, Objecte, però aquest passa a fer una cosa a un altre participant. Així, un participant pot actuar com a Objecte d'un procés i com a Actor d'un altre. L'encadenament pot produir un tercer tipus de participant: un participant que és Objecte respecte a un participant i Actor en respecte a un altre. Kress i Van Leeuwen (1996) anomenen aquest tipus de participant Relleu. El Relleu no només passa sense canviar res, sinó que transforma el que rep; per exemple, en una cadena alimentària, un animal herbívor rep (és a dir, menja) herba, flors, fruits, i a nivell de matèria ho transforma en orina, excrements..., i el seu cadàver, quan es mori, serà descompost pels descomponedors...

Aquest tipus de procés és especialment comú en representacions de fenòmens naturals, per exemple, diagrames de cadenes alimentàries o en els diagrames que representen el cicle hidrològic.

- **Simbolisme geomètric**

En les estructures representacionals narratives és molt freqüent trobar fletxes.

La fletxa com a imatge que representa un significat és considerada un signe. Aquest signe esdevé un símbol quan representa un significat. Els signes poden comportar sinonímia, és a dir, un mateix signe pot esdevenir més d'un símbol si representa més d'un significat. Un exemple d'aquesta característica són les fletxes en representacions visuals científiques, on el signe "fletxa" pot ser el símbol "força", el símbol "velocitat" o el símbol "canvi". En general es considera que, com més abstracte sigui el signe, major serà la seva extensió semàntica, és a dir, major serà el seu rang potencial d'usos com a significant.

Les variacions en les formes de les fletxes poden afectar el significat del procés en els diagrames narratius. Una fletxa corba, per exemple, incorpora trets del valor simbòlic del cercle i així el procés és representat com a "natural" i "orgànic". Culturalment s'associen determinats valors a les formes o figures geomètriques. Els quadrats, els rectangles i les línies rectes es relacionen amb el món fet per l'home (tecnologia), mentre que les formes més arrodonides s'associen amb la natura. Un exemple el podríem trobar comparant l'arquitectura de Gaudí i la de Mies van der Rohe, les formes arrodonides del primer són considerades com una imitació de la natura, mentre que l'arquitectura del segon és molt més funcional i s'associa a la tecnologia.

L'impacte visual dels vectors pot ser atenuat, usant línies de punts o fent la punta de la fletxa petita, o col·locada al mig de la línia en lloc de en un extrem; això fa disminuir el sentit de l'impacte o objectiu.

Les relacions vectorials també poden ser amplificades mitjançant el gruix de les fletxes, cosa que suggereix la idea de més quantitat, de més densitat o de més freqüència, cas en què es posarà més d'una fletxa paral·lelament al procés.

2.1.5.2 Estructures representacionals conceptuals

A part de les estructures narratives que hem comentat fins ara, en les il·lustracions podem trobar moltes altres maneres de relacionar-se els participants; per exemple, en estructures que mostren relacions permanents entre aquests: són les que s'anomenen *estructures conceptuals* que inclouen estructures de classificació, analítiques i simbòliques.

a) Estructures de classificació

Una classificació generalment organitza els elements d'una mateixa classe en una disposició simètrica d'imatges del mateix tipus i mida. Aquesta estructura permet la comparació i el contrast entre els membres de la mateixa categoria. Les classificacions també expressen les relacions jeràrquiques entre els participants. En una classificació hi ha d'haver uns participants que fan el paper de subordinats i almenys un altre que sigui el supraordinador. Les taxonomies són expressions de processos classificatoris. Les taxonomies poden ser *obertes*, quan l'ítem supraordenador és present i es veu la relació que té amb els altres elements. Però també poden ser *encobertes*; quan el supraordenador només apareix en el text que acompanya la imatge o s'infereix a partir de les similituds que el que mira pot percebre que hi ha entre els subordinats.

Les estructures classificadores normalment representen els participants en relació amb la seva posició relativa o de rànquing en un ordre estàtic. Els diagrames de flux i les xarxes sistèmiques són estructures classificadores que permeten mostrar més flexibilitat i dinamisme.

Alguns exemples d'imatges classificadores en ciències són les piràmides alimentàries o les col·leccions de materials amb propietats comune...

b) Estructures analítiques

En aquests tipus de representacions els participants reben els noms de *Portador* i *Atribut*. La finalitat d'aquest dibuix no és expressar una acció que fa un participant en un altre, sinó que el que es vol mostrar és com els participants es relacionen per fer un tot. Té l'estructura d'un mapa i, a l'igual que en un mapa, hi ha un participant més gran, el Portador, que representa el total, i altres participants, els Atributs possessius, que són les parts del total. Les parts s'identifiquen clarament i normalment porten etiquetes, dintre o fora de l'espai de la imatge. Les representacions naturalistes, com les fotografies, tendeixen a distreure el que mira de l'objectiu analític. Per afavorir l'observació analítica de la imatge se solen preferir representacions amb fons pla, amb escàs ús del

color i absència de fondària; per ajudar a identificar les parts s'usen les ombres i les diferents tonalitats de gris.

Les imatges analítiques són típiques dels llibres de ciències. Es caracteritzen per un ús ampli de diagrames esquemàtics en representacions abstractes i idealitzades. Els exemples més comuns trobats en els llibres de ciències són mapes, línies de temps i diagrames d'òrgans biològics.

c) Estructures simbòliques

Els processos simbòlics es refereixen a “allò que un participant signfica o és”. Els processos simbòlics normalment involucren un Portador, el significat del qual s'estableix en la relació, i un Atribut simbòlic, el participant, el qual representa el significat. Sovint els atributs simbòlics ressalten en la representació, per exemple, per mitjà de l'ús de la llum o del color.

Més que atribuir etiquetes a les imatges, aquestes categories d'anàlisi permeten representar, discutir i fer explícites les relacions entre els participants representats en una imatge.

A més a més, l'examen de les estructures de les representacions ajuda a evidenciar les relacions entre la representació i el domini conceptual a què es refereixen. Per exemple, davant una classificació ens podem demanar sobre els principis d'organització o els criteris que hi ha en la base de la classificació. En les estructures analítiques, les parts que les componen adquireixen significat en relació amb la seva funció envers el conjunt. Les representacions narratives permeten analitzar processos. Aquesta informació dóna als professors de ciències recursos suficients per parlar als alumnes per mitjà de les imatges que va elaborant mentre construeix el seu discurs a la classe, desvetllant les raons que hi ha darrere de disposicions aparentment arbitràries.

Aquestes categories bàsiques que hem presentat es combinen per donar lloc a estructures molt més sofisticades. Per exemple, en la representació d'una típica piràmide alimentària les fletxes indiquen la circulació de l'energia/matèria a través de la piràmide, en la qual els organismes consumidors són a la part alta de la piràmide, i els productors són a la base. Aquesta imatge és alhora narrativa i classificadora. Narrativa en la mesura que mostra que uns organismes serveixen d'aliment a uns altres i classificadora en la mesura que diferencia els consumidors dels productors.

2.1.5.3 Especialització comunicativa del mode visual

Kress, Ogborn, Jewitt i Tsasarelis (2000), aplicant alguns dels criteris de la gramàtica visual, identifiquen uns rols comunicatius del llenguatge visual que s'utilitza a les classes de ciències.

Consideren que el mode visual:

- Proporciona un escenari o mapa abstracte, en el qual es recolzen la parla i el gest. Les imatges sovint són la base a partir de la qual es desenvolupen els altres modes.
- És una eina imaginativa molt important.
- Permet classificar. La classificació és una funció molt important del mode visual. En les classificacions visuals, la inclusió o l'exclusió d'elements serveix per subratllar la diferència entre el coneixement quotidià i el coneixement científic que conviuen a la classe.
- Fa la informació estable en forma de representacions visuals d'observacions o accions (taules, diagrames). També fan aquesta funció les representacions que apareixen en els llibres de text o les que fa el professor com a resum o sumari.

Conclusió

El llenguatge visual és un sistema de comunicació i, com els altres sistemes de comunicació, ha de ser après i ensenyat. Aquest aspecte encara no ha arrelat en la pràctica docent a l'aula, on les imatges són més aviat considerades decoratives, maneres d'expressar sentiments o emocions. Això s'evidencia en el tipus d'anotació que fan els professors en els treballs de ciències dels alumnes. Predominen els comentaris de tipus lingüístic: "Text mal redactat", "frases massa llargues", "hi ha faltes d'ortografia", "no es destaca la idea principal"... Pel que fa al dibuix, poques vegades es proposen millores, amb comentaris del tipus: "Destaca l'element principal", "cal destacar de manera similar els elements de la mateixa categoria", etc. Un major coneixement de la gramàtica visual pot donar eines al professorat per ajudar a millorar les produccions gràfiques dels seus alumnes.

■ 2.1.6 El discurs multimodal del professor: voluntat de convèncer

Les funcions del professorat i de l'alumnat en el context comunicatiu de l'aula són diferents. Mantenen una relació asimètrica, ja que la responsabilitat és diferent. L'objectiu de la comunicació a l'aula és la creació d'uns significats (coneixements) específics. El professorat coneix aquests significats i intenta que l'alumne els comparteixi.

A partir d'algunes de les seves recerques centrades en observacions a l'aula, Martins (2000), Martins (2001), troba que els professors de ciències usen estratègies per tal de: (i) crear interès i la necessitat d'una explicació, (ii) construir noves entitats en el discurs, (iii) recontextualitzar el nou coneixement i (iv) construir significats per mitjà de les demostracions. A més, els professors utilitzen diferents modes de comunicació: parlen, fan gestos, utilitzen imatges, llegeixen textos, usen materials concrets, etc. (Mortimer i Scott, 2000; Izquierdo *et al.*, 2001; Márquez *et al.*, 2001a; Márquez *et al.*, 2001b).

Dins la didàctica de les ciències es va plantejar la consideració de l'ensenyament de les ciències com una mena de retòrica (Martins, 1998). Des d'aquest punt de vista, el terme *retòrica* no fa referència a floritures en l'expressió o al fet que el discurs sigui buit, sinó a l'articulació dels diferents modes de comunicació (llenguatge verbal, imatges, gestos, etc...) per tal de produir informacions (relats) coherents i cohesionats dirigits a convèncer (persuadir) els que s'inicien en maneres noves de mirar i actuar en el món. Un món on l'energia es conserva, on els objectes es mouen sense força...

La majoria de científics i molts professors de ciències pensen que la ciència no necessita retòrica, ja que els fets "parlen per si mateixos". Aquesta idea sorgeix de la concepció que l'autoritat del coneixement científic no depèn ni de persones, ni de temps, ni de llocs, sinó de l'aprovació de qualsevol que l'entengui. La cultura científica defuig la retòrica; un exemple d'aquest fet són les presentacions a les conferències científiques, estudiadament causals (una poderosa retòrica de l'antiretòrica, sens dubte) per així objectivar els resultats.

A causa de la forta ideologia antiretòrica de les ciències, pot semblar estrany parlar de l'ensenyament de les ciències com a retòrica. Tradicionalment es considera que el coneixement científic no depèn de la persuasió i que descansa sobre l'acceptació de l'evidència experimental irrefutable. Segons aquesta visió, l'aprenentatge seria sinònim de *convenciment racional* (Kress, Ogborn, Martins i McGillicuddy, 1997). Malgrat això, els professors sabem que preparar una activitat de manera

acurada i controlada no garanteix que un fenomen sigui observat: no n'hi ha prou amb "mostrar" per tal que els alumnes entenguin les idees científiques. Es poden trobar molts exemples d'aquest fet en la pràctica diària: en l'experiència de treure aire d'un recipient amb una bomba de buit, el professor mostra com l'atmosfera està aixafant les parets del recipient, mentre que els alumnes estan veient com la bomba xucla les parets cap endins.

Aquestes constatacions porten a la necessitat de buscar altres estratègies que permetin la construcció dels significats esperats i a reflexionar sobre el paper del professorat en tot aquest procés.

A les classes es dona una interacció discursiva on els diferents modes comunicatius són els mediadors d'aquesta interacció. A l'aula cal arribar a uns significats compartits a partir d'una negociació de significat. Les aules esdevenen comunitats discursives multimodals on es desenvolupen unes habilitats argumentatives.

El discurs és considerat una unitat comunicativa en funcionament, que es produeix en un context de situació o registre determinat per tres components: la temàtica, en aquest cas científica i relacionada amb el cicle de l'aigua, els modes a través dels quals s'estableix la comunicació i, finalment, les relacions interpersonals, en aquest cas les pròpies d'una classe de secundària.

Lemke (1995), quan parla de discurs es refereix a l'activitat social de construir significat amb el llenguatge o amb altres sistemes simbòlics en una situació particular. També té en compte els participants en el discurs, tant si parlen i escriuen com si només escolten o llegeixen.

En referir-nos al discurs del professor a l'aula, considerem la utilització dels diferents modes comunicatius per tal de desenvolupar un tema que ha de ser comprès i assimilat pels alumnes. En aquest discurs a l'aula hi ha una voluntat de convèncer, per la qual cosa és necessària la construcció de noves entitats i la construcció de mediadors materials i s'hi pot reconèixer una semàntica i una sintaxi.

Conclusió

Des d'una perspectiva retòrica de l'ensenyament de les ciències, l'aprenentatge de les ciències és concebut com un procés de convenciment racional on la persuasió, però, és un aspecte rellevant.

2.2 La modelització científica

De rerum natura

Quan un científic mira una pedra
no veu tan sols un objecte contundent,
hi veu tot un entramat de molècules,
l'estructura tridimensional dels silicats,
l'acumulació ofegada de foraminífers.
Quan mira un arbre coneix el perquè dels seus colors,
la distribució espacial dels àtoms de la clorofil·la,
les cadenes de carbonis asimètrics que li han donat la vida.
Quan era infant i es demanava el perquè
de la duresa de les roques,
el canvi de vi en vinagre,
per què la sobrassada es torna blanca,
no sospitava la bellesa dels símbols,
el bell alenar del coneixement
i que la mirada seria un acte de creació.
De la natura de les coses
cal extreure el plaer de viure.

Àngel Terrón, *Iniciació a la química*

La ciència és una manera de mirar el món i de pensar el món. En aquest apartat es reflexiona sobre la proposta d'ensenyar i aprendre a mirar el món utilitzant els models teòrics de la ciència.

■ 2.2.1 El model cognitiu de ciència

Les ciències cognitives analitzen els processos de construcció del coneixement des de diferents perspectives teòriques: psicològica, històrica i de la filosofia de la ciència, lingüística, neurocientífica. Segons Gardner (2000), la contribució més important de la revolució cognitiva dels anys seixanta va ser explicar la cognició humana per mitjà d'un nou concepte: *la representació mental*. Les persones tenim en la nostra ment idees, imatges i llenguatges que ens permeten donar sentit al món i a les nostres accions en aquest. Les persones pensem i actuem contrastant aquestes representacions abstractes amb la nostra experiència del món.

El model cognitiu de ciència (MCC) s'ha elaborat en l'àmbit de les ciències cognitives. Proposa utilitzar aquesta mateixa perspectiva a l'hora d'explicar l'activitat cognitiva científica, que consistirà a contrastar els *models teòrics* (MT) organitzats en teories i els fenòmens del món. Des d'aquest plantejament, es considera que els científics són pensadors humans que desenvolupen un coneixement específic perquè tenen una meta específica: conèixer el món, i per aconseguir-ho produeixen models i teories dels fenòmens del món real. Aconsegueixen, d'aquesta manera, interpretar-los (Carey, 1992; Nersessian, 1992).

Giere (1988, 1992) interpreta aquest procés enunciant una concepció semàntica de la teoria científica (Model Based View, MBV). A continuació es comentaran alguns dels aspectes clau de la seva proposta.

La concepció semàntica de la teoria científica planteja que el més important d'una teoria és que tingui significat en el món i sigui útil per interpretar els fenòmens. Per tant, una teoria estarà formada per un conjunt de models teòrics similars i pels fenòmens que queden interpretats per aquests models (que poden ser una maqueta, un esquema, una analogia, una metàfora o una equació matemàtica). La relació entre els fenòmens del món i els enunciats o les declaracions es fa per mitjà del model, és a dir, és una relació indirecta per mitjà del model.

Giere proposa que les afirmacions o els enunciats no es facin sobre la realitat, sinó sobre un model que compleixi exactament les definicions. El model serà una representació abstracta d'unes determinades característiques del món. La relació entre el model i el món és d'ajust, per la qual cosa es tendeix a fer una representació tan ajustada com sigui possible a la realitat.

La unitat estructural i funcional del model cognitiu de ciència és l'anomenat *model teòric* (Giere, 1988, 1992). Els models teòrics són representacions mentals (internes i abstractes) de la realitat, comparables a veritables *mapes* del món (Giere, 1999). Aquests models teòrics estan connectats a la realitat per mitjà de relacions de similitud (analogia). Les relacions analògiques entre la teoria i el món s'expressen mitjançant allò que anomena *hipòtesis teòriques*.

El model cognitiu de ciència considera la ciència com una activitat que té la finalitat de donar sentit al món i actuar en aquest. Les teories (conjunts de models teòrics) són els instruments culturals que permeten explicar el món. Així, la funció central d'una teoria és permetre als que la usen comprendre el món. La conseqüència didàctica d'aquesta afirmació

és important: les teories escolars que no permetin donar sentit als fets del món no haurien de formar part de l'educació científica.

2.2.1.1 La ciència escolar

El model cognitiu de ciència presenta l'activitat científica com una empresa intel·lectual que es proposa interpretar la realitat mitjançant les capacitats cognitives humanes de representar-se teòricament el món i de comunicar de manera intel·ligible aquestes representacions.

La ciència que es fa a l'escola, si la considerem des d'aquest punt de vista, també es proposa entendre el món mitjançant teories i comunicar aquests coneixements per mitjà d'un llenguatge significatiu i rigorós.

Des de fa uns anys, el Departament de Didàctica de les Matemàtiques i de les Ciències Experimentals de la Universitat Autònoma de Barcelona està fent reflexions i propostes per tal de considerar la ciència escolar (Izquierdo, 1995) des del punt de vista del model cognitiu de la ciència (Izquierdo *et al.*, 1999). Aquest procés, en revisió constant, ha portat a definir unes característiques de la ciència escolar:

- La ciència escolar ha d'ensenyar els alumnes a pensar utilitzant teories (models teòrics) per donar sentit al món (Izquierdo, 2000a). Aquesta idea d'una educació científica que es plantegi interpretar el món per mitjà de models teòrics també es defensada per altres autors (AAAS, 1989; Duschl, 1997; Millar i Osborne, 1998).

Essent les teories les que unifiquen els coneixements sobre el món, ha de ser possible vertebrar el conjunt de coneixements científics escolars a l'entorn d'uns pocs models teòrics escolars, que adquiriran sentit a mesura que es vagin aplicant a molts fenòmens diferents. Així, s'anomenarien *models teòrics escolars* aquells models que estructuraven el currículum i a partir dels quals es decideixen els temes, els experiments i les reflexions que es faran a l'escola. Són els models que permeten l'activitat científica a l'aula. Són representacions que agrupen conceptes, experiències, analogies, diferents llenguatges, i que s'han generat a partir d'una transposició didàctica d'un model teòric expert.

Aquests models teòrics escolars haurien de ser pocs però rellevants i s'haurien d'anar desenvolupant al llarg de tota l'escolaritat, des de l'educació infantil fins al batxillerat. Des de la didàctica de les ciències encara no hi ha una resposta única a quins han de ser aquests models

teòrics bàsics, però sí que hi ha nombroses propostes (Izquierdo *et al.*, 1994; Sanmartí, 2001).

Evidentment, hi haurà molts nivells d'explicació –molts nivells del model teòric a l'escola–, ja que un nen o una nena d'educació infantil no explicarà un fenomen de la mateixa manera que una persona més experta. Els models van augmentant en complexitat a mesura que es van tenint més recursos lingüístics i experimentals i es van establint interrelacions entre ells i amb uns altres submodels. El model ésser viu està relacionat amb el model ecosistema i té submodels: fotosíntesi, respiració... El model planeta Terra està relacionat amb el model univers i té submodels: tectònica de plaques, atmosfera...

- La ciència escolar ha d'ensenyar, per mitjà de l'experimentació i l'argumentació, a veure els fets del món com a fets científics.

L'aprenent té coneixements de fets i fenòmens del món construïts a partir de les experiències sensorials, la interacció cultural i l'adaptació del que ha anat aprenent a l'escola. Són els seus models del sentit comú. L'explicació que dona el sentit comú a la formació dels núvols, a agafar la grip, a encendre un foc, no es correspon d'entrada, i encara menys sense un procés d'ensenyament-aprenentatge, amb l'explicació del món des del punt de vista de la ciència.

Per aconseguir aquest objectiu, des de la ciència escolar es proposa que, una vegada plantejat un problema al qual es vol donar resposta, el professorat presenti un episodi, una sèrie de fets i de fenòmens (fets del món) sobre els quals es pugui parlar i experimentar. Aquesta tria no és ingènua, sinó que es fa pensant que són fets idonis per ser explicats amb el model. Aquests “fet del món” han de plantejar preguntes i han de fer emergir les entitats del model. L'alumne, per mitjà de l'experimentació, de la informació que li aporti el professorat, de la discussió, anirà reconeixent les noves entitats científiques. Aquest fet del món passarà a ser un “fet científic” quan l'alumne l'interpreti en termes del model. Així, un “fet del món” passa a ser un “fet científic” quan s'identifiquen en aquest determinades magnituds i un determinat tipus de relació entre aquestes (Izquierdo *et al.*, 1999). Aquestes regularitats han de servir a l'alumne per explicar altres situacions similars.

La modelització científica consisteix en aquest procés de reconstrucció d'un “fet del món” en un “fet científic”, consisteix a aprendre a mirar el món des de la manera específica en què ho fa la ciència.

Izquierdo i Adúriz (2001) identifiquen aquests fets científics o fets paradigmàtics (Izquierdo i Márquez, 1993) amb els models teòrics dels alumnes, ja que es refereixen a situacions reals que els alumnes han experimentat i que poden explicar en termes d'unes entitats que també els permeten interpretar noves situacions experimentals.

El paper del professorat en aquesta activitat científica és fonamental. És el professorat qui proposa el model que s'ha d'aprendre. Aquest model no pot ser imposat, sinó que s'ha d'anar construint conjuntament mitjançant un procés de modelització que consisteix que els alumnes expressin amb les seves paraules les relacions que els fa veure el professorat. No menys important que el del professorat és el paper de l'alumnat, ja que és imprescindible que qui aprèn estigui implicat en el seu aprenentatge (Driver *et al.*, 1994).

Adúriz-Bravo (2001) proposa que el procés de modelització, és a dir, el pas o l'evolució des dels models del sentit comú als models científics escolars, pot estar auxiliat pel que anomena *mediadors analògics*, que serien representacions d'un model abstracte que ajuden, a la classe de ciències, a pensar, dir i fer coses sobre el món. Una maqueta d'un bosc seria un model mediador del model teòric bosc, un dibuix de la natura amb diferents localitzacions de l'aigua seria un model mediador del model cicle de l'aigua.

- La ciència escolar ha d'ensenyar els alumnes a parlar i a escriure ciències (Lemke, 1997; Izquierdo i Sanmartí, 1998).

L'experimentació científica ha de ser reconstruïda per escrit en el marc del model teòric. Escriure sobre els experiments és una via imprescindible per construir el coneixement científic que es proposa (Byrne *et al.*, 1994).

La relació entre els fenòmens i els models es fa mitjançant *hipòtesis teòriques*, que són les afirmacions que es poden comprovar experimentalment. Aquestes han de ser formulades i contrastades per mitjà d'un ús apropiat del llenguatge.

El llenguatge fa que el coneixement, que és la conseqüència d'haver obtingut determinades dades i haver-hi pensat, es pugui discutir i difondre, i per això contribueix de manera important a la construcció d'aquest coneixement. El llenguatge no només expressa les idees, sinó que contribueix a la construcció d'aquestes.

En el camí cap a la reconstrucció teòrica, un element sens dubte important és l'argumentació (Duschl, 1998; Jiménez Aleixandre, 1998; Newton *et al.*, 1999; Osborne, 1999; Sardà i Sanmartí, 2000). És per mitjà de l'argumentació que es podran associar els fets del món, les accions, els fets científics i els models teòrics.

Com s'ha dit més amunt, l'activitat científica consisteix a conèixer el món per tal de poder-hi actuar amb eficàcia i aquest coneixement es fa per mitjà dels models teòrics, que cal justificar, inventar, per mitjà de llenguatges que permetin concretar-los i donar-los sentit.

La ciència escolar ha de vetllar la relació entre els fets i el model. Els coneixements de ciència a l'escola haurien de ser aquells que tenen referents coneguts per l'alumnat i que es poden interpretar amb les teories adequades al seu nivell. Per això, aquests coneixements haurien de reunir la condició de poder ser escrits i dits pels alumnes. (Izquierdo i Sanmartí, 1998).

- La ciència escolar ha de promoure l'autorregulació (Sanmartí, 2000). Els estudiants han de percebre explícitament que són responsables de la construcció del seu coneixement teòric sobre el món natural.

Conclusió

La ciència escolar ha de promoure el procés de modelització dels i de les alumnes amb la finalitat que aquests i aquestes donin sentit als fets del món, un sentit que ha de tendir a ser coherent amb el coneixement científic actual.

■ 2.2.2 Models: tipologies i modes de representació

El terme *model* és un dels més usats i debatuts en recerca de didàctica de les ciències. Apareix en moltes publicacions, especialment en el camp de l'ensenyament de la física, i en alguns moments es detecta una falta de precisió o de consens en el seu ús.

Una de les definicions de *model* més freqüent en els llibres i articles de didàctica de les ciències és la proposada per Ingham i Gilbert (1991): un model és una representació simplificada d'un sistema, que concentra l'atenció en aspectes específics del sistema. A més, els models permeten que aspectes del sistema, sigui un objecte, un esdeveniment o una idea, que són o bé complexos, o en una escala diferent a la que normalment

percebem, o bé abstractes, es puguin representar com a visibles o, si més no, més fàcilment visibles (Gilbert, 1995).

La producció de models implica eliminar aquelles característiques del món real que siguin innecessàries per a la formulació de la pregunta que guiarà l'activitat científica. Aquest procés de simplificació permet posar l'atenció en el comportament del fenomen, en les entitats que es formulen com a constituents de la seva estructura, en les seves relacions espacials i temporals, en les causes d'aquestes relacions i en els possibles canvis de funcionament que provocarien els canvis en les entitats. Aquesta focalització de l'atenció és possible perquè els models, pel fet de ser representacions simplificades de la realitat, són més fàcilment manipulables mentalment (Gilbert i Boulter, 1998).

Tots els models es formen per processos d'analogia, buscant semblances i diferències: «For analogies to work we must “recognise” something and then disregard but remember this first “obvious” fit and “force” another» (Guidoni, 1985:137).

Les analogies es fan entre el model (alguna cosa que es percep com a semblant al fenomen que s'estudia) i el fenomen mateix. Hesse (1966) classifica en tres les relacions que es poden establir entre el model i el fenomen: l'analogia positiva, és a dir, les similituds que sembla que hi ha, l'analogia negativa, la manca de similituds, i l'analogia neutral, quan no hi ha una clara decisió sobre les similituds.

Gilbert i Boulter (2000) han fet un esforç per proposar un llenguatge comú quan es parli de models i de modelització. La definició de *models* que proposen és la següent: Un model en ciència és una representació d'un fenomen feta per a un propòsit específic (Gilbert *et al.*, 2000). Aquest propòsit consisteix a simplificar el fenomen per poder-lo investigar i arribar a explicar-lo. Els models poden ser d'un objecte, un esdeveniment, un procés, un sistema o una idea. Un *objecte* és una part d'un sistema; per exemple, el cor és un objecte que pertany al sistema circulatori, però també és per si mateix un sistema, ja que és un objecte complex i dinàmic. Un *esdeveniment* és un segment limitat en el temps del funcionament d'un sistema, es pot produir dins el funcionament normal o anormal del sistema, però ocupa un temps limitat (un eclipsi de sol és un esdeveniment). Un *procés* és un o més esdeveniments que té un resultat determinat (l'evaporació). Un *sistema* és una sèrie d'entitats amb una relació fixa entre si (el sistema circulatori).

2.2.2.1 Tipologies de models

Els diferents tipus de models als que ens podem referir segons Gilbert *et al.*, (2000) són:

Models mentals: són representacions cognitives internes i personals. S'utilitzen per raonar sobre els fenòmens, per descriure'ls, explicar-los, predir, i a vegades controlar-los (Johnson-Laird 1983).

Models expressats (expressed models): són representacions externes del sistema de referència fetes a partir d'un model mental i que s'expressen per mitjà de diferents modes de representació. Els models expressats són usats per comunicar, però també per raonar. Les relacions entre els models mentals i l'aparent correspondència amb els models expressats és complexa. Els models expressats poden ser efímers o consensuats.

Models consensuats són models expressats que han estat desenvolupats, provats i consensuats per diferents grups socials. Un model expressat que hagi estat acceptat per la comunitat científica després de ser provat experimental esdevé un *model científic*

Models històrics són aquells models consensuats en un context històric específic i posteriorment superats.

Models curriculars són les versions, generalment força simplificades, de models històrics o models científics que s'inclouen en els currículums.

Models d'ensenyament: són els models utilitzats per facilitar la comprensió dels models històrics, científics o consensuats. Atès que alguns models i els fenòmens que representen són difícils d'entendre, els professors o els mateixos alumnes en fan una nova simplificació.

Models híbrids són models formats per elements procedents de models històrics diferents. Són usats com models coherents

Models pedagògics: són models que es defineixen per la composició d'almenys tres models que interactuen: el model de ciència, el model d'ensenyament i el model d'aprenentatge.

El *model teòric escolar* proposat per Izquierdo *et al.*, (1999), Izquierdo i Adúriz (2001), es podria afegir a aquesta tipologia ja que no és incompatible amb els altres models i afegeix matisacions importants. Un model teòric escolar aplegaria un conjunt de les tipologies descrites. És un model científic, curricular i pedagògic o didàctic. És un model

científic, en la mesura que és una representació consensuada que guia l'activitat científica, és curricular en la mesura que es representa de tal manera que pugui tenir sentit per a l'alumnat i és didàctic perquè proposa que el procés de modelització es realitzi d'una determinada manera que es correspon amb la concepció de ciència escolar.

2.2.2.2. Modes de representació

Els modes de representació es refereixen al "mitjà" a través del qual el model és representat. Els models expressats poden utilitzar diferents modes de representació.

Gilbert *et al.*, (2000) fan una proposta dels modes de representació que s'usen d'una manera més important a les classes de ciències.

Un mateix model, segons el mode en què s'expressi o es representi, és capaç de proporcionar un tipus particular d'explicació.

Els models es poden expressar per mitjà de diferents modes de representació, agrupats en dues categories: mode concret i mode simbòlic. Aquest darrer pot ser textual (verbal, visual o matemàtic) o gestual.

Mode concret: models materials en 3D; per exemple, un cor de plàstic.

Mode verbal: models que són dits o llegits: descripcions, explicacions, narracions, arguments, analogies i metàfores; per exemple, "el cor és una bomba".

Mode visual: models que són mirats, com ara diagrames, animacions, simulacions, vídeos; per exemple, cercles i línies mostrant un eclipsi.

Mode matemàtic: models que són fórmules, equacions i determinades simulacions; per exemple, les equacions del moviment planetari..

Mode gestual: models que són moviments del cos o de les seves parts; per exemple, un sistema solar fet pels alumnes movent-se al voltant de la classe. Aquest mode té una importància destacada en les activitats comunicatives a l'aula (Crowder, 1996).

Molt sovint, els models expressats requereixen més d'un mode de representació per comunicar tota la informació del fenomen representat. Així, el mode visual comunica aspectes estructurals, les descripcions verbals informen del funcionament, les explicacions informen dels

mecanismes causals, etc. Per aquest motiu proposen uns modes de representació mixts.

Mode concret mixt models concrets amb components visuals, verbals o matemàtics; per exemple, una maqueta amb etiquetes amb els noms dels seus components.

Mode verbal mixt text escrit amb components visuals o numèrics; per exemple, una explicació del funcionament del cor amb un diagrama al costat.

Mode visual mixt models visuals amb components verbals o matemàtics; per exemple, un diagrama del cor amb el nom de les seves parts.

Mode matemàtic mixt equacions i fórmules amb explicacions verbals; per exemple, la fórmula del moviment planetari amb un text escrit a sota.

Mode gestual mixt actuacions o moviments acompanyats d'explicacions verbals; per exemple, els alumnes parlant del seu moviment com si fos el moviment del sol i els planetes.

Conclusió

A les classes, els museus, els llibres de text, els professors i els alumnes donen sentit als fenòmens del món per mitjà de la construcció i l'ús de models. Els models poden ser expressats per mitjà d'una gran varietat de llenguatges: dibuixos, gràfics, diagrames, maquetes, expressions verbals. Cada tipus de representació facilita l'accés a un determinat aspecte del fenomen. Així, si a les classes els i les alumnes parlen, dibuixen, escriuen, interactuen amb materials, aconseguiran un major coneixement i una major involucració amb el fenomen.

■ 2.2.3 Models mentals, models expressats i representacions

Els aprenents, com a resposta a una determinada tasca o procés de modelització, reconstrueixen els seus models mentals; llavors, si és necessari, els avaluen i els revisen. Com que és impossible saber la naturalesa i el contingut dels models mentals, fins i tot dels nostres (com a recercadors) es poden fer inferències sobre la natura d'un model mental basades en el tipus de raonaments que els aprenents poden fer amb els coneixements de què disposen.

Gilbert i Boulter (1998) insisteixen en la natura privada dels models mentals. En conseqüència, els models mentals són inaccessibles i si es

volen conèixer s'hauran d'inferir a partir d'algun model expressat en qualsevol dels modes de representació possibles.

Els models mentals són crucials en l'aprenentatge, ja que poden interferir o ser modificats en el procés educatiu. Per aquest motiu s'han de conèixer i s'han de tenir en compte quan s'ensenya.

Les relacions entre els models mentals, els models expressats i els fenòmens són de natura interactiva, tal com es mostra en la figura 2.11. Els models mentals s'utilitzen tant per entendre com per crear models expressats. Aquests influeixen la nostra percepció del fenomen, que aleshores influeix el nostre model mental. Els models expressats representen aspectes seleccionats del fenomen i del nostre model mental.

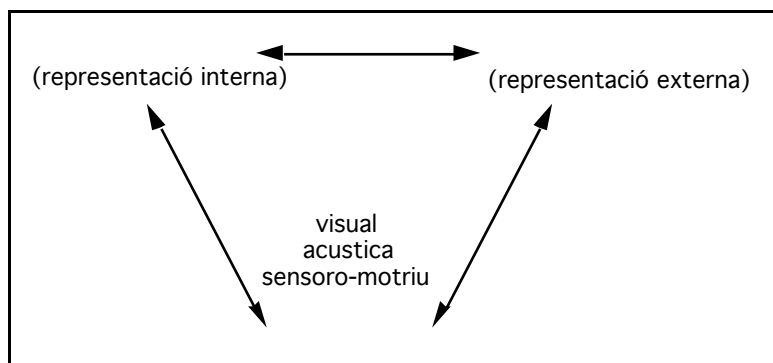


Figura 2.11. Relacions interactives entre els models mentals, els models expressats i els fenòmens (adaptació de Buckley, Boulter, 2000).

Buckley i Boulter (2000) proposen el terme *representació* per definir les representacions externes d'idees, d'objectes o de sistemes. Les representacions són considerades les expressions dels models mentals fetes amb uns propòsits determinats, com comunicar, negociar coneixements, raonar i resoldre problemes. En aquesta recerca adoptem aquesta proposta i així, quan en el capítol 6 parlem de l'evolució de les representacions dels alumnes, ho farem usant el terme *representació* en aquesta accepció.

Buckley i Boulter (2000) han investigat el paper de les representacions en la construcció dels models mentals. Plantegen la necessitat d'un mètode sistemàtic que permeti caracteritzar, categoritzar i comparar aquestes representacions. En la seva recerca es proposen trobar criteris sobre com analitzar els aspectes del fenomen que apareixen representats en el model i sobre com aquesta representació facilita o dificulta la comprensió.

2.2.3.1 Aspectes del fenomen que es poden recollir en els models

Per analitzar els aspectes del fenomen que recull el model es basen en un treball de Buckley (1992). Buckley analitza els models de vint-i-vuit alumnes sobre el sistema circulatori des de la perspectiva de quins són els aspectes que representen del fenomen. El model del sistema circulatori consisteix en parts integrades de coneixement relacionades amb aspectes del fenomen. Segons Buckley i Boulter (2000), els aspectes del fenomen que poden recollir els models fan referència a: *l'estructura*, que es refereix a les parts estructurals i a les relacions espacials entre aquestes, *el comportament* que es refereix als processos i els canvis en el temps, i, el *mecanisme*, que es refereix a les interaccions del comportament dels diferents components, que originen el comportament general del sistema.

Altres recerques plantegen idees similars, encara que les anomena de manera diferent. Segons Gobert i Clement (1999), els aspectes del fenomen que recull el model fan referència a:

- *Característiques espacials* components materials o elements del sistema i les relacions espacials entre aquests.
- *Característiques dinàmiques* components dinàmics o processos que s'estableixen entre els components materials.
- *Característiques causals* funcionament global i causes del fenomen.

Gobert (2000) estableix una tipologia dels models dels alumnes de cinquè grau sobre les plaques tectòniques. En les representacions identifica tres tipus d'informació: *espacial*, *dinàmica* i *causal*. Gobert constata que els alumnes poden progressar començant amb un model espacial dels elements del sistema i anant gradualment afegint més i més propietats dinàmiques i causals. Per exemple, considera que és necessari tenir un model espacial de les capes de l'interior de la Terra abans de desenvolupar un model causal en què els corrents de convecció que es produeixen en una capa (mantell) provoquin el desplaçament de l'altra (escorça).

Clement (2000) opina que aquesta recerca pot tenir implicacions educatives. Una és que en una unitat didàctica convé establir el model espacial al més aviat possible. Una altra és la necessitat d'establir més mecanismes de *feedback*, per conèixer les diferències entre els models mentals de l'alumnat i el que el professor està proposant a la classe. Troba interessant la proposta de Gobert de demanar a l'alumnat que

elabori diagrames més que no pas explicacions, ja que en elaborar un dibuix es focalitza l'atenció en els components espacials, dinàmics i causals.

Clement (2000) anomena *models intermediaris* aquests models que l'alumne va modificant i millorant. Aquests models corresponen als passos intermedis entre el model inicial de l'alumne i el model *objectiu*, que és el que el professor desitjaria que tinguessin els alumnes una vegada finalitzat el procés d'instrucció. El model objectiu no és tan sofisticat com el model científic (figura 2.12).

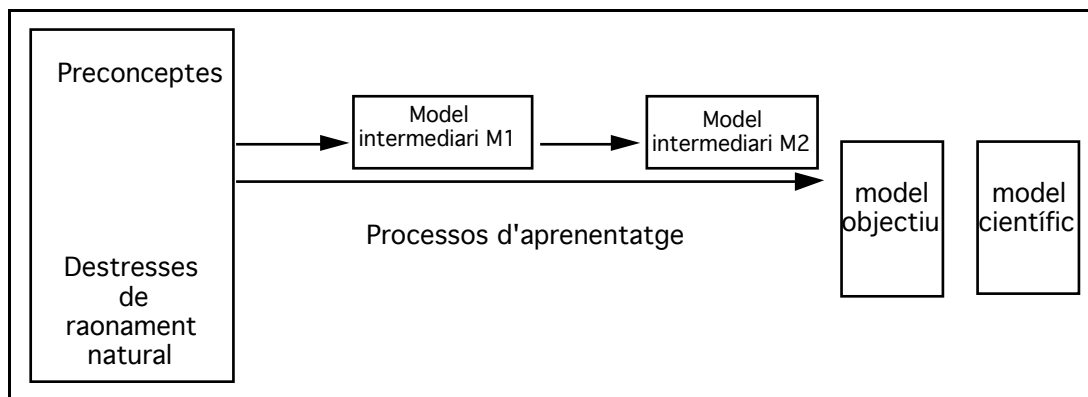


Figura 2.12. Marc teòric d'un ensenyament basat en models (Clement, 2000).

Conclusió

Els models expressats o representacions són accessibles per mitjà de la parla, del text, gest, dibuixos, objectes. Com a ensenyants ens interessa disposar d'algun mètode que ens permeti caracteritzar, categoritzar i comparar les representacions. Una manera de fer-ho és identificar els aspectes o la informació del fenomen que recull la representació.

■ 2.2.4 L'explicació científica

Es podria dir que el primer acte de l'activitat científica és escollir un aspecte de la natura, separar-lo del conjunt que constitueix el món en el qual es produeix i plantejar-se una pregunta. L'explicació o resposta a aquesta pregunta implica la modelització del món (Gilbert *et al.*, 1998), perquè a través de la modelització es pot simplificar la complexitat del món real i interpretar-la.

La modelització és l'essència de pensar i treballar científicament i es considera que la ciència i els seus models explicatius són inseparables,

perquè els models són productes de la ciència i les eines més importants d'ensenyament-aprenentatge (Gilbert 1993).

Sutton (1992) dóna suport a aquesta interdependència quan diu: "I see all modelling as inspired by some associated imagery, which can in part be explored verbally. Models, like the metaphors on which I argue they are based, carry entailments or implications, and so they quickly yield the testable predictions that all scientists want" (Sutton, 1992:98).

Giere (1988) també constata com a evident i forta la interdependència entre models i explicacions científiques: "Explaining is a human activity whose practice long antedated the rise of modern science...all that is distinctive about "scientific explanations" ... is that they deploy models developed in the sciences... What sciences provides for "scientific explanations" is a resource consisting of sets of well-authenticated models. How people deploy these models in the process of constructing or understanding explanations depends on the extra-scientific context" (Giere, 1988:105).

Una explicació és la resposta donada a una pregunta i cap explicació és apropiada a totes les circumstàncies ni a qualsevol interlocutor. Una explicació apropiada és aquella que satisfà les necessitats de qui la fa en el moment en què la fa (Gilbert *et al.*, 1998).

Com s'ha comentat més amunt, el primer acte de l'activitat científica consisteix a escollir l'aspecte de la natura que ens interessa. La primera pregunta que aquesta tria planteja és: "per què és important l'estudi d'aquest aspecte de la natura? La resposta que es dóna a aquesta pregunta constitueix la intenció, o la justificació de l'activitat científica.

El pas següent ens portarà a formular la pregunta: com es comporta aquest fenomen? Una descripció és el tipus d'explicació que pot informar del seu comportament. Anomenar les entitats que intervenen en el fenomen i identificar la distribució espacial i temporal, constitueix la interpretació de la seva estructura física.

La pregunta: per què es comporta d'aquesta manera?, té com a conseqüència una resposta basada en la causalitat.

Finalment, quan ja es té molta informació sobre el comportament d'un fenomen, es pot anticipar el comportament d'aquest en circumstàncies diferents. La pregunta ara és: com es comportaria aquest fenomen en unes altres condicions? L'explicació que es dóna és una predicció, que és una de les eines més potents de la ciència.

Conclusió

Qualsevol explicació científica considerada la resposta a una pregunta sobre algun fenomen del món natural implica la modelització del món natural.

2.3 El cicle de l'aigua

Molta gent no entén que el món natural no és un món lliure de la manera que els occidentals entenen la llibertat. El món natural funciona segons lleis naturals i hi ha molts cicles del món natural amb els quals s'ha de viure en harmonia.

Wovoka (cabdill pell-roja)

En el context d'aquest treball es parteix del supòsit que el cicle és un model explicatiu que representa i resumeix aspectes dinàmics dels fenòmens en la seva dimensió temporal i espacial. A l'hora de representar i comunicar els cicles s'utilitzen diferents llenguatges, cosa que ens permetrà reflexionar sobre com els diferents modes comunicatius s'usen en parlar dels cicles i construir el seu significat. Primerament es donarà una visió general del concepte i posteriorment es concretarà en un cicle específic: el cicle de l'aigua.

■ 2.3.1 Cicle i ciències

El terme *cicle* forma part del vocabulari comú, amb moltes i variades accepcions, com es constata si se'n busca el significat a l'Enciclopèdia Catalana (figura 2.11), però des del punt de vista de les ciències té una gran importància com a expressió d'una determinada manera d'entendre el funcionament del món.

Vivim en un planeta de dinàmica complexa, però ja des de les èpoques més antigues s'ha observat que hi ha una sèrie de processos, com són els canvis estacionals, els moviments planetaris, les mareas o els cicles vitals dels organismes, que tenen unes característiques especials. Són un

conjunt de canvis que se succeeixen d'una manera ordenada al llarg del temps i que tornen en algun moment a les condicions inicials.

cicle m 11 Període de temps en què s'acompleixen una sèrie d'esdeveniments o fenòmens fins a arribar a un des del qual tornen a produir-se en el mateix ordre. *El cicle de les hores*. 2 cicle litúrgic LITÚRG. 3 cicle lunar CRON. 4 cicle solar CRON. 2 1 FÍS Sèrie de fases i de canvis efectuats segons una successió ordenada, mitjançant la qual un mecanisme, una substància o un sistema són obligats, periòdicament o no, a tornar a llurs condicions inicials. Moltes màquines o un conjunt de màquines lligades entre elles treballen segons uns cicles definits. 2 cicle biològic (o vital) BIOL. 3 cicle d'erosió GEOMORF. 4 cicle econòmic ECON. 5 cicle termodinàmic TERMO. 3 MOT Sèrie d'operacions efectuades pels gasos operants al cilindre i que es repeteixen periòdicament. 4 Sèrie d'actes celebrats dins un any acadèmic, un curs, etc. 5 BIOL Ritme. 6 BOT 1 Verticil. 2 En fil.lotaxi nombre de membres d'una espira generatriu. 7 FÍS part d'un fenomen periòdic que té lloc durant un període. 8 FON Unitat aplicada a la fonètica acústica que afecta a l'amplitud i la freqüència dels sons. 9 LIT Conjunt de tradicions èpiques sorgides entorn d'una mateixa època o d'un personatge històric o llegendari. 10 QUÍM Anell. 11 cicle fonològic LING. 12 cicle sintàctic LING.

Figura 2.11. Definició de cicle a l'Enciclopèdia Catalana.

La constatació d'aquestes regularitats i la voluntat científica d'establir models ha portat a la idea de cicle, cosa que ha ajudat a avançar a la ciència, ja que ha permès representar aquests canvis periòdics al llarg del temps. Canvis que, d'altra banda, porten a l'equilibri i a la conservació i, per tant, permeten fer prediccions: el dia que començarà la primavera, quan la collita estarà a punt.

El conjunt de canvis així representats han acabat formant una entitat estable: el cicle.

Els canvis cíclics porten a l'equilibri i a la conservació. En contraposició a aquests trobem els canvis irreversibles, com són el desenvolupament d'un organisme, l'evolució biològica o el modelat del relleu, que afavoreixen la dispersió i l'increment de la diversitat (García, 1998).

Cicle ve de la paraula llatina *cyclus*, que alhora prové de la paraula grega *kuklos*, que significa *cercle*. Originàriament el terme va ser definit per les matemàtiques, però va anar prenent un significat dinàmic dins el domini de les ciències de la natura, quan des de la cosmologia es va considerar un cicle com el període durant el qual es produïa el retorn d'uns determinats fenòmens astronòmics. A partir d'aquí, per les altres ciències, un cicle passa a ser una successió de fets o de fenòmens que presenten una certa periodicitat en l'espai o en el temps i que constitueixen les etapes d'una evolució des d'un estat inicial fins a un estat final (Haguenaer, 1991).

Però, sovint, quan es parla de cicle no es compleixen totes les condicions esmentades anteriorment i el terme *cicle* ha acabat englobant qualsevol successió de fenòmens sense caràcter obligatori de

periodicitat i, així, ara es pot definir com una successió de fenòmens que constitueixen les etapes d'una evolució des de l'estat inicial fins a un estat final sense caràcter periòdic.

La consideració actual de la *Terra com a sistema* ens permet interpretar-la com un conjunt de subsistemes interrelacionats, interactuants i interdependents entre els quals es mou matèria i energia més o menys continuament, en un flux que segueix trajectòries interconnectades (Bach, Brusi i Domingo, 1988). Els elements o subsistemes del sistema Terra (geosfera, atmosfera, hidrosfera, biosfera i esfera social) estan en contínua interacció i un canvi en un d'aquests té la capacitat de produir canvis en tots els altres. Darrerament s'ha afegit l'esfera social als subsistemes de la Terra ja que s'ha reconegut l'indubtable acció transformadora del planeta per part de la humanitat.

De les moltes interaccions que es poden establir en un sistema, ens centrarem en els cicles de la matèria, considerats com la sèrie de fases i canvis efectuats segons una successió ordenada, i a través de la qual la qual una substància o un sistema evoluciona al llarg del temps, tornant en algun moment a les condicions inicials per les quals va passar en una etapa anterior. El cicle de l'aigua, el cicle de les roques, el cicle del carboni, són exemples de models cíclics que la ciència utilitza per visualitzar determinats fluxos (Brusi, 2001).

El concepte de *cicle* sembla, doncs, fonamental per ajudar a la comprensió de la dinàmica del nostre planeta. Així, molts dels problemes medi ambientals es poden interpretar com interrupcions o desequilibris en el funcionament dels cicles naturals o normals de la Terra.

Cal destacar que els models cíclics són una manera de mirar i de representar fenòmens amb una clara intenció d'explicar-los i d'interpretar-los; per tant, són una representació de la realitat i així cal considerar-los. A més, la imatge gràfica, un cercle tancat, amb el qual solen associar-se, afavoreix la idea de connexions precises i d'ordre, és a dir, una representació de la realitat molt simplificada i limitada. Per això hi ha alguns sectors de la comunitat científica que proposen revisar-ne l'ús o parlar d'espivals per descriure alguns dels processos naturals tradicionalment representats per cicles (Bach i Brusi, 1990). Malgrat tot, els cicles continuen essent models conceptuals útils per representar i resumir aspectes dinàmics del món, tant en l'espai com en el temps.

Gould (1987) en el seu llibre *Time's arrow, Time's cycle* fa una reflexió sobre la influència de la concepció que es té del temps en l'explicació dels fenòmens naturals. Explica que Sigmund Freud afirmava que cada branca de la ciència havia fet alguna contribució a la reconstrucció del pensament humà i que cada pas en aquest dolorós progrés suprimia una faceta més de l'esperança original sobre la importància transcendent de l'home en l'univers: "Humanity has in course of time had endure from the hand of science two great outrages upon its naive self-love. The first was when it realized that our earth was not the center of universe, but only a speck in a world-system of a magnitude hardly conceivable [...]. The second was when biological reseach robbed man of his particular privilege of having been specially created and relegated him to a descent from the animal world" (Gould, 1987:1).

I tot això, sense saber els darrers coneixements genètics que ens informen que els humans tenim pocs gens més que un ratolí.

Però Freud es va oblidar, segons Gould (1987) del gran fre imposat per la geologia en descobrir el temps geològic. Com pensar en la importància de la humanitat si l'aparició humana se situaria en el mil·limicrosegon final d'un període de temps incomprendiblement llarg?

El concepte de *temps* se situa en una dicotomia: temps lineal o temps circular o cíclic. El temps lineal considera la història com una seqüència irreversible d'esdeveniments irrepetibles. Cada moment ocupa la seva pròpia posició en una sèrie temporal i tots els moments considerats en la seva seqüència ens expliquen una història d'esdeveniments encadenats que es mouen en una direcció. Des del punt de vista físic, el temps té una direcció: els processos naturals es produeixen d'una certa manera i no són reversibles en el temps. A l'altre extrem, el temps cíclic considera els estats fonamentals immanents en el temps, sempre presents i que mai canvien. Els moviments aparents són parts de cicles que es repeteixen i els esdeveniments no tenen significat com a episodis independents. Segons aquesta concepció, el temps no té direcció.

Aquestes visions del temps tenen repercussions importants. I així per exemple el principi de l'uniformitarisme formulat per Lyell (1830, 1833), que afirma que les lleis naturals són constants en el temps i en l'espai i que els processos que actuen avui són suficients per explicar el passat, està incorporant aquesta visió de temps cíclic.

Conclusió

Les ciències descriuen molts fenòmens en termes de comportament cíclic. Aquests comportaments cíclics poden ser representats de diferents maneres: com una successió temporal d'esdeveniments o com les transformacions que afecten una determinada entitat al llarg del temps, com el cicle de les roques o el cicle de vida d'un organisme.

La característica que permet reconèixer un comportament cíclic en la natura i que fa que es representi com un cicle és el fet que, tant si és una seqüència d'esdeveniments com si són les transformacions d'una entitat, sempre es retorna a l'esdeveniment o al lloc on s'ha iniciat. Per aquest motiu els comportaments cíclics es representen amb la imatge d'un cercle tancat, per expressar la seva naturalesa "tancada".

■ 2.3.2 El cicle: un contingut escolar?

El contingut actual de les ciències comporta conceptes i relacions que la humanitat ha abstret de l'observació de fenòmens naturals al llarg de segles.

Quan ens plantegem quin són els continguts bàsics en ciències, la polèmica està servida. Alguns autors (Karplus, 1978, García, 1998, Arca, 1993) suggereixen que la programació de l'ensenyament de les ciències es faci a partir d'uns conceptes anomenats *estructurants* o també *generals*, *transversals* o *metadisciplinars*

El concepte de *cicle* és presentat en algunes d'aquestes propostes com un concepte estructurant o metadisciplinar. D'aquí aquesta breu reflexió a l'entorn d'aquest tipus de continguts escolars.

Els conceptes estructurants, transversals o metadisciplinars són aquells conceptes bàsics a partir dels quals poden construir-se els que són específics d'una disciplina o d'una àrea cultural; conceptes bàsics que, al mateix temps, actuen com principis orientadors comuns a altres disciplines.

Assumir que hi ha nocions transversals o metadisciplinars implica acceptar l'existència de semblances fonamentals entre els diversos sistemes existents, siguin físics, biològics o socials. Aquesta semblança deriva de la seva natura sistèmica i per tant complexa. Integrada amb multitud de factors interrelacionats que fan que sigui difícil preveure la seva evolució i, sobretot, que impedeixen un coneixement satisfactori des de perspectives reduccionistes, com són les anàlisis que es puguin fer des del camp estricte de cada disciplina.

La història de la ciència mostra que aquesta sovint progressa per transferència d'idees entre camps de coneixement separats. Així s'arriben a crear noves especialitats com ara la bioquímica, la neurolingüística..., o especialitats interdisciplinars com les ciències de la salut o les ciències medi ambientals.

Segons García (1998), els conceptes metadisciplinars compleixen una sèrie de característiques:

- Són conceptes integradors que es basen en la complementarietat dels temes oposats: diversitat/unitat, sistema/parts...
- S'originen en buscar el que tenen en comú els sistemes físics, biològics i socials.
- No són categories lògiques generals que s'adquireixen en el propi procés maduratiu biològic, sinó que són productes culturals que poden orientar el procés d'instrucció. És a dir, són un marc de referència per a la programació
- Es poden utilitzar com a organitzadors previs a la introducció de coneixements nous i permeten afrontar un nombre infinit de casos diversos mitjançant instruments comuns, amb la qual cosa s'economitzen recursos de pensament i de memòria.

Aquesta última idea ens porta a considerar la importància d'ensenyar conceptes estructurants per aconseguir una de les finalitats de l'educació: la transferència o la capacitat d'aplicar el coneixement adquirit en un context, com pot ser la classe de ciències, a altres temes i situacions.

Quan es parla de la introducció dels conceptes estructurants en la programació s'observa la gran disparitat de conceptes estructurants que proposen els diferents autors. A continuació comentarem algunes d'aquestes propostes.

Els conceptes metadisciplinars que es proposen en el projecte IRES (Investigación y Renovación Escolar) són: diversitat, interacció, sistema, canvi i reorganització permanent. D'aquests comentarem el de canvi, ja que és el que recull la idea de cicle.

Segons els autors del projecte IRES, la noció de canvi és un concepte íntimament unit a la pròpia organització dels sistemes materials. Els canvis es refereixen a les transformacions dels objectes que es donen en l'espai i en el temps. En alguns canvis la transformació només suposa

desplaçament o canvi de posició, mentre que en d'altres canvia la pròpia naturalesa de l'objecte.

L'organització dels sistemes té un caràcter dinàmic, de manera que els sistemes estan en un procés de transformació contínua. Però en aquesta transformació hi ha dos tipus de processos temporals: els processos cíclics lligats al manteniment de l'estabilitat i els processos evolutius, singulars i irreversibles, lligats a la dispersió i a l'increment de la diversitat.

Seguint amb aquesta idea, els canvis de la naturalesa d'un objecte poden ser reversibles i irreversibles (García, 1998). Els canvis reversibles són aquells en els quals es pot tornar a l'estadi inicial; això passa amb els fenòmens naturals cíclics i periòdics (ritme estacional, mareas, moviments planetaris, cicle de l'aigua, cicle de les roques, cicles vitals, cicles biogeoquímics...) o amb les reaccions químiques. Els canvis irreversibles són aquells en els quals no es pot tornar a l'estat anterior: modelat del relleu, desenvolupament d'un organisme, canvi conceptual, dinàmica de poblacions, evolució biològica, canvis socials...

García proposa que, més que parlar de dos tipus de canvis, s'hauria de parlar de dos components del canvi: component cíclic i component històric. I, segons predomini, un o l'altre, hi haurà canvis cíclics i reversibles, o canvis progressius i irreversibles (Morin, 1977 i 1980). D'aquí sorgeix la proposta, apel·lant a la precisió, de parlar de processos en espiral ja que en qualsevol esdeveniment natural sempre hi ha una dimensió històrica. El temps irreversible està fet d'esdeveniments singulars i únics; el reversible, de repeticions idèntiques. L'espiral és a la vegada la transformació en alguna cosa nova i la reiteració de l'anterior (Morin, 1980).

El projecte SCIS (Science Curriculum Improvement Study) (Karplus, 1978) proposa uns conceptes bàsics en ciències que estructurin d'una banda les ciències físiques i de l'altra les ciències de la vida. Aquests conceptes són els que es mostren en el quadre de la figura 1.12.

Karplus tria la interacció com a concepte central del programa de ciències per a l'escola elemental. Entén per *interacció* la relació entre objectes i organismes que exerceixen una influència recíproca i originen així un canvi que en alguns casos es pot considerar cíclic.

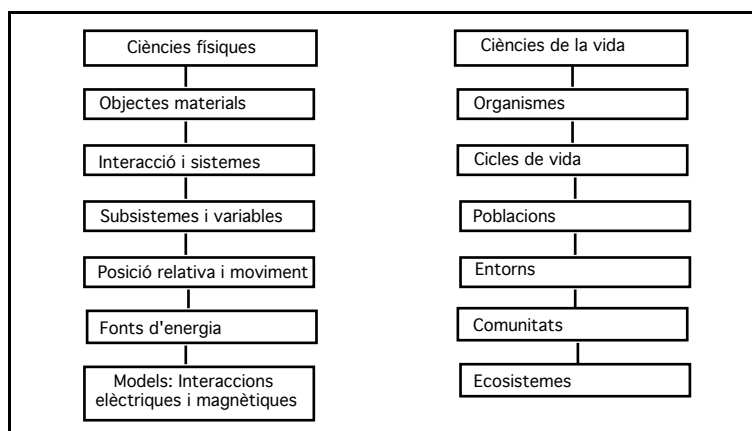


Figura 2.12. Conceptes proposats pel projecte SCIS.

En el cas dels éssers vius, Arcà *et al.*, (1995) proposa cinc punts de vista que s'haurien de tenir presents quan es parla de qüestions inherents a la vida: la unitat dels éssers vius, la diversitat, l'organització en parts, el canvi en el temps i la interacció amb l'ambient.

Els canvis de qualsevol ésser viu en el temps és el que ens porta al concepte de *cicle vital*. Tot ésser viu té una manera pròpia de canviar en el temps, la qual presenta aspectes comuns (encara que mai idèntics) amb els dels altres éssers vius semblants a ell i mostra profundes diferències amb altres maneres de canviar que caracteritzen éssers vius molt diversos. És fàcil adonar-se dels canvis que es verifiquen en la vida de cada individu. El procés en la realitat és continu, però se sol subdividir en estadis successius: naixement, creixement, desenvolupament, maduresa i vellesa. La durada i el ritme dels cicles vitals i dels seus estadis són bastant diferents entre els organismes: de pocs dies a centenars d'anys.

En tot cicle vital hi ha un canvi doble en el temps: el lineal i el cíclic. Així, en la successió lineal i que pot ser representada per un conjunt d'episodis relacionats amb cadenes rectilínies s'incorpora la idea i la representació cíclica quan es vol reflectir que aquests canvis es produeixen de manera recurrent al llarg del temps.

Hi ha cicles, com el de l'aigua, el de la matèria, el del CO₂, el dels materials que formen les roques, que es donen en un sistema tancat, és a dir, no hi ha cap aportació exterior. En aquest tipus de cicle, si ens imaginem una gota d'aigua, una molècula de CO₂, un mineral, podem seguir-los per tot el cicle, el que varia és el temps de permanència en algun estadi del cicle. En aquest cicle hi ha una conservació.

Altres cicles són un conjunt de canvis ordenats; per exemple, un cicle vital d'un organisme, que pot començar amb un gàmeta masculí o un gàmeta femení per obtenir un ou o embrió que passarà per diferents etapes: infant, jove, adult (mascle), adult (femella), i tornarà a començar. El retorn, que indiquem sovint amb una fletxa representa una abstracció, és una manera de representar que torna a passar el mateix, no essent res exactament el mateix. Es repeteix el mateix sense ser el mateix organisme.

El cicle vital dels organismes, amb les fases de naixement, creixement, desenvolupament i mort, s'insereix en els cicles biogeoquímics i, malgrat considerar que les relacions que s'estableixen entre els components biòtics i abiòtics són de naturalesa diferent, hi ha clares interrelacions.

De forma natural, les transformacions de la matèria es desenvolupen segons cicles tancats. Els cicles més significatius serien: el cicle de les roques, el cicle de l'aigua, el cicle del carboni i el cicle del nitrogen; alguns d'aquests cicles semblen referir-se sobretot a relacions entre elements abiòtics i altres, a elements biòtics.

En les representacions separades dels cicles es pot reflectir no sols la transformació de la matèria, sinó també les transferències d'energia, els temps de permanència en les diverses fases del cicle, etc. Ara bé, la presentació separada dels cicles no ha de presuposar la independència de funcionament, ja que els diversos cicles s'encreuen entre si, funcionen simultàniament i amb estretes interrelacions. Per aquest motiu, avui ja no es parla de cicles biològics i de cicles geològics sinó de cicles biogeoquímics, per tal d'evidenciar aquestes interconnexions.

Conclusió

El comportament cíclic pot ser comú a sistemes diversos, siguin físics, biològics o socials. Si des de ciències es treballen aspectes comunicatius i conceptuals en relació amb el que és un cicle s'estan donant recursos que podran ser aplicats i transferits a altres àrees i en situacions cada vegada més complexes.

■ 2.3.3 El cicle. Afavoreix maneres de pensar complexes

A nivell escolar considerem molt important la representació de processos en forma de cicles perquè afavoreixen maneres de pensar o de raonar pròpies de la ciència.

D'una banda, la successió ordenada de fenòmens que generalment representa un cicle afavoreix la capacitat d'anàlisi dels alumnes i el fet que hi hagi un retorn o una repetició desenvolupa la seva capacitat de síntesi (Haguenauer, 1991).

Si en treballar un procés cíclic ens fixem en:

- les fases o estadis que el componen,
- els canvis que es donen entre un estadi i el següent,
- les causes d'aquests canvis,

estem afavorint la capacitat d'anàlisi de l'alumnat. I també la capacitat de síntesi, ja que busquem les regularitats, la conservació i l'estabilitat que reflecteix un canvi cíclic.

La imatge gràfica, un cercle tancat, a la qual solen associar-se els cicles, fa pensar en un ordre i en connexions precises, però en realitat les relacions entre els diferents estadis són molt més complexes i múltiples. Aquesta és una altra idea potent: constatar que els cicles no són una seqüència lineal causa-efecte de fenòmens, sinó que en els processos que representem hi ha canvis simultanis, canvis reversibles, interaccions, petits cicles dins d'un gran cicle...

L'ús dels cicles té avantatges i inconvenients. Un dels inconvenients és la clara diferència que hi ha entre la facilitat amb què l'aprenent assumeix el concepte visual de cicle i la gran dificultat que comporta reflexionar i comprendre cadascuna de les parts. Un dels avantatges és que hi ha informació relacionada amb un cicle, com són les relacions espacials i temporals entre les diferents fases o les relacions de les parts amb el tot, que és molt més fàcil de comunicar amb la representació gràfica que amb el text.

Una característica dels cicles és que normalment ens comuniquen la informació utilitzant conjuntament el llenguatge verbal i el llenguatge visual. Considerem de gran interès el concepte de *cicle* com a possibilitador de l'estudi de la relació entre el llenguatge verbal i el llenguatge visual quan es vol comunicar algun fet, fenomen o procés, i per a la construcció de models.

Conclusió

La representació de processos en forma de cicles permet desenvolupar la capacitat d'anàlisi i de síntesi de l'alumnat. Alhora, permet aprofundir en les relacions que s'estableixen entre el llenguatge verbal i el llenguatge visual a l'hora de comunicar significat.

■ 2.3.4 El cicle de l'aigua. Un model explicatiu

Els models i les teories són constructes culturals que la ciència ha ideat per anar donant sentit als fenòmens de la naturalesa. Són potents perquè expliquen moltes coses.

Entenem que la ciència és un procés de construcció humana que té la voluntat de resoldre problemes o d'explicar les situacions que es donen al nostre voltant.

L'observació dels fenòmens del nostre entorn planteja preguntes, que han portat a buscar respostes o explicacions. Per tant, el procés de construcció de la ciència és una relació dinàmica entre un sistema físic, on observem una sèrie de fenòmens que ens plantegen preguntes, i les explicacions o models que permeten donar respostes a aquestes preguntes o explicar els fets observables (figura 2.13).

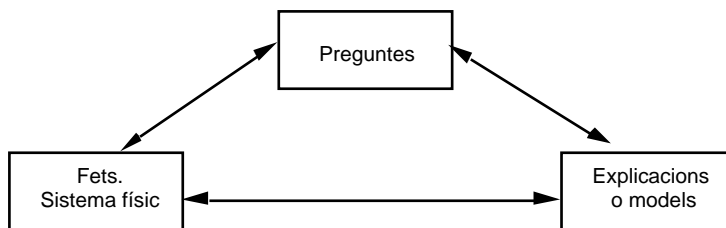


Figura 2.13. Relació dinàmica entre el món natural, les preguntes que planteja i les explicacions o models.

En la mesura que la realitat planteja noves preguntes que no poden ser explicades pels models o les teories vigents, aquests han d'anar canviant.

En la comunicació científica, sigui a través del llibre de text o del discurs a l'aula, es tendeix a ensenyar la ciència com si fos l'estudi directe de la natura, enlloc de l'estudi del que les persones han pensat i han dit sobre ella. Si totes les afirmacions que comuniquem són del tipus "l'evaporació és un canvi d'estat", "la quantitat d'aigua es conserva", no es transmet gens la idea de la intervenció humana, dels debats o les controvèrsies

que han calgut per arribar a qualsevol formulació acceptada. Humanitzar l'ensenyament de les ciències, saber que la ciència avança a partir del treball de persones concretes, pot ser important per aconseguir que els nois i les noies es facin una millor representació del que és la ciència i puguin desenvolupar així una major consciència de la seva pròpia implicació.

El cicle de l'aigua es presenta com un model que explica els fenòmens i canvis que es donen en el nostre entorn en relació amb l'aigua. En el cicle de l'aigua conflueixen d'una banda, la idea de cicle amb tota la complexitat que comporta i, de l'altra, la idea de model considerat com l'explicació dels fenòmens naturals i el resultat d'un procés històric.

El cicle de l'aigua és un model cíclic d'uns fenòmens naturals relativament propers a l'alumnat i és un tema present en el currículum de diferents nivells educatius, si bé de manera essencialment descriptiva.

El cicle de l'aigua explica fenòmens molt propers a l'alumne, però cal tenir en compte que hi intervenen diferents tipus de processos: uns de visibles i força coneguts per l'alumnat, com poden ser la precipitació o la circulació superficial, i altres de invisibles i amb certes dificultats de comprensió, com poden ser el paper del vegetals en el cicle o el de les aigües subterrànies. Les causes dels canvis també poden ser intuïtives, com la calor del sol, o més desconegudes, com la força de la gravetat. A més, els fenòmens es poden explicar a nivell microscòpic o macroscòpic.

En alguns casos, l'estudi del cicle de l'aigua pot ser només la incorporació d'una imatge visual, és a dir, la imatge d'un recorregut de l'aigua amb diferents estadis relacionats amb fletxes, sense fer una reflexió sobre cadascun d'aquests estadis. I, així, l'alumnat incorporarà la idea de l'evaporació, la condensació, la precipitació, la circulació superficial, la circulació subterrània, com fases que se succeeixen i que tenen un ordre i una dinàmica, però no farà cap connexió amb preguntes que podrien formular-se en la vida quotidiana i que es podrien respondre si el cicle es presentés realment com una representació del sistema natural i que ens permetés explicar-ne el funcionament.

L'ensenyament del cicle de l'aigua en els diferents nivells educatius sol fer-se d'una manera totalment sistematitzada, és a dir, d'una manera clara, lògica i coherent. És una manera eficaç d'ensenyar-lo, però es considera el cicle de l'aigua com un fenomen aïllat, amb la dificultat posterior d'usar-lo per interpretar problemes medio ambientals o de repartiment de recursos.

Les característiques que creiem bàsiques a l'hora de definir les característiques del cicle de l'aigua són:

- *Circulació d'aigua* en el cicle de l'aigua aquesta està en moviment.
- *Canvis d'estat*: en el cicle de l'aigua es produeixen *canvis d'estat* de l'aigua.
- *Retorn*: en el cicle de l'aigua els canvis o fluxos se succeeixen sense interrupció i de manera contínua: són canvis periòdics.
- *Conservació*: en el cicle de l'aigua la quantitat global d'aigua es conserva.

El cicle de l'aigua que s'explica actualment a les escoles i als centres de secundària és un "model" que no va sorgir de cop i volta. Abans d'aquest model hi va haver diferents explicacions o teories que van ser discutides fins que al segle XVIII, a partir de dades experimentals i quantitatives, es van establir les bases del que actualment entenem per *cicle de l'aigua*.

Conclusió

El cicle de l'aigua, el podem entendre com un model que explica uns fets quotidians, com són la pluja o les fonts. Aquests fets han originat al llarg de la història de la humanitat moltes preguntes del tipus: d'on ve l'aigua de la pluja?, com és que el mar no augmenta de nivell?, com és que els rius tenen aigua quan no plou? Les respostes a aquestes preguntes s'han anat trobant a mesura que s'han anat analitzant els fenòmens, les relacions entre aquests, els diferents canvis i les diferents causes que els provoquen, i s'han fet balanços, s'ha mesurat i s'ha quantificat el volum d'aigua de la Terra.

■ 2.3.5 Evolució històrica del cicle de l'aigua

L'aigua que trobem en diferents indrets en la natura no s'està quieta, sinó que va fluïnt d'un lloc a un altre. És ben observable, per exemple, que els rius desemboquen als mars, però els mars i oceans no augmenten de nivell! «El sol s'aixeca, el sol es pon, corrent cap al seu lloc, d'on torna a alçar-se. Se'n va cap al migjorn i gira cap al nord; voltes i més voltes fa el vent, i encara torna a giravoltar. Tots els rius corren al mar, i el mar no s'omple, i continuen anant sempre al mateix lloc» (Eclesiastès, 1:5-8).

Per tant, és necessari explicar el mecanisme de retorn de l'aigua des del mar fins a les fonts que originen els rius. Actualment aquest retorn és conegut i interpretat d'una manera clara i consensuada per la comunitat científica: és el que coneixem com el *cicle de l'aigua*.

Però no sempre s'ha explicat d'aquesta manera. Així, fent un repàs històric a aquesta problemàtica, trobem moltes opinions.

Els primers que consta que es van plantejar aquest problema van ser els grecs, al segle VI aC. La part atmosfèrica del cicle de l'aigua, és a dir, el pas de l'aigua dels mars, els rius i els llacs a vapor, per efecte de l'escalfor del sol, i el seu posterior pas de l'atmosfera a la Terra en forma de precipitacions, pluja, neu, etc., no sembla que fos motiu de preocupació o de discussió per als antics pensadors grecs. És la part subterrània del cicle la que comporta problemes d'interpretació, sobretot en relació amb l'origen de l'aigua que surt de les fonts i omple els rius.

Als grecs, quan observaven el gran volum d'aigua que els rius abocaven al mar, els costava creure que l'aigua de la pluja fos suficient per subministrar aquesta gran quantitat d'aigua. S'ha de pensar que en aquella època encara no es coneixia l'extensió de superfície terrestre coberta per l'aigua dels oceans, ni s'havia fet cap tipus de càlcul de la quantitat d'aigua que s'evaporava de la superfície del mar, dels rius, etc. I també s'ha de pensar en les característiques del terreny càrstic on vivien. Probablement per això, es preguntaven quin era l'origen de les aigües que sortien de les fonts i que en alguns casos originaven grans rius. A continuació s'exposen algunes de les seves explicacions.

2.3.5.1 Els escriptors clàssics

Tales de Milet (640-546 aC) va imaginar que l'aigua dels oceans arribava fins a l'interior de les roques per l'acció del vent, de manera que la pressió que exercien les roques mateixes i el vent la feia ascendir i sortir de nou a la superfície en forma de fonts.

Els antics pensadors grecs eren de l'opinió que els corrents d'aigua sortien d'un o de molts llacs que hi havia a l'interior de la Terra.

Anaxàgores (500-428 aC) i Plató (429-347 aC) imaginaven que a l'interior de la Terra hi havia una immensa cova plena d'aigua en moviment continu i que d'aquí sortien tots els rius i també hi tornaven.

La principal objecció al punt de vista que les fonts i els rius surten d'aquest gran dipòsit soterrani, és que, per molt gran que fos aquesta reserva d'aigua, finalment es quedaria seca o buida, si no es trobés algun camí pel qual les aigües poguessin tornar a aquest dipòsit.

La visió d'Aristòtil (384-323 aC) del món és important per entendre la seva explicació del cicle de l'aigua.

Aristòtil pensa que la matèria és permanent i es presenta sota quatre aspectes diferents, que són objecte d'una *transmutació circular*. Aquests quatre elements (l'aigua, l'aire, la terra i el foc) ocupen volums concèntrics: el més interior és la terra, l'element més pesant, que està envoltada per l'aigua, aquesta per l'aire i després hi ha el foc, l'element més lleuger. Per damunt hi ha les esferes que arrossegueu circularment els astres. La revolució celeste acosta i allunya periòdicament el sol, les partícules de foc del qual conquereixen les regions de l'aire i de l'aigua i creen les estacions. I la revolució del sol determina una generació i una corrupció circulars, una transmutació cíclica periòdica dels elements que es van transformant: la terra en aigua, l'aigua en aire, l'aire en foc i el foc en terra.

Aquesta transmutació d'uns elements en uns altres, ideada per Aristòtil, s'explica per causes materials actives, la calor i el fred, i causes passives, la sequedat i la humitat. I més concretament, per la transformació d'aquestes qualitats en els elements: el fred i la sequedat, qualitats de la terra, poden passar a fred i humitat, qualitats de l'aigua, la corrupció de la qual engendra calor i humitat, qualitats de l'aire, del qual poden néixer la calor i la sequedat, qualitats del foc. Les qualitats dels elements són la causa de la seva alternança ininterrompuda.

La transmutació circular permet a Aristòtil explicar diferents fenòmens terrestres, entre aquests el cicle de l'aigua. Les seves opinions sobre aquest tema són al el llibre *Dels Meteors*.

Segons Aristòtil, l'aigua del mar s'evapora, el vapor d'aquesta exhalació esdevé aire, l'aire es condensa en aigua i forma núvols, que es convertiran en pluja que passa a la terra. Però la pluja no és suficient per explicar tota l'aigua de la Terra. En la terra també l'aire es condensa i produeix aigua, i la terra mateixa es transforma en aigua, l'aigua brolla de les fonts i torna al mar.

Aristòtil creu que una part de l'aigua que flueix de la terra per les fonts prové de la pluja que s'ha format per la condensació de l'aire en aigua a l'atmosfera, cau en forma de pluja i entra dins de la terra i en torna a

sortir, com si fos una esponja. Però amb aquesta aigua no n'hi ha prou i pensa en altres mecanismes d'obtenció d'aigua: "No podem negar sense ser absurds que l'aire esdevé aigua a l'interior de la Terra en virtut de la mateixa causa que ho fa a l'exterior. Si a sobre de la Terra el fred fa condensar l'aire vaporós en aigua, hem de suposar que el fred, dintre de la Terra, produeix el mateix efecte, i reconèixer que no només existeix i flueix, aigua formada realment, sinó que l'aigua s'està formant contínuament" (*Les Metereològiques* 64).

Aristòtil no creu que les precipitacions atmosfèriques per si mateixes puguin mantenir els grans cabals soterranis ni siguin suficients per fer fluir els grans rius. És a dir, que si bé creu que una part de l'aigua de pluja s'infiltra en el subsòl i circula per les coves profundes, també creu que l'aigua subterrània circula des del mar per un complicat sistema d'obertures i de coves, com en una gran esponja, i que el vapor d'aigua que hi emana en "canviar-se" en aigua, és el que aporta la major part d'aigua a les fonts.

Sèneca (3 aC - 65 dC) de l'escola dels estoics, hereus de Plató, coincideix amb Aristòtil a considerar impossible que només sigui l'aigua de la pluja la que surt per les fonts. Pensa que és la mateixa terra que es canvia en aigua i així s'assegura un subministrament continu d'aigua als rius. Aquesta aigua al llarg del temps tornarà a ser terra, així tots els elements mantenen la proporció necessària i la natura preserva els seu equilibri. "We Stoics are satisfied that the earth is interchangeable in its elements" (Sèneca, *Quaestiones Naturales* Citat per Adams, 1954:431).

Sèneca en el seu llibre *Cuestiones naturales* (*Quaestiones Naturales V-X*) resumeix les teories plantejades fins a aquell moment en relació amb l'origen de les fonts. Exposava cinc explicacions, malgrat que només accepta les dues primeres:

- L'aigua del mar torna per camins amagats a la terra, cap a les fonts, és filtrada en passar i perd la salinitat.
- Les fonts han estat engendrades per la pluja que la terra recull al seu interior. Els rius s'alimenten d'aquelles.
- L'aire acumulat i estancat en zones profundes de la terra està sotmès a condicions que l'obliguen a transformar-se en aigua.
- Els rius sorgeixen d'un dipòsit subterrani d'aigua dolça i immòbil.

- Hi ha una transmutació perpètua entre elements: la terra també es converteix en aigua.

La primera teoria planteja dos problemes greus: l'elevació de l'aigua des del nivell del mar fins als cims de les muntanyes i la pèrdua de la salinitat.

En relació amb la primera qüestió, hi havia qui a partir de l'observació de la línia de l'horitzó considerava que el mar estava a un nivell més elevat que les muntanyes i per tant no existia el problema. Van ser molts els autors que van proposar mecanismes que permetien pujar l'aigua des del nivell del mar fins als cims de les muntanyes. Entre aquests destaca Kircher, les idees del qual s'exposaran més endavant.

Respecte a la pèrdua de la salinitat de l'aigua del mar, la resposta donada durant molt temps va ser que l'aigua del mar, en travessar les estretes fissures que comunicaven amb l'interior de la terra, deixava les partícules de sal, molt més grosses que les de l'aigua, retingudes a la terra i així l'aigua salada s'anava filtrant i esdevenia aigua dolça.

Aquesta explicació va quedar desestimada quan mitjançant mètodes experimentals es va demostrar que l'aigua no es podia separar de la sal per filtració.

2.3.5.2 L'edat mitjana

A l'edat mitjana, l'església catòlica ocupava un lloc important en la vida intel·lectual europea. L'autoritat de les sagrades escriptures és inqüestionable, així que ningú discutia que el mar fos la font de tots els rius i les fonts, tal com deia l'Eclesiastès.

Ristoro d'Arezzo (naturalista nascut a Arezzo, Toscana) va ser un dels primers escriptors que va parlar sobre els fenòmens naturals de l'edat mitjana. Va escriure *La composizione del mondo* (1282 o abans), on defensava una circulació contínua d'aigua que anava des del fons del mar, passava per canals amagats dins la terra fins als cims de les muntanyes i baixava de nou fins al mar. Anomenava *La virtut dels cels* l'energia que permetia que l'aigua del mar pugés a través dels porus de la terra. Aquesta "virtut" actuava sobre l'aigua d'una manera similar a com un imant atrau el ferro.

La medicina del Renaixement considerava l'home (microcosmos) com un resum del cosmos (macrocosmos). Però, d'altra banda, descrivia la

natura a partir del coneixement de l'anatomia humana. Això és el que fa Leonardo da Vinci (1452-1519) en relació amb les fonts: "El cos de la Terra, com el dels animals, està travessat per xarxes de venes totes lligades entre si i fetes per donar vida i aliment a la terra i a les seves criatures. Provenen de les profunditats del mar i, després de nombrosos cicles, hi han de tornar pels rius que formen les seves venes en sorgir a la superfície" (*Codex Hammer* 4 A, foli 33 vers, citat a Gohau, 1987).

Athanesius Kircher, jesuïta alemany, va escriure el llibre *Mundus Subterraneus* el 1678, que tractava sobre totes les coses que hi ha dins de la Terra. En aquest llibre presenta una teoria sobre l'origen de les fonts, els rius i les aigües minerals. En el prefaci del llibre, Kircher explica com ha aconseguit el material per escriure'l. Relata que estava fent un viatge per Calàbria, Sicília i les illes Lipari, quan hi va haver un terratrèmol (era el març del 1636) que va provocar una gran destrucció de la regió. Aquesta demostració de l'enorme energia de les forces de la natura va despertar-li el desig de penetrar els misteris de l'interior de la Terra.

Davant la impossibilitat de visitar tots els llocs del món on es produïen fenòmens semblants, va començar a escriure's amb els membres de la seva orde, que estaven repartits per tot el món i dels quals va obtenir molta informació.

Kircher manté que en el fons del mar hi ha forats que comuniquen amb passatges subterranis que porten fins als cims de les muntanyes i que l'aigua del mar passa per aquests conductes fins a arribar a unes grans coves que hi ha dins les muntanyes. Des de les muntanyes, l'aigua flueix cap als rius o les fonts i fa el seu camí per la superfície de la Terra fins a tornar al mar.

A la pregunta de com l'aigua pot pujar des del nivell del mar fins al cim de les muntanyes, essent aquest comportament contrari a la naturalesa de l'aigua, Kircher proposa una sèrie d'instruments o d'enginyers que permeten aconseguir aquest efecte, i opina que no hi ha raons per creure que en la natura no es donin condicions semblants a les que ell exemplifica amb les màquines. Així, alguns dels aparells que proposa són: un tub llarg en forma de *U* amb un braç més llarg que l'altre; aquest tub llarg és omplert fins a un nivell superior al nivell del braç curt, que està tapat amb un diafragma flexible. Quan el diafragma és pressionat cap avall, l'aigua del tub llarg encara puja més amunt.

En la natura es donen situacions similars. Per exemple, quan la marea dels oceans puja, a causa de l'atracció de la lluna, l'aigua del mar

s'amuntega en uns llocs i exerceix un augment de pressió sobre el fons, el qual provoca que en qualsevol dels forats del fons que comunica amb els passatges subterranis l'aigua que hi ha al seu interior sigui forçada a pujar cap amunt fins a l'interior de les muntanyes. Les marees actuen provocant un augment de pressió, igual que el diafragma del tub en forma de *U*, i donen com a resultat l'ascensió de l'aigua. També creia que els vents sobre els oceans tenien un paper important en aquest augment de pressió. La seva representació de l'interior de la Terra és d'una multitud de passatges subterranis, creats per la Divina Saviesa i col·locats allí amb un propòsit concret, igual que en el cos humà, on les venes i les artèries porten la sang a través del cos per acomplir el propòsit per al qual han estat creades.

En el seu llibre proposa molts dibuixos, un dels quals és una secció ideal d'una regió muntanyosa i del marge del mar adjacent (figura 2.14). En el mar apareixen una sèrie de remolins que marquen la posició d'aquestes obertures en el fons del mar, a través de les quals surt l'aigua del mar. Cadascun d'aquests forats comunica amb un canal subterrani que condueix a una cova que està al cim d'una muntanya. Del terra d'aquestes coves surt l'aigua, que forma el corrent d'un riu o una font.

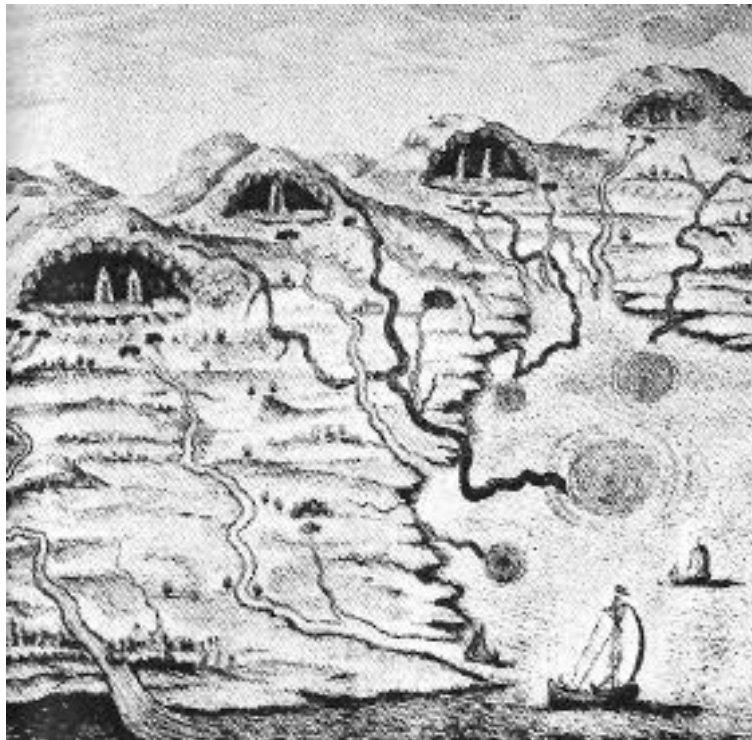


Figura 2.14. Secció d'una regió muntanyosa segons Kircher.

Kircher, però, proposa encara una altra força que actua en l'elevació de les aigües: el foc. No totes les coves que hi ha a l'interior de la Terra estan plenes d'aigua, n'hi ha algunes que estan plenes de foc. El gran foc que hi ha al centre de la Terra comunica a través de fissures i passatges amb aquestes coves plenes de foc. D'aquestes, n'hi ha que són molt profundes en la terra i d'altres que són més superficials. D'aquestes, a vegades, surt el foc a la superfície i produeix els volcans; en altres llocs el foc no arriba a sortir a l'exterior, però escalfa l'aigua de les coves adjacents.

Parlarem ara de Johannes J. Becher (*Chemisches Laboratorium* 1653), que compara el procés que passa a l'interior d'una muntanya amb allò que passa al laboratori quan s'utilitza un alambí per destil·lar.

Becher pensa que l'aigua del mar passa a través del sòl de l'oceà cap a una gran cavitat que ocupa el centre de la Terra; allà és vaporitzada i s'escapa en totes direccions cap a la superfície. El vapor puja més fàcilment a través de les muntanyes, perquè són més cavernoses que la resta de l'escorça terrestre; les muntanyes altes estan cobertes de neu i de gel i el fred és molt intens, i és aquest fred el que fa condensar el vapor i el converteix en aigua, a l'igual que passa amb l'alambí, i és aquesta aigua la que surt a la superfície i forma els rius que corren pendent avall.

Aquesta opinió que l'aigua del mar d'alguna manera troba el seu camí a través de la Terra i és destil·lada a les muntanyes, a l'igual que en un alambí, i a les coves fredes condensa, apareix de manera repetida al llarg del segle XVI i començament del XVII.

Encara que Pierre Perrault, germà del fabulista, és considerat el pare de la hidrologia amb el seu llibre *De l'origine des fontaines* (1674), té un predecessor important en Bernard de Palissy (1514-1589), que publica a París l'any 1580 el tractat *Discours admirable de la nature des eaux et Fontaines, tant naturelles qu'artificielles, des métaux, dels sels & salines, des pierres, des terres, du feu & des émaux*. El llibre està escrit en francès, en forma de diàleg entre dues persones, Pràctica i Teoria, i és sempre Pràctica qui instrueix a Teoria.

En aquest llibre tracta diferents temes relacionats amb l'aigua: aigües calentes, aigües salades, focs soterranis, consells pràctics per captar i purificar l'aigua de les fonts naturals, etc. Tots són importants, però voldriem destacar la seva afirmació: «Les fonts no tenen altre origen que les aigües de pluja infiltrades». Palissy descarta totalment que sigui l'aigua del mar la que alimenta les fonts. Alguns dels arguments que sobre aquest fet dona són: «Si el mar és qui allesta amb els seus pits les

fonts de l'univers, no podria ser que s'asseguessin els mesos de juliol, agost i setembre, temps en el quals un nombre infinit de pous s'assequen» (citats a Ellenberger 1989:117). «Et dic com a norma general i certa que les aigües mai no puguen més que les fonts de les quals procedeixen», segueix dient, «encara que el mar fos tan alt com les muntanyes (Palissy ho nega), les aigües del mar no podrien anar fins a les parts més altes de les muntanyes, d'on procedeixen les fonts. Perquè la terra està plena en molts llocs de forats i abismes pels quals l'aigua que vingués del mar sortiria a la plana, pels mateixos forats, fonts o abismes que trobarà» (citats a Ellenberger, 1989:117).

Segons Palissy la pluja que cau sobre les muntanyes és la que alimenta les fonts que hi ha en aquestes: «Les roques retenen les aigües de pluja com ho faria un recipient de coure. I aquestes aigües, caient sobre les muntanyes a través de la terra i els forats, baixen sempre i no es paren mai, fins a trobar algun lloc enfortit de pedra o roca ben condensada: i llavors s'acumulen sobre aquest fons i quan troben algun canal o obertura, surten en forma de font o en forma de rius i torrents, segons la mida de l'obertura i del receptacle (citats a Ellenberger, 1989:117).

Palissy fa una aportació important en la mesura que representa l'aparició de la ciència empírica i trenca de manera clara amb les actituds especulatives dels escriptors medievals. La seva manera d'enfocar el problema es basa en els fets que observa en la natura. Observacions que d'altra banda podria fer qualsevol persona preocupada pel funcionament de la natura. Les propostes de Palissy permetran a Perrault clarificar de manera definitiva els mecanismes de circulació de l'aigua en la natura.

2.3.5.3 La importància de la quantificació i l'experimentació

No serà fins al segle XVII que Pierre Perrault (*De l'origine de les fontaines*, 1674), convençut que les aigües de les pluges són suficients per fer brollar les fonts i alimentar els rius tot l'any, demostrarà experimentalment aquest fet. Perrault té l'encert de fer un bon plantejament del problema i de disposar d'uns mitjans tècnics que li permeten dur a terme de manera precisa el seu disseny experimental.

Fa els seus càlculs a la conca del Sena, des del naixement fins a Aignay-le-Duc, i calcula que la conca té una superfície de 121,50 quilòmetres quadrats. Després determina la quantitat mitjana d'aigua que plou en aquesta àrea anualment durant tres anys (1668, 1669, 1670) i troba que és de 520 mil.límetres. Ho arrodoneix a 500 mil.límetres i fa el següent raonament: si tota la pluja que cau en aquesta àrea s'hi quedés i no en

marxés gens per evaporació o d'alguna altra manera, al final de l'any la regió estaria coberta per una capa d'aigua d'uns 50 centímetres, cosa que representaria un volum de 60.750.000 metres cúbics. Després calcula la quantitat d'aigua que surt de la zona, mesurant la quantitat que passa a través del canal del Sena a Aignay-le-Duc cada any, i troba que és de 10.000.000 metres cúbics, cosa que representa una sisena part de la pluja caiguda.

Perrault demostra, per mitjà de l'experimentació i la quantificació, que l'aigua de pluja és suficient per omplir sis vegades el Sena i que no calen, per tant, mecanismes per fer pujar l'aigua del mar fins a les muntanyes, per tal d'originar les fonts i els rius.

Uns anys més tard, Edme Mariotte, prior de St. Martin-sous-Beaume, a la Borgonya, en el seu llibre *Traité du mouvement des eaux et autres fluides* editat el 1700, fa una investigació més extensa agafant la totalitat de la conca del Sena per damunt de París. En aquest cas, l'àrea és de 60.356 quilòmetres quadrats. Considera la quantitat d'aigua de pluja de 40 centímetres per any i obté una precipitació anual de 24.142.400.000 metres cúbics. El càlcul de la quantitat d'aigua transportada pel Sena en passar per París és de 3.553.056.000 metres cúbics, i obté així que la pluja és sis vegades, quasi set, més alta que la descàrrega del riu. A més, si la pluja es considerava de 50 centímetres, llavors la precipitació seria quasi vuit vegades més gran que la descàrrega del riu.

Aclarit aquest aspecte, sorgeix ara una nova pregunta: com és que els rius porten aigua quan no plou? Per respondre aquesta pregunta és molt important el treball que va fer Edme Mariotte. A partir de l'observació que de les fonts sortia més aigua quan plovia, va comprendre que durant les fortes pluges l'aigua no corria únicament, per sobre el terreny, sinó que també es filtrava en el sòl fins que tornava a sortir a la superfície a través de les fonts. Hi havia, per tant, una circulació subterrània.

Mariotte va mesurar el valor de la infiltració de l'aigua en el subsòl en un soterrani de l'observatori de París. Va comprovar que aquesta infiltració variava en funció de les pluges igual que el cabal de les deus. Va arribar a la conclusió que les fonts podien estar perfectament alimentades a partir de l'aigua de la pluja que s'infiltrava en el subsòl.

Com a conseqüència del fet que l'aigua triga un cert temps a moure's a través de les roques del subsòl, comença a emanar per les fonts un cert temps després que hagi plogut (i les deus poden seguir brollant encara que faci molt temps que no hagi plogut). Aquest "endarreriment" serveix

perquè les aigües subterrànies proporcionin als rius durant tot l'any un "flux basal".

Conclusió

Les recerques de Perrault i Marriotte van establir definitivament que la pluja caiguda en qualsevol zona era suficient per proporcionar l'aigua que portaven els rius. La formulació d'una bona pregunta, d'un disseny experimental encertat, d'unes mesures precises per poder quantificar el que per a alguns començava a ser evident, va permetre establir les bases del que es coneix avui com *el cicle de l'aigua*. La circulació de l'aigua, que en els primers temps va ser explicada d'una manera qualitativa, ja que eren les qualitats dels elements (aigua, aire, terra, foc) les que provocaven els canvis, es podia explicar ara d'una manera convincent. Amb la quantificació i la matematització s'obtenia un *model* que permetia interpretar els fenòmens naturals i, sobretot, possibilitava fer previsions.

■ 2.3.6 Visió actual del cicle de l'aigua. La Terra com a sistema

La consideració actual de la *Terra com a sistema* ens permet interpretar-la com un conjunt de subsistemes interrelacionats, interactius i interdependents entre els quals es mou matèria i energia més o menys contínuament, en un flux que segueix trajectòries interconnectades (Bach, Brusi i Domingo, 1988).

En el sistema Terra la major part d'aigua està emmagatzemada als oceans (97%); la resta està repartida per ordre decreixent entre la criosfera, els pols, els icebergs i les geleres (2%), les aigües subterrànies, els mars interiors, els llacs d'aigua dolça, la humitat del sòl, l'atmosfera, els rius i els organismes vius (Marsily, 1995).

La figura 2.15 mostra una representació esquemàtica del cicle de l'aigua.

La branca atmosfèrica del cicle està directament relacionada amb el clima i està associada a processos d'escala espacials molt variats. Per exemple, els processos d'evaporació i de condensació són d'escala local, mentre que la circulació general o d'evaporació i de precipitació s'equilibren i són de l'ordre d'un metre d'aigua per any. El magatzem d'aigua atmosfèrica és, si es tenen en compte aquests fluxos, molt petit. Correspondria, si es repartís sobre tot el planeta, a una capa líquida d'uns 2,5 cm. D'aquí es dedueix que el temps de residència (el temps de residència és igual al magatzem d'aigua dividit pel flux) d'aigua a

l'atmosfera és molt curt, de l'ordre de deu dies. Aquest temps mitjà comporta que els moviments de l'aigua a l'atmosfera siguin ràpids.

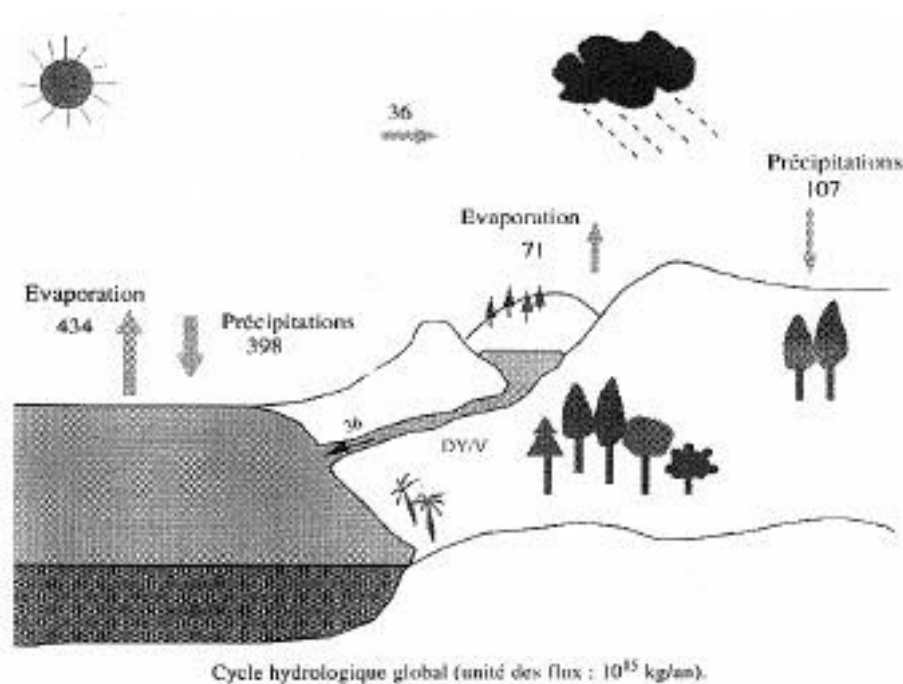


Figura 2.15. Representació esquemàtica del cicle de l'aigua, extreta de Rosnay (2000).

A l'escorça, l'aigua està localitzada superficialment: a les glaceres, icebergs i pols (en estat sòlid) i als pantans, llacs, mars interiors i embassaments (estat líquid). També trobem aigua emmagatzemada subterràniament, la que forma els aqüífers.

A la superfície terrestre, la contribució dels oceans i dels continents al cicle hidrològic és molt diferent. Als oceans, l'evaporació és superior a la precipitació. Això provoca un flux, a l'atmosfera, dels oceans als continents. Els oceans, que ocupen un 70% de la superfície de la Terra, són els responsables del 86% de l'evaporació total d'aigua del planeta.

L'evaporació continental és un element essencial del cicle hidrològic. Contràriament als oceans, les superfícies continentals presenten una gran variabilitat espacial que influeix de manera complexa en els intercanvis entre la superfície i l'atmosfera. El cicle de l'aigua es caracteritza per moviments d'aigua relativament lents, que impliquen escales temporals més llargues que a l'atmosfera. La quantitat d'aigua evaporada i transpirada per la vegetació depèn de l'energia solar disponible a la superfície.

2.3.6.1 La importància de parlar de balanç

El terme *balanç hídric* reflecteix la relació entre les aportacions d'aigua– precipitacions– i les sortides –evapotranspiració– i les descàrregues superficials o subterrànies –escorrentia subterrània o superficial.

Si es considera el total del planeta:

. evaporació als oceans	434 x 10 ³ km ³
. evapotranspiració als continents	71 x 10 ³ km ³
. precipitacions sobre els oceans	398 x 10 ³ km ³
. precipitacions sobre els continents	107x10 ³ km ³

El balanç global és 0, ja que l'evaporació total és equivalent a la precipitació total, malgrat haver-hi un dèficit de precipitació sobre els oceans (-36 x 10³ km³) i un superàvit de la mateixa magnitud (+36 x 10³ km³) sobre els continents. Aquest excés de precipitació sobre el continent és retornat als oceans mitjançant les escorrenties superficial i subterrània.

Aquest balanç global a nivell del sistema Terra també es compleix a escala local, com pot ser en conques hidrogràfiques. Això permet la contextualització de la dinàmica hídrica en uns sistemes naturals més pròxims o restringits, com poden ser les conques hidrogràfiques, i així ajudar a pal·liar les dificultats que el cicle de l'aigua imposa (Bach i Brusi, 1988, 1990; Membiela, Nogueiras i Suárez, 1993).

Entendre el funcionament del balanç hídric a nivell de conca facilita parlar de l'aigua com d'un recurs i així afrontar el tema de la gestió d'aquests recursos en el marc de les grans conques hidrogràfiques. La creació d'opinió a l'entorn de la polèmica actual en relació amb el Pla Hidrològic Nacional (PHN), que proposa la transferència de recursos d'una conca a una altra és pot començar a treballar, pot començar amb una visió sistèmica dels recursos hídrics.

2.3.6.2 El cicle de l'aigua a nivell de conca hidrogràfica

La consideració de la Terra com a sistema ha introduït canvis en la manera d'aproximar-se a l'estudi de la natura, i aquests canvis també s'haurien de traslladar al sistema educatiu.

En aquesta línia és la proposta que fa Bach (2001) quan planteja l'estudi del cicle de l'aigua a nivell de sistema conca hidrogràfica. En el model que proposa, el balanç hídric, pretén visualitzar tots els fluxos que es produeixen en el sistema conca, tant en condicions naturals com amb la intervenció humana.

Les entrades d'aigua al sistema (sigui global o conca) corresponen a les precipitacions (P), malgrat que en alguns casos es pugui considerar l'entrada d'aigua procedent d'altres conques. Amb relació amb aquesta entrada d'aigua s'estableixen tres processos de resposta possible (figura 2.16):

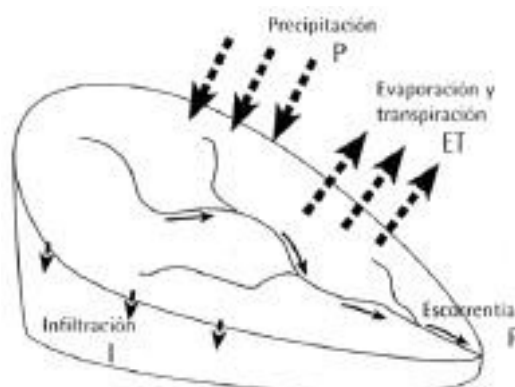


Figura 2.16. Cicle de l'aigua en una conca. Bach (2001).

- Una part circula per la superfície cap a la xarxa de drenatge i les zones d'aigua lliure (mars i rius). Es tracta de l'escorrentia superficial (R).
- Una altra part travessa la superfície del terreny, entra en el sòl i en el subsòl i alimenta les aigües subterrànies: es tracta de la infiltració (I).
- Una part torna de nou a l'atmosfera en forma de vapor, principalment per evaporació de la superfície del sòl, a causa de l'efecte de la temperatura i la transpiració associada a la vegetació. L'evaporació i la transpiració s'agrupen en un sol terme, l'*evapotranspiració* (ET).

Aquesta dinàmica implica una igualtat entre les entrades i les sortides, de manera que pot representar-se amb l'equació $P = ET + R + I$.

Aquesta visió del cicle és una primera aproximació a la dinàmica real de la conca hidrogràfica molt més complexa. Per tenir-ne una visió més pròxima a la realitat caldria considerar molts més fluxos. Per exemple, les aigües que s'infilten i arriben als aquífers i les que circulen per l'interior d'aquests i tornen a aflorar a les fonts o en els rius. Per tant, cal considerar la conca hidrogràfica com un sistema en el qual s'estableixen uns fluxos d'entrada, uns de sortida i també uns fluxos interns que interrelacionen els fluxos i magatzems d'aigües superficials amb les subterrànies.

Conclusió

L'estudi del cicle de l'aigua a partir de la visualització dels fluxos que s'estableixen entre els diferents magatzems d'aigua en la natura porta a la idea de balanç hídric. La concreció de l'estudi del balanç hídric a nivell de conca permet, a partir de la consideració de l'aigua com un recurs, aproximar-se al coneixement de les característiques excedents o deficitàries de les conques hidrogràfiques i promoure l'ús i la distribució responsable dels recursos hidrològics.

2.4 Els llibres de text: un text multimodal

“També te vull preguntar de ahont ve l’aygua de la pluja. Tu diràs que tu la veus càurer de l’ayre. Però, ¿de ahont hi és pujada? Dir que l’ayre se converteix en aygua no es crehible, perquè jamay se ha vist que lo ayre que està dins de un vas se convertesca en aygua, de qualsevol manera que estiga lo vas, o sia soterrat, o sia exposat a l’ayre, o sia en hivern, o sia en estiu.”

Baldiri, Reixac (c.1750), *Instruccions per a l’ensenyança de minyons*, tom II

En aquest apartat es faran primer unes consideracions generals sobre els llibres de text, les maneres d’analitzar el llenguatge escrit i visual i la relació que s’estableix entre els dos modes, per passar a comentar els canvis detectats en aquells en els últims anys, i finalment un breu repàs a com es presenten els cicles en els llibres de text.

■ 2.4.1 Algunes consideracions en relació amb el llibre de text

El llibre de text és un mediador més de la comunicació entre el professor i l’alumnat en qualsevol aula i, en concret, a l’aula de ciències. Quan s’ensenya i s’aprèn s’usen una gran quantitat d’entorns comunicatius entre els quals hi ha la lectura i l’estudi del llibre de text. Jiménez i Perales (2001) afirmen que la utilització del llibre de text continua essent una de les principals vies de transmissió de la ciència escolar a les nostres aules, malgrat els intents fets des de les administracions educatives, des de l’àmbit de la recerca en didàctica de les ciències experimentals o des dels col·lectius de professorat mateixos, per incorporar a la pràctica docent la multiplicitat de recursos disponibles. La realitat demostra que el llibre de text és el recurs més àmpliament usat i acceptat –a vegades l’únic– pels membres de la comunitat educativa.

Els llibres de text són el discurs públic acceptat, recullen tot allò que es coneix en relació amb com funciona el món i s’hi troba el consens en

relació amb els aspectes que es consideren importants en una determinada branca de la ciència (Sutton, 1998).

Els llibres de text ens presenten els fets del món interpretats per la ciència; s'hi creen entitats científiques a partir de les definicions, els gràfics, les fórmules, etc. Això permet presentar el complex món real d'una manera que sigui "pensable" o que tingui sentit per al lector. El perill, segons Izquierdo (2000) és que el llibre de text, en lloc de ser una representació del món, acabi suplantant-lo.

Sutton (1998) considera que en els llibres de text trobem el producte final d'un procés d'assimilació, que s'inicia amb les idees i declaracions d'individus concrets i que esdevenen coneixement públic consensuat i adquireixen la categoria de "Fets".

Els llibres de text, doncs, són importants per a la ciència, com a recull i consens dels coneixements acceptats. Hi ha opinions que manifesten que, malgrat la seva importància científica, poden no ser òptims des del punt de vista educacional, en considerar que el tipus de llenguatge que usen i la manera com presenten la ciència, sobretot el paper dels humans en la seva evolució, poden comunicar als lectors una visió de la ciència que l'allunyi cada vegada més dels seus interessos, fent que no trobin cap connexió entre les concepcions i inquietuds personals respecte al món i els coneixements científics que apareixen en els llibres.

Les causes d'aquest deslligam poden ser diverses, una, expressada per Sutton (1998), és que els aprenents arriben a la lectura del llibre de text sense haver experimentat cap de les incerteses o controvèrsies que han permès arribar a aquest producte final, i, així, per a una majoria de l'alumnat les idees de la ciència no seran mai les seves idees ni una eina pel seu pensament quotidià: això fa que es vegi la ciència només com a "informació" especialitzada i que la seva reacció sigui d'indiferència i de desinterès.

Un altre aspecte que cal destacar és que per mitjà dels llibres de text l'alumnat entra en contacte amb el llenguatge científic. El discurs científic que apareix en els llibres de text pot condicionar tant la seva concepció del que és la ciència com la manera d'expressar-se científicament.

Martin (1993) opina que els llibres de text són el lloc principal on els alumnes es posen en contacte amb les diferents tipologies de llenguatge científic escrit. Com que generalment a les classes de ciències no s'ensenya a escriure, els alumnes aprenen llegint els llibres de text. Així,

el discurs científic que apareix en els llibres condiona de forma fonamental la manera en què els alumnes s'expressen científicament. Considera que el que no ha anat bé en el desenvolupament dels llibres de text dels últims anys és que amb l'objectiu de fer la ciència més accessible s'ha rebaixat el discurs científic. Si se simplifica el discurs científic, necessàriament se simplifica la ciència que s'està ensenyant i, segons la seva idea, la ciència és impensable sense el llenguatge tècnic i especialitzat que ha desenvolupat per construir la seva visió alternativa del món.

La manera com s'escriu la ciència també contribueix que els lectors tinguin una visió distorsionada d'aquesta.

D'acord amb diferents autors, la ciència és una activitat que necessàriament usa diferents modes semiòtics: llenguatge, matemàtic, visual. La ciència com a cultura s'expressa i es comunica per mitjà dels textos i no podria ser compresa sense aquests.

Els llibres de text són considerats textos multimodals, és a dir, creen nous significats a partir de la integració de diferents modes semiòtics (Halliday 1978; Kress i Van Leeuwen 1996; Kress i Ogborn 1998; Lemke 1998a). L'eficàcia d'aquests textos multimodals dependrà de com s'integren els diferents modes semiòtics.

Així mateix, i tal com afirmen Izquierdo i Rivera (1997), un llibre de ciències és un text i ha de complir, per tant, els requisits d'aquest tipus de comunicació: ha d'estar estructurat d'acord amb la seva finalitat, ha de progressar sense perdre la connexió amb els referents externs, i ha de ser coherent i per aconseguir els seus objectius també ha de ser convincent.

Conclusió

Segons el que s'ha dit fins ara, els llibres de text són clau en la imatge que es dona de la ciència als lectors i gran part d'aquesta visió està condicionada per les característiques del llenguatge que s'usa. Això porta a la poca involucració i motivació de l'alumnat cap a temes científics, aspecte imprescindible perquè es produeixi aprenentatge. Els llibres de text són importants per a la ciència, ja que recullen el consens en relació amb una determinada branca del saber, ara bé, no han de ser l'experiència predominant a la classe, on el més important ha de ser la reorganització de les idees. La lectura del llibre de text hauria de ser una de les activitats finals, proposades pels professors, en el procés d'ensenyament-aprenentatge.

■ 2.4.2 Tipologies de textos didàctics

Es consideren textos didàctics (Prat, 1998) els textos que s'utilitzen a l'aula per ensenyar i aprendre; per tant, són els que s'adrecen als estudiants i els que elaboren els estudiants.

A partir d'aquesta definició, els llibres de text es poden considerar textos didàctics en la mesura que són usats a l'aula per ensenyar i aprendre.

La consideració del llibre de text com un text multimodal fa que a l'hora d'intentar definir unes tipologies de textos didàctics calgui analitzar aspectes relacionats amb el mode lingüístic, el mode visual i les relacions entre aquests. A continuació es comuniquen algunes aportacions en relació amb possibles criteris que cal tenir en compte a l'hora de plantejar una anàlisi dels llibres de text.

2.4.2.1 Anàlisi lingüística d'un text didàctic

Una de les maneres de plantejar-se l'anàlisi dels textos didàctics, des del punt de vista lingüístic, del currículum escolar és partir de la reflexió dels requisits que haurien de complir per assolir la funció que se'ls assigna: ajudar, donar suport, col·laborar i participar en la construcció de coneixement. Prat (1998) proposa fixar-se en dos requisits que entén que són bàsics:

- Característiques del text didàctic que faciliten o dificulten la lectura i la comprensió.
- L'atenció de l'autor del text al destinatari, que inclou oferir-li un món sobre el qual pot pensar.

La lectura d'un text didàctic té més o menys dificultat i no només pel fet que tracta temes poc coneguts dels alumnes, sinó també per la manera en què l'autor estructura aquest text. Es podria considerar adequat un text didàctic si sap alternar la informació nova amb la coneguda, de manera que el lector pugui establir connexions entre els diferents conceptes per accedir finalment a la idea que ha mogut l'autor a fer aquell text. Mentre es va llegint, s'ha de poder anar elaborant aquest significat. És una operació que té més o menys complexitat segons l'habilitat de l'autor per construir el text relacionant i cohesionant les diferents idees que s'hi expressen.

La facilitat de comprensió d'un text augmenta si l'autor ha tingut en compte les característiques del destinatari. Això vol dir que, al llarg de l'exposició d'un tema, ha d'establir una mena de diàleg amb els lectors amb referències contínues a les seves experiències i tenint sempre en compte les seves capacitats de comprensió.

A partir d'aquestes idees, l'anàlisi dels textos es pot fer prenent com a base els conceptes següents: *macroestructura*, *microestructura* i *superestructura* del text i *atenció al destinatari*, tal com es defineix a continuació:

Segons la interpretació que fa Prat (1998) de la proposta de Van Dijk (1989), la *macroestructura* fa referència al significat global del text, a la idea a què s'arriba un cop s'ha llegit complet; és la síntesi del discurs. Van Dijk considera que un conjunt d'oracions únicament compon un text si aquestes posseeixen una *macroestructura* o sigui, si aquell pot ser resumit en unes idees bàsiques.

L'accés a la informació d'un text, però, no es fa globalment. Un text escrit es compon de paraules i d'oracions que expressen idees relacionades entre si formant un entramat molt cohesionat, en què la informació ja donada o coneguda i la nova es combinen de tal manera que facilita que el lector pugui seguir sense dificultat la progressió del tema i arribi a la comprensió global. Aquesta progressió de la informació és el que constitueix la *microestructura*. La *microestructura* es refereix a les connexions entre les proposicions i a la coherència de les frases.

La *superestructura* té a veure amb el format o l'organització del text, és a dir, amb les relacions entre els idees. Van Dijk (1989) l'entén com un esquema convencional que estableix l'ordre global del text. La superestructura és l'estructura formal del text, que es va omplint amb el contingut que aporta la macroestructura.

La superestructura d'un text està estretament relacionada amb la intenció comunicativa d'aquest i permet caracteritzar el tipus de text (narratiu, expositiu, descriptiu, argumentatiu...). En relació amb els textos didàctics, com que la seva intenció és ensenyar, la seva superestructura estarà relacionada amb aquesta finalitat. Per aquest motiu la superestructura més freqüent en aquest tipus de text és la que té com a finalitat informar i ampliar els coneixements del lector i a la qual hi ha acord a anomenar *expositiva*.

Els textos expositius presenten un tema, el desenvolupen i arriben a una conclusió (Aznar *et al.*, 1991) i, segons Meyer (1985), això s'aconsegueix

mitjançant una de les cinc formes bàsiques següents: problema/solució, causalitat, comparació, descripció i col·lecció, entenent que aquesta classificació es refereix a l'organització general, ja que evidentment en un text poden coexistir diferents organitzacions, però sempre n'hi ha una que predomina, en el sentit que és la que recull la part més important de la informació.

Les dades que s'obtenen a partir de l'anàlisi d'aquests elements poden ajudar a l'hora de valorar la validesa dels textos didàctics com a suport al treball de ciències per a un grup d'alumnes.

L'altre aspecte que s'ha de tenir en compte és l'atenció al destinatari. Ja hem dit que un text didàctic té com a funció elaborar coneixement. Segons les teories constructivistes, el coneixement es construeix a partir del contrast o diàleg amb un mateix i amb els altres, que porta a una reestructuració del saber i, en molts casos, a un saber nou. Els textos didàctics han de tenir en compte el destinatari perquè compleixin la funció d'ajuda en la construcció d'aquest coneixement. Si es pensa en el destinatari, l'autor s'ha de plantejar a cada moment les dificultats que pot trobar el lector. En general, aquesta atenció es manifesta mitjançant l'ús de sinònims o d'explicacions de les paraules que es consideren clau, l'ús de comparacions, les referències constants al lector per apel·lar als seus coneixements, el reforç de les relacions entre les idees, o sigui, una implicació constant i un tipus d'estructuració que permet un bon seguiment dels alumnes.

2.4.2.3 Anàlisi de la composició global de la pàgina

Segons el marc desenvolupat per Kress i Van Leeuwen (1996), fortament influenciat per Arnheim (1984), la col·locació i distribució d'elements en una imatge els dota d'importància específica a l'hora de comunicar informació. Aquesta dependrà de la posició que ocupin els diferents elements en la imatge: a la dreta o a l'esquerra, a dalt o a baix, al centre o als marges.

Analitzant l'emplaçament dels elements representats, la mesura en què destaquen del fons i la presència o absència de mecanismes d'enquadrament, es pot veure que la composició crea divisions i oposicions, destaca algun element i en posa d'altres en segon terme, determina el diàleg que s'estableix entre els participants representats i entre aquest i l'observador. Aquesta anàlisi no es refereix únicament als elements representats en la figura, sinó també a la relació de la figura amb la resta d'elements que l'envoltin, sigui un text escrit, una gràfica o

una fórmula matemàtica. Per tant, es pot aplicar a aquells textos que comuniquen significat per mitjà de més d'un mode comunicatiu, és a dir, als textos multimodals.

Segons Kress i Van Leeuwen (1996) les composicions visuals i els textos multimodals poden estar estructurats segons l'eix horitzontal, que donarà lloc a "CONEGUT i NOU: el valor informatiu de l'esquerra i la dreta", l'eix vertical que donarà lloc a "IDEAL i REAL: el valor informatiu del DALT i el BAIX" i el centre i els marges. Cadascuna d'aquestes composicions confereix un valor informatiu diferent als elements representats. A continuació es fa un breu repàs del significat dels tres tipus de composicions.

a) CONEGUT i NOU: el valor informatiu de l'esquerra i la dreta

Quan les composicions visuals fan un ús significatiu de l'eix horitzontal, col·locant de manera expressa elements a la dreta i a l'esquerra, els col·locats a l'esquerra són presentats com *conegut* i els de la dreta, com *nou*.

La funció de *conegut* significa que la informació és presentada com alguna cosa que el que mira ja sap, li és familiar. És també una manera de començar el missatge. La funció de *nou* significa que la informació es presenta com alguna cosa que encara no es coneix i en la qual cal fixar-s'hi.

Una estructura similar existeix en la llengua anglesa, en l'estructura informativa de la frase (Halliday 1985). En aquest cas, les funcions de *conegut* i *nou* es realitzen en la fonologia, perquè es marquen (i es refereix a l'anglès) amb una entonació determinada. Es pot considerar que hi ha una gran similitud entre l'estructura seqüencial del llenguatge i l'estructura horitzontal de les composicions visuals.

Kress i Van Leeuwen (1996) observen que en la composició de moltes revistes l'espai de *conegut* és ocupat pel text escrit, mentre que l'espai de *nou* sol estar ocupat per una o més imatges.

Els conceptes de *conegut* i *nou* també es poden aplicar al disseny de diagrames. En aquest cas sovint el significat de l'element representat a l'esquerra és seqüencial i indica "abans".

Aquesta estructura *conegut-noues* pot aplicar a textos més amplis, com llibres o revistes. Kress i Van Leeuwen (1996) ho centren en el cas de les revistes i arriben a algunes de les conclusions següents: és diferent una

revista que posi els anuncis a la part esquerra (conegut) i els articles a la dreta (nou), composició amb la qual la revista es presenta com a interessant pels materials editorials i articles que aporta, més que no pas pels anuncis, d'una revista que posi els anuncis a la dreta, que són presentats com a "nou", cosa que indica que la revista considera que la seva aportació són els productes que ofereix, com un índex de l'estil de vida i de l'estatus dels seus lectors, més que no pas la seva tasca editorial.

b) IDEAL i REAL: el valor informatiu del dalt i el baix

Kress i Van Leeuwen (1996) també analitzen els anuncis de les revistes que estan organitzats al llarg de l'eix vertical. En aquests anuncis la part superior mostra "el que el producte promet", mentre que en la part inferior es visualitza el producte i es dona informació concreta d'aquest. Consideren que la part superior fa una crida "emotiva" i mostra "el que pot ser", mentre que la part inferior és més informativa i pràctica i mostra el "que és".

En altres contextos, l'oposició entre el *dalt* i el *baix* pot adquirir altres valors. En alguns llibres de text podem trobar que la part superior de la pàgina és totalment verbal (presenta afirmacions generalitzables i definicions) i que la part inferior ofereix evidències de les afirmacions que s'han fet a la part superior (per exemple, mostra un mapa que ofereix dades específiques i detallades).

El valor informatiu del *dalt* i el *baix*, segons la proposta de la gramàtica visual, es podria resumir de la manera següent: en una composició visual, els elements que ocupen la part superior són presentats com a informació *ideal* i els que ocupen la part inferior com a informació *real*. *Ideal* significa informació essencial i per això més destacada. *Real*, al contrari, presenta una informació més específica (detalls), més concreta (fotografies, mapes o gràfics) i més pràctica.

Tot això que es comenta per a les imatges també pot estructurar les relacions entre el text escrit i les imatges. Si la part superior de la pàgina està ocupada pel text escrit i la inferior per una o més fotos (o mapes, gràfics o diagrames), es pot considerar, aplicant els criteris de la gramàtica visual, que el text escrit té el rol de principal i les imatges tenen un paper subordinat (que és important com a especificació, evidència o conseqüència pràctica). Si és a la inversa, és a dir, si una o més imatges ocupen la part superior, llavors la part fonamental del missatge és comunicada visualment i el text escrit serveix per complementar-la.

c) El valor informatiu del centre i els marges

Les composicions visuals també poden estar estructurades en relació amb el *centre* i els *marges*. Aleshores es col·loca un element al mig (centre), i els altres al voltant d'aquest (marges). El *centre* és presentat com el nucli de la informació i els altres elements són subordinats a aquest. En molts casos els marges són idèntics o molt similars, cosa que dóna a la composició una certa simetria.

El conegut-nou i real-ideal es poden combinar amb el centre i els marges dividint l'espai visual de manera que en resulti una creu, un símbol espacial important en la cultura occidental (figura 5.13):

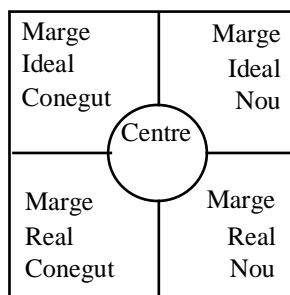


Figura 5.13. Les dimensions de l'espai visual.

2.4.2.4 Anàlisi de les relacions entre els modes comunicatius

Jiménez (1998), en l'anàlisi de les relacions en els llibres de text entre el text escrit i les il·lustracions que l'acompanyen estableix tres tipus de categories. Considera que la relació és connotativa quan el text escrit descriu els continguts sense mencionar la seva correspondència amb els elements inclosos en la il·lustració o el diagrama. La relació és denotativa si el text escrit estableix la correspondència entre els elements de la il·lustració i els continguts representats. Exemple: "A la figura pot veure ...". Finalment, la relació és sinòptica quan el text escrit descriu la correspondència entre els elements de la il·lustració i els continguts representats de manera que la representació gràfica i el text escrit formen una unitat indivisible.

2.4.2.5 Anàlisi del mode visual. Característiques de les il·lustracions

La informació visual, concreta o abstracta, és utilitzada per les persones per reflexionar i actuar en el món.

Un aspecte fonamental de la comunicació és la veracitat que atorguem a la informació, a la seva fiabilitat. El terme *modalitat* prové de la lingüística i fa referència a la credibilitat de les afirmacions que es fan sobre el món. Aquest concepte és igualment vàlid en relació amb la comunicació visual i Kress i Van Leeuwen (1996) desenvolupen aquesta idea en la gramàtica visual.

Culturalment hem establert uns factors, els marcadors de la modalitat, que ens guien respecte a la fiabilitat de la informació comunicada. Per exemple, “sabem” que una fotografia no menteix i que un reportatge és més fiable que una història.

Des del punt de vista de la semiòtica social, la veritat, per a un determinat grup social, prové dels valors i les creences d'aquest grup. Cada grup social defineix els marcadors de modalitat que definiran els seus “estàndards de realitat”, és a dir, els valors que aquest grup considera com a signes de fiabilitat de la informació.

Des del punt de vista del naturalisme, la veritat es defineix a partir de la correspondència entre la representació visual de l'objecte i allò que nosaltres normalment veiem de l'objecte a ull nu (en la pràctica, en la resolució d'una fotografia feta amb un objectiu de 35 mm).

El realisme científic, d'altra banda, defineix la realitat basant-se en com són genèricament o regularment les coses. Considera els detalls i les diferències individuals efímeres i no s'atura en allò que no pot ser observat a ull nu, és a dir, investiga més enllà de les aparences visuals dels objectes. En altres paraules, la realitat pot estar en els ulls del qui mira, però l'observador té un entrenament cultural i pertany a un determinat grup social.

Kress i Van Leeuwen (1996) defineixen uns marcadors de modalitat que poden ser útils a l'hora de descriure les imatges; fan una proposta general que nosaltres concretarem per tal d'analitzar les il·lustracions dels llibres de text. Els seus marcadors de modalitat són:

L'ús del color (saturació, diferenciació)

Contextualització, amb una escala que va des de l'absència de fons fins a un fons amb tot tipus de detalls. Des del punt de vista naturalista, l'absència de fons fa baixar la modalitat. La falta de context fa que la situació representada esdevingui genèrica, ja que no estableix lligams amb una localització concreta i amb un moment en el temps específic.

Representació, amb una escala que va des de la màxima abstracció fins al màxim detall pictòric.

En relació amb aquest aspecte és interessant la proposta de Jiménez (1998) sobre els tipus de representacions que apareixen en els llibres de text.

Weidenmann (1994) classifica les il·lustracions dels llibres de text en dos grups: les que tenen un format pictòric o decoratiu i les que s'allunyen de la realitat i utilitzen codis simbòlics.

Les il·lustracions del primer tipus tenen com a finalitat facilitar la percepció del contingut mitjançant la imitació de la realitat, mentre que les del segon grup s'utilitzen per facilitar la comprensió mitjançant l'ús d'arguments visuals que s'allunyen de la imitació de la realitat (Jiménez, 1998).

Les primeres, que Jiménez (1998) proposa anomenar *figuratives*, demanen que el lector conegui els codis clàssics del dibuix realista, mentre que les segones exigeixen un major esforç per interpretar les intencions de l'autor.

Fondària o perspectiva, amb una escala que va des de l'absència de fondària fins a la màxima perspectiva. Els dibuixos científics, com els mapes o els diagrames, volen ser objectius, i ho fan de tres maneres:

- Vista frontal: és l'angle de màxim compromís; mostra com són les coses, com funcionen, com s'han d'usar.
- Vista de dalt a baix: és l'angle de màxim poder; contempla el món des d'un punt de vista que el posa als seus peus.
- Perfil: la seva objectivitat prové del fet que no s'atura en aparences, sinó que indaga per sota de la superfície, més profundament, buscant nivells amagats. En la nostra cultura és quasi exclusiu dels diagrames.

Quan en un gràfic o un diagrama s'afegeixen elements de perspectiva, això provoca un sentit de realitat. A partir de l'abstracció del món concret en tres dimensions es fa el dibuix en dues dimensions i es torna a la categoria de realitat, però transformada afegint-hi de nou la perspectiva.

Il·luminació amb una escala que va des de la màxima representació de la llum i les ombres fins a l'absència.

Brillantor, amb una escala que va des del màxim nombre de graus de brillantor fins a només dos graus, que poden ser el blanc i el negre o dos graus dins el mateix color.

Conclusió

Els alumnes han de ser capaços de descodificar i interpretar els textos científics i, més concretament, els llibres de text. Els llibres de text haurien de ser una ajuda en l'aprenentatge dels alumnes, però això no és sempre així i sovint aquells tenen seriosos problemes de comprensió quan els utilitzen (Otero, 1997).

■ 2.4.3. Canvis en els llibres de text de ciències

El contingut, la intencionalitat i la presentació dels llibres de text ha anat variant de manera important al llarg del temps. Només cal fixar-se en el fragment del llibre de Baldiri Reixach *Les instruccions per a l'ensenyança de minyons* que citàvem al començament d'aquest apartat. Bachelard (1948) assenyala que els llibres del segle XVIII parlaven de la natura i de la vida quotidiana amb un llenguatge accessible al lector; en canvi, els llibres actuals són autosuficients, fan les preguntes i les responen, presenten la ciència com un coneixement organitzat i establert per sobre dels interessos i coneixements dels lectors (Jiménez i Perales, 2001).

Ogborn *et al.*, (1998) consideren que els llibres de text dels anys trenta i quaranta tenen una retòrica totalment diferent a la dels actuals. Amb el terme *retòrica* es refereixen a l'articulació de diferents modes de comunicació per tal de produir relats coherents i cohesionats dirigits a convèncer (persuadir) els qui s'inicien en maneres noves de mirar el món i actuar en aquest (Martins, 1998).

Els llibres de ciències del anys trenta i quaranta presentaven les idees organitzades en diferents "branques de la ciència", cadascuna amb els seus termes especialitzats. El text escrit explicava com eren les coses i com s'anomenaven, requerien de l'alumne "llegir", i s'adreçaven als alumnes com a futurs científics o com a persones no-expertes a les quals calia instruir. Darrerament, amb la idea d'un ensenyament secundari obligatori i amb un model didàctic més constructivista, el codi ha canviat. Els llibres de text han passat a ser fonts d'informació on es plantegen activitats i on la feina del lector és "fer o actuar"; el llibre es fa polifònic i l'autor a vegades hi apareix com a expert i altres com un company que planteja un dubte. Amb tot això es constata la relació

entre retòrica i model de lector (Martins *et al.*, 2001).

Un altre aspecte que s'ha de destacar és l'augment de les imatges en els llibres de text.

Un estudi realitzat per Kress *et al.* (1998) compara els llibres de text de ciències del Regne Unit dels anys noranta amb els dels anys quaranta i mostra un creixement exponencial de l'ús de les imatges i un canvi en les relacions entre imatge i llenguatge escrit. En els llibres de text de la dècada dels quaranta les imatges complien una funció il·lustradora repetint la informació que es donava per escrit (Barthes, 1974). En els llibres dels anys noranta hi ha un canvi en la relació entre la imatge i el llenguatge escrit i es dona visualment informació que no es dona per escrit.

Igualment, Deforge (1991) afirma que des del 1850 fins avui s'ha multiplicat per deu l'espai dedicat a les imatges en els textos escolars.

I Jiménez i Perales (2001), a partir de constatacions empíriques, afirmen que les il·lustracions que apareixen en els llibres de text d'educació primària i secundària ocupen el 50% de la superfície del llibre de text.

Tots aquests treballs confirmen aquest augment tan important de les imatges i dels recursos gràfics en els llibres de text. I, per tant, la possibilitat de preguntar-se el perquè d'aquest augment. És una qüestió de fer més agradable el llibre de text i que les tècniques de maquetació ho permeten fer amb una certa facilitat? O, al contrari, hi ha imatges inherents al coneixement científic que comuniquen idees per si mateixes? Pensem, per exemple, en la doble hèlix de l'ADN.

Kress *et al.* (1998) es pregunten si aquest canvi suposa una pèrdua o un guany, i la seva resposta és múltiple: hi ha guanys i hi ha pèrdues. Si es pensa que cada mode comunicatiu té unes potencialitats i unes limitacions, el canvi del predomini d'un mode per un altre a la força comportarà els dos tipus d'efecte. Ara bé, també cal preguntar-se sobre allò que és representat. Kress *et al.*, (1998) es pregunten si la ciència que es comunica visualment és la mateixa ciència que es comunica verbalment, ja que consideren que el món representat visualment en els mitjans de comunicació és un món diferent i produeix uns ciutadans diferents del món representat per mitjà del llenguatge.

Hi ha qui veu una clara relació entre aquest augment i la voluntat de comunicar les idees científiques a públic no expert. La consideració de la ciència com una part de la cultura i com un coneixement al qual tothom

ha de tenir accés, per així poder prendre decisions personals i col·lectives amb major responsabilitat, fa que es vulgui comunicar d'aquesta manera més comprensible, i d'aquí l'augment de les imatges.

El tipus d'il·lustració i de composició global de la pàgina que s'observa en alguns llibres de text està adreçada a un tipus de lector al qual cal motivar, entretenir, i al qual es planteja la ciència com un activitat entretinguda. Aquest aspecte no es destacava en els llibres de text de fa uns anys.

El que sembla clar és que cada tipus de llenguatge s'utilitza per posar èmfasi en una part del fenomen que es vol explicar.

Així, el text permet, més fàcilment, presentar el tema que s'ha d'estudiar, crear la diferència i, per tant, la necessitat de comunicació, exposar la necessitat d'una explicació a una determinada observació, plantejar diferents respostes. En canvi amb el llenguatge visual, un dibuix per exemple, es poden representar millor les relacions espacials d'una part del fenomen amb el tot, els processos de canvi. El llenguatge matemàtic aporta la formalització i les relacions a nivell quantitatiu entre diferents elements i té el poder de síntesi que li permet, a vegades, amb una sola fórmula o expressió donar molta informació.

Així mateix, quan a classe llegim o expliquem la informació exposada en el llibre, el gest també té un paper important en l'acte comunicatiu: ajuda a localitzar espacialment on es produeixen determinats processos, permet introduir la direcció i el sentit dels moviments, etc.

■ 2.4.4 Els cicles en els llibres de text

Un estudi realitzat per Christodoulou (1999) presenta les diferents representacions d'alguns dels cicles més freqüents en l'ensenyament de les ciències ambientals i els efectes que aquest tipus de representacions tenen en el significat que comuniquen. Ho estudia amb el cicle del carboni i del nitrogen, tant en les representacions dels llibres de text com en la representació que se'n fa en dues classes de secundària.

L'observació dels diferents cicles que es troben en els llibres de text mostra una gran varietat de representacions i que totes són construccions de significat multimodal: les imatges i el llenguatge formen part de la construcció de cada cicle. Normalment, en les representacions dels cicles la imatge ocupa un lloc dominant, tant en els llibres com en els pissarres de les classes, però aquesta sempre té elements lingüístics

que es poden trobar a la imatge mateixa o precedint o a continuació d'aquesta.

De la gran varietat de cicles, Christodoulou (1999) considera uns aspectes bàsics: els nodes i lligams, l'absència de fons i de les dimensions alt/baix.

En relació amb el nodes i lligams observa que normalment els nodes representen els llocs estàtics, mentre que els lligams representen els moviments.

Els nodes poden ser de quatre tipus: fotografies del món real, dibuixos naturalistes, icones o simples formes geomètriques. El fet que siguin d'una manera o una altra fa que comuniquin un significat diferent a l'entitat representada. Així, la fotografia d'un conill és d'un conill real, "aquest conill", mentre que un dibuix naturalista indica que és "un conill"; quan es tracta d'una icona, representa una categoria de les entitats, és a dir, seguint amb l'exemple anterior, "és un animal". Els nodes també poden ser simples formes geomètriques, rodones o quadrades, que no tenen cap relació visual amb les coses que representen. En aquest cas, les formes van acompanyades de text escrit que indica el que suposadament representen.

Els lligams sempre són línies amb fletxes en un extrem i poden variar de gruix.

Altres aspectes importants són la presència o l'absència de fons i l'orientació en l'espai.

Christodoulou (1999) observa que la majoria de dibuixos naturalistes estan situats en un fons que normalment és l'horitzó o el cel. Les imatges fetes amb icones o formes no tenen fons. Aquesta absència o presència de fons està relacionada amb la imatge del cicle com un tot i afecta com és presentat el cicle, si com *una abstracció del món real* o com *una construcció mental* sobre el que es pot veure en la realitat.

Christodoulou (1999) analitza els diferents tipus de cicles que usen els llibres de text i proposa quatre tipus de cicles, que es diferencien segons el tipus de relació que estableixen entre el fenomen i la seva representació. Varien des d'un cicle que és presentat com una simple fotografia de la realitat fins a una entitat construïda pels científics.

- Cicles representats com a “esdeveniments reals”
- Cicles representats com a “esdeveniments construïts”
- Cicles representats com a “esdeveniments seleccionats”
- Cicles representats com a “esdeveniments inventats”
- El primer tipus són els cicles representats com a “esdeveniments reals” trobats en la natura. El cicle com un tot és presentat com una fotografia d'allò que passa diàriament al món real. Les relacions entre les formes que apareixen en la imatge són representades de manera natural. La imatge sembla dir: “tot el que veiem en la natura és coherent i té sentit per si mateix, l'única cosa que podem fer és descriure el que veiem al món”.

Els elements lingüístics (molts i extensos) descriuen allò que veiem en la natura. Se sobreposen a la imatge de tal manera que no destorben el seu efecte realista. Com que les formes de la imatge són tan realistes que no poden ser confoses, no cal que siguin anomenades. Els esdeveniments tampoc necessiten ser mencionats. Els recursos lingüístics són usats per informar-nos dels processos i de les entitats no observables.

- El segon tipus de representació, que correspon als “esdeveniments construïts”, és un pas més enllà de la consideració de la imatge com la realitat mateixa. En aquest cas, les coses observables (entitats) són fotografies d'entitats existents i, per tant són fotografiables. La diferència amb la primera categoria és que en el primer cas el cicle com un tot és donat com un exemple, com un esdeveniment; en el segon cas cada element observable és exemplificat. No hi ha fons, però en l'organització dalt-baix, que tant és presencial com conceptual, les entitats que es troben més avall de la cadena alimentària estan representades espacialment per sota. Els processos no estan representats per una fotografia, sinó només amb elements lingüístics o fletxes.

Els elements lingüístics són força breus quan descriuen les relacions entre coses observables com a entitats i més elaborats quan representen processos en els quals hi ha involucrades entitats no observables. El que és important en aquesta categoria és que les peces extretes del món es posen juntes per construir una fotografia de tal manera que no és el que veiem de la natura, sinó el que pensem.

En aquest cas, el llenguatge permet fer un pas més en la descontextualització; es nomena cada entitat, per exemple: guineu, conill. Òbviament, això no es fa perquè el lector sigui incapaç de reconèixer allò que és fotografiat, sinó perquè els recursos lingüístics suggereixen que llegim la fotografia no com a exemples específics de guineus i conills, sinó com si fos qualsevol guineu o conill.

- El següent tipus de cicle són les imatges que representen el cicle com un “esdeveniment seleccionat” abstret de la natura. Són exemples generalitzables. Les coses observables (entitats) apareixen com a categories atès que s’usen icones per representar-les. Malgrat això, les icones estan posades juntes d’una manera molt natural i realista, cosa que implica que en la natura totes les coses que les icones representen es poden trobar juntes i exactament en el mateix ordre.
- Finalment, hi ha els cicles com a “esdeveniments inventats” o com una successió d’etapes. En aquests cicles res del que hi ha representat s’assembla a la realitat. Els nodes esdevenen les etapes on es produeixen els processos.

Els quatre tipus de cicles no han de ser considerats categories estrictes, sinó estadis que van variant des d’un extrem on el cicle és presentat com una simple fotografia de la realitat fins a una entitat construïda pels científics.

En relació amb el cicle de l’aigua, Haguenaer (1991) observa un canvi important en el tipus de representació en els llibres de text. Els diagrames de finals del segle XIX estan plens de fletxes en totes direccions, són diagrames que no simplifiquen la realitat (figura 2.14). Pocs anys després, es passa a uns diagrames que ja destaquen clarament uns elements precisos: evaporació, núvols, pluja, neus, glaceres, rius i mar (figura 2.15). Són diagrames que fan una síntesi de com es considera que és la circulació de l’aigua en la natura. Aquests elements, amb la incorporació de la circulació de l’aigua per l’interior de la Terra i a través dels éssers vius, són els que perduren en els diagrames actuals.

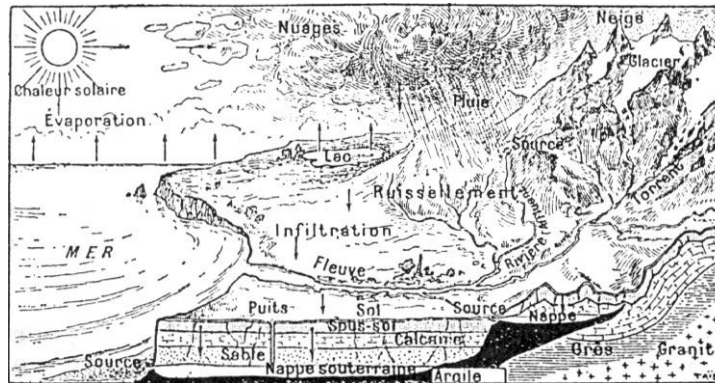


Figura 2.14. Diagrama de la circulació de l'aigua en la natura en un llibre de text de 1890 (Haguenaue, 1991).

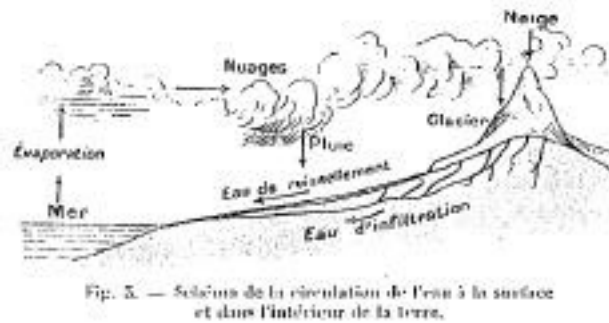


Figura 2.15. Diagrama del cicle de l'aigua amb els elements precisos per mostrar la circulació de l'aigua al planeta (Haguenaue, 1991).

Conclusió

El paper de les imatges en la representació dels cicles és molt important i els elements lingüístics que contenen donen informació sobre com s'han de llegir les imatges. En molts casos, el llenguatge i les imatges cooperen en la creació del mateix efecte. Per exemple, lingüísticament es pot aconseguir l'abstracció i la generalització utilitzant la nominalització dels processos i fent referència a les categories de les entitats, en lloc de referir-se a exemples de les entitats. El mateix efecte es pot aconseguir amb les imatges, usant pocs elements semblants a la realitat o usant nodes amb formes rectangulars.