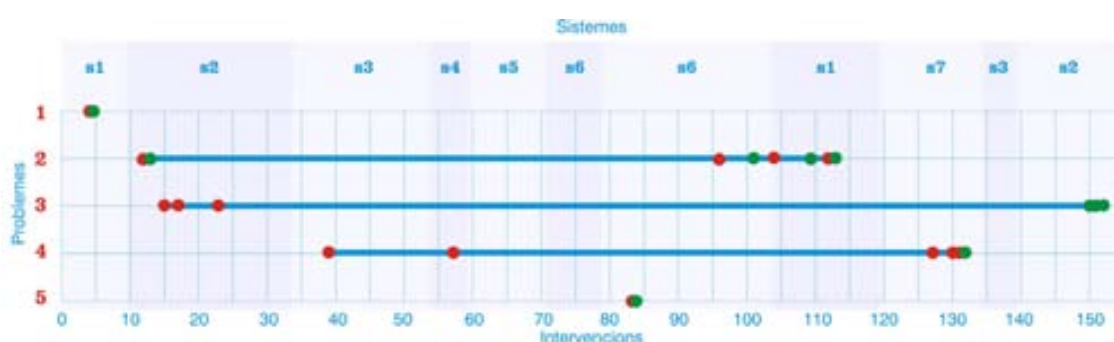


TESI DOCTORAL

Aproximació als fonaments epistemològics i psicològics per al disseny i aplicació d'una seqüència de ciències a l'ESO



Autor:

Joan Aliberas Maymí

Directores:

Mercè Izquierdo Aymerich

Rufina Gutierrez Goncet

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Bellaterra, 2012

TESI DOCTORAL

**Aproximació als fonaments epistemològics i
psicològics per al disseny i aplicació
d'una seqüència de ciències a l'ESO**

Autor:

Joan Aliberas Maymí

Directores:

Mercè Izquierdo Aymerich

Rufina Gutierrez Goncet

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Bellaterra, 2012

UAB

Universitat Autònoma de Barcelona

Als meus pares, Josep i Encarnació.

A la meva dona, la Fina.

*Als meus fills, Jordi i Caterina
i al nou membre de la família, en Linus.*

Agraïments

Vull agrair públicament la contribució de tots aquells que han fet possible aquest treball, encara que potser no n'hagin estat conscients. Ja em disculpareu que no citi noms, ja que no els puc posar tots.

Per començar he d'agrair a tots els joves que han estat alumnes meus tot el que m'han ensenyat. Sense la seva participació és evident que no hauria pogut fer la meva feina ni aquesta recerca. A l'aula hem compartit moments de tots colors, però ara pesen molt més aquells en què tothom, qui més qui menys, s'implicava en la discussió d'un diagrama, d'aquell experiment o d'aquell fenomen.

També he d'agrair molt profundament als companys de feina, no només els de ciències però sobretot aquests, les infinites trobades, feines compartides, il·lusions, iniciatives, propostes, projectes, jornades, discussions, valoracions, acords i compromisos, replantejaments, treballs de recerca, pràctiques de laboratori o treballs de camp, excursions, sopars, festes... Perquè sempre ha estat possible trobar un punt d'acord per poder avançar, sentint-nos membres d'un equip i compartint un projecte educatiu engrescador i una feina que ens apassiona.

Un agraïment especial a totes les companyes i companys que hem compartit responsabilitats de formació del professorat, inicial o permanent. Gràcies per haver compartit les ganes de fer bé aquesta tasca –i també els interrogants–, buscant la implicació del professorat que rebia la seva formació amb el propòsit d'anar millorant el seu treball amb l'alumnat. I per haver mostrat tantes vegades interès per aquest treball i haver-me animat durant la seva confecció.

No em puc oblidar d'agrair especialment a la meva família el suport i la paciència que han tingut amb mi durant tot aquest llarg temps d'elaboració d'aquest treball dedicat a ells.

I finalment, de forma molt especial he d'agrair afectuosament –aquí sí, amb els seus noms– a les dues directores del treball la seva enorme tasca científica i el seu suport. A

la Rufina Gutiérrez li agraeixo moltíssim el seu interès per aquest treball, les seves indicacions i la seva paciència, decisiva per millorar-ne el nivell. I a la Mercè Izquierdo li he d'agrair, a més a més del seu valuós seguiment del treball i els seus comentaris, la infinita paciència que ha hagut de tenir amb mi, durant molts anys, perquè aquest treball arribés a bon terme. És segur que sense ella aquest treball ara no estaria fet, i li ho agraeixo profundament.

A tots, doncs, moltes gràcies de tot cor. Aquest treball també és el vostre.

Sumari

Resum	xiii
Abstract	xv
Llista de figures	xvii
Llista de taules	xix
Prefaci	xxi
1. Introducció i preguntes de recerca	1
1.1 La recerca didàctica en ciències	
i el disseny de seqüències didàctiques	1
1.2 Les seqüències didàctiques	3
1.2.1 La recerca sobre seqüències didàctiques	3
1.2.2 Algunes aportacions de la recerca sobre seqüències.....	5
1.2.3 Algunes dificultats epistemològiques i psicològiques	8
1.2.4 Algunes dificultats emocionals	13
1.2.5 Algunes dificultats socials: el diàleg	16
1.2.6 El paper del professorat	20
1.2.7 La representació de les seqüències	20
1.3 Les aportacions teòriques triades	29
1.4 Les dades: l'aplicació a l'aula	29
1.5 Preguntes de recerca	30
2. Marc teòric	33
2.1 L'activitat científica escolar	34
2.1.1 Activitat, científica i escolar	34
a) És activitat.....	35
b) És científica	35
c) És escolar	35
2.1.2 El model cognitiu de ciència	37
a) Model.....	37
b) Model científic.....	38
c) L'encaix entre fets i idees	38
2.1.3 Activitat científica i filosofia de la ciència.....	44
2.1.4 La ciència escolar	45
2.2 El model ONEPSI	47
2.2.1 El procés de modelització	47
a) Primera representació	48

b) Segona representació: el model causal	49
c) Cerca de coherència	49
d) Execució	50
e) Cerca de correspondència	51
f) Cerca de robustesa	52
g) Episodis	52
2.2.2 Models mentals satisfactoris	53
2.2.3 El diàleg “teachback”	54
2.2.4 Activitat científica escolar i models mentals	58
3. Anàlisi d’una seqüència: metodologia i resultats	59
3.1 Seqüències teòricament coherents?	59
3.2 Metodologia	61
3.2.1 La seqüència	62
3.2.2 Mètode d’anàlisi	62
a) Objectiu	62
b) Criteris	63
c) Unitat d’anàlisi	64
d) Procediment	64
3.3 Anàlisi d’una seqüència: “La pressió”	65
3.3.1 Elaboració de les taules i presentació de les dades	65
a) Exercici	65
b) Sistema	66
c) Referents	66
d) Model mental	67
e) Elaboració de cada resposta	67
f) Conclusió	68
g) Satisfacció esperada	68
h) Resolució	69
3.3.2 Estructura de la seqüència: narracions	69
a) Anàlisi (part 1 de 8): pressió i enfonsament	71
b) Anàlisi (part 2 de 8): el valor de la pressió atmosfèrica	74
c) Anàlisi (part 3 de 8): la pressió a dins de l’aigua	77
d) Anàlisi (part 4 de 8): pressió atmosfèrica i aigua	80
e) Anàlisi (part 5 de 8): força ascensional i principi d’Arquimedes	82
f) Anàlisi (part 6 de 8): la flotació dels objectes	85
g) Anàlisi (part 7 de 8): la pressió de l’aigua dins de tubs	87
h) Anàlisi (part 8 de 8): moviment segons la pressió, el vent	89
3.3.3 Altres resultats	92
a) Recòmptes	92
b) Relacions entre els models	94
3.4 La seqüència satisfà els requeriments psicològics i epistemològics del marc teòric? (PR1)	97
3.4.1 La seqüència analitzada és coherent amb el model ONEPSI?	98

a) Sistema, referents, inferir resposta.....	98
b) Construir i formular coneixement.....	99
c) Satisfacció prevista, vies de solució.....	100
d) Narració.....	101
3.4.2 La seqüència analitzada és coherent amb el model d'activitat científica escolar?.....	102
a) Sistemes i models.....	102
b) Percepció, acció i tecnologia.....	102
c) Emoció.....	103
d) Objectius compartits, personals.....	104
e) Llenguatge.....	104
f) Comunitat.....	105
g) Valors.....	106
Epistemologia.....	106
3.4.3 Conclusions: Responent PR1 i valor del mètode utilitzat.....	107
Responent PR1.....	107
Valor del mètode utilitzat.....	108
4. Anàlisi d'una conversa: metodologia i resultats.....	109
4.1 Metodologia.....	109
4.1.1 La conversa.....	110
4.1.2 Mètode d'anàlisi.....	110
a) Objectius.....	110
b) Criteris.....	111
c) Unitat d'anàlisi.....	112
d) Procediment.....	112
4.2 Anàlisi de la conversa.....	113
4.2.1 Elaboració de la taula i presentació de les dades.....	113
a) Intervenció.....	113
b) Conversa.....	113
c) Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i preparació de la rèplica.....	113
d) Resultat emocional i raonament (acció).....	114
4.2.2 Descripció i anàlisi de la conversa. Resums.....	115
a) Cas 1. Pilota submergida.....	116
b) Cas 2. Pedra submergida.....	117
c) Cas 3. Pressió dins del mar.....	120
d) Cas 4. Pressió dins de la cova.....	122
e) Cas 5. Detector de pressió.....	123
f) Cas 6. El detector i la pressió al mar.....	125
g) Cas 7. La pressió al mar en diferents direccions.....	126
h) Cas 8. Pilota submergida.....	129
i) Cas 9. Pressió dins de la cova.....	131
j) Cas 10. Pressió dins d'un líquid.....	134
k) Cas 11. Pedra submergida.....	135

4.2.3 Visió general.....	137
4.2.4 Sobre les intervencions del professor.....	137
4.2.5 Sobre les intervencions de l'alumne.....	142
4.2.6 La seqüència i la conversa.....	154
4.3 La conversa estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric? (PR2).....	155
4.3.1 Pel que fa a insatisfacció amb els models, la seva reconstrucció i oportunitats per fer-ho (criteris 1,2,3).....	155
Criteri 1. "Detecta insatisfacció..."	155
Criteri 2. "Reconstrueix el seu model..."	156
Criteri 3. "La seqüència li ofereix oportunitats per revisar..."	156
Criteri 4. "Realitza accions en totes les dimensions..."	157
Criteri 5. "Construeix coneixement d'acord amb ..."	160
4.3.2 Conclusions: Responent PR2 i valor del mètode utilitzat	164
Responent PR2	164
Valor del mètode utilitzat	164
5. Conclusions i discussió.....	165
5.1 La coherència amb el marc teòric (PR1 i PR2) i el valor del mètode d'anàlisi	165
5.1.1 La coherència amb el marc teòric (PR1 i PR2)	166
a) Coherència de la seqüència amb el marc teòric, PR1.....	166
b) Coherència de la marxa de la conversa amb el marc teòric, PR2	166
5.1.2 El valor del mètode d'anàlisi	167
5.2 Les prediccions cognitives i emocionals previstes a la seqüència es compleixen en la conversa? (PR3)	167
5.3 Quines característiques de la seqüència la fan didàcticament productiva? (PR4)	171
5.3.1 Sistema	171
5.3.2 Referents per a la construcció de cada model mental	172
5.3.3 Reconstruccions del model mental.....	172
5.3.4 Arribant a conclusions, creant nous coneixements.....	174
5.3.5 La satisfacció esperada	175
5.3.6 Resolució	176
5.3.7 Responent PR4	177
a) el sistema (apartat 5.3.1)	177
b) els referents per a la construcció de cada model mental (5.3.2) ...	177
c) els processos de reconstrucció del model mental (5.3.3)	177
d) l'arribada a les conclusions amb la creació de nou coneixement (5.3.4).....	178
e) la consecució de la satisfacció esperada (5.3.5)	178
f) i la resolució dels problemes sorgits (5.3.6)	179
5.4 Quines característiques de la conversa la fan didàcticament productiva? (PR5)	179

5.4.1 Visió general i finalitat	179
5.4.2 Intervencions del professor	179
5.4.3 Intervencions de l'alumne	181
5.4.4 Responent PR5.....	183
a) La visió general de la conversa i la seva finalitat (apartat 5.4.1).....	183
b) la manera amb què el professor condueix la conversa (5.4.2)	183
c) i les característiques de les intervencions de l'alumne (5.4.3).....	184
5.5 Discussió.....	184
5.5.1 Sobre algunes aportacions de la recerca referides al disseny de seqüències didàctiques	184
5.5.2 Sobre dificultats epistemològiques i psicològiques.....	188
5.5.3 Sobre dificultats emocionals	194
5.5.4 Sobre dificultats socials: la conversa	196
5.5.5 Sobre el paper del professorat	198
5.5.6 Sobre la representació d'una seqüència	199
a) Disseny de la seqüència.....	199
b) Conversa sobre la seqüència.....	201
6. Perspectives de futur.....	207
6.1 La pràctica docent a l'aula:	
reptes en el disseny de seqüències	207
6.2 La formació del professorat:	
reptes en el disseny d'un currícul formatiu	208
6.3 Reptes en la recerca didàctica en ciències.....	208
6.3.1 Sobre l'elaboració i utilització de seqüències didàctiques innovadores	209
6.3.2 Sobre la conducció de converses <i>teachback</i>	210
6.3.3 Sobre la creació d'un determinat "to emocional" a l'aula	210
6.3.4 Sobre l'ús de la metacognició i el llenguatge	211
6.3.5 Sobre el domini del coneixement didàctic del contingut.....	212
Bibliografia	213
Annexos	
1. Seqüència original: "La pressió"	
2. La mateixa seqüència, amb elements utilitzats en la seva anàlisi	
3. Testimonis de professores usuàries	
4. Seqüència per a primer d'ESO: "El model cinètic de la matèria"	
5. Part d'una seqüència per a tercer d'ESO: "Dissolucions àcides..."	

Resum

Partint d'un marc teòric constituït pel model d'*activitat científica escolar* de M. Izquierdo i del model *ONEPSI* de R. Gutiérrez hem analitzat una seqüència didàctica per a l'ensenyament obligatori i una conversa sobre una part d'aquesta mateixa seqüència, mantinguda entre un professor i un alumne per intentar comprendre'n la dinàmica i els sistemes de regulació.

Per poder realitzar aquestes anàlisis hem hagut de crear un nou llenguatge simbòlic basat en categories extreïdes del marc teòric i dels mateixos resultats. Com a resultat hem pogut identificar diverses característiques que fan que la seqüència i la conversa resultin didàcticament productives.

Primerament hem confirmat la coherència del disseny de la seqüència i del desenvolupament de la conversa amb el marc teòric escollit.

Un resultat clau ha estat poder demostrar que els processos cognitius i emocionals que s'havien previst al dissenyar la seqüència eren efectivament recorreguts per l'alumne al llarg de la conversa, acompanyats de l'aparició de problemes menors de fàcil resolució.

A l'analitzar les característiques de la seqüència que la fan didàcticament productiva, hem trobat la conveniència de dissenyar un seguit de sistemes físics organitzats de determinades maneres perquè l'alumnat, a l'intentar comprendre'n el funcionament, experimenti determinats estats emocionals d'insatisfacció amb els seus models mentals. Aquesta insatisfacció ha resultat ser la força motriu dels canvis en el model i, per tant, de l'aprenentatge. El nou coneixement dels sistemes es pot generalitzar mitjançant la construcció de sistemes genèrics a partir del que s'ha obtingut amb els específics, recollir-ho per escrit, i intentar aconseguir que cada alumne el pugui aplicar a nous sistemes, de forma progressivament més autònoma. El conjunt de sistemes ha de

marcar una ruta clara cap a la resolució de les dificultats previstes i aconseguir així models mentals satisfactoris, amb les conseqüències cognitives i emocionals positives que el procés pot provocar.

Pel que fa referència a la conversa, també hi hem pogut identificar algunes característiques que la fan didàcticament productiva. Així, la utilització del diàleg “*teachback*” ha estat decisiu per aconseguir establir un consens amb l’alumne sobre els seus models mentals i ajudar-lo a avançar en la seva reconstrucció, en un procés d’aprenentatge que hem pogut interpretar dinàmicament cadascuna de les seves intervencions. La conducció del diàleg, realitzada pel professor, es basa en centrar l’atenció de l’alumne en les ambigüitats que el primer percep en el model mental del segon, estimulant en aquest la necessitat de concretar o, donat el cas, reconstruir el seu model mental. Hem observat també la necessitat de regular altres aspectes de la conversa: centrar-se en la planificació i realització d’intervencions sobre el sistema real, col·laborar en la marxa de la conversa mitjançant el llenguatge, avaluar i –si cal– reorientar el curs de la conversa, i explorar-ne les conseqüències socials. Hem detectat respostes basades en inferències sobre els models mentals i també d’altres que no s’hi basaven. Les que eren resultat d’inferències ens han permès reconstruir la història de la resolució de cadascun dels problemes que han sorgit durant la conversa.

Finalment es discuteixen els resultats en relació amb l’estat actual de la recerca, i es proposen preguntes de recerca per aprofundir en aquesta línia d’investigació.

Abstract

Based on a theoretical framework consisting of the *scientific scholar activity* model by M. Izquierdo and the *ONEPSY* model by R. Gutiérrez, we analyzed a learning sequence for compulsory education, and a conversation about some parts of the same sequence, maintained between a teacher and a student to try to understand sequence dynamics and regulation systems.

To perform these analyses, we had to create a new symbolic language based on categories drawn from the theoretical framework and from the results. As an outcome, we have been able to identify several features that cause that both sequence and conversation become didactically productive.

First, we confirmed the coherence of our theoretical framework with the design of the sequence and the development of the conversation.

A key result has been to prove that cognitive and emotional processes predicted during the sequence design were actually followed by the student throughout the conversation, although accompanied by the emergence of minor problems easily solved.

Analyzing which characteristics of the sequence makes it pedagogically productive, we found the need to design a series of physical systems organized in certain ways for the students reach to understand how systems work, experimenting certain emotional states of dissatisfaction with personal mental models. This dissatisfaction was found to be the driving force for changing mental models and, therefore, learning. The new knowledge about the systems can be generalized building generic systems from models build for specific systems. The new knowledge is collected and written. The teacher tries to ensure that every student will be able to apply the new knowledge to new systems, in a progressively more autonomous way. The whole group of systems must be a clear path to resolve the expected difficulties and achieve satisfactory men-

tal models, with the positive cognitive and emotional consequences that the process can generate.

Regarding the conversation, we have also identified some characteristics that make it pedagogically productive. This way, the use of “*teachback*” dialogue has been crucial to achieve a consensus with student about his mental models and to help him to advance in his reconstruction, a process of learning that we have reach to interpret dynamically each of the interventions. Conduction of the dialogue is made by the teacher focusing the student attention on the ambiguities in his mental model, as perceived by teacher. Focusing on the ambiguities he want to stimulate the student’s need to clarify them, or in some cases, rebuild their mental model. We also observed the need to regulate other aspects of the conversation: focusing on the planning and performing operations on the real system, collaborate for the progress of conversation through language, evaluate it and, if necessary, reorient the path of the conversation and explore its social consequences. We have found answers of the student based on inferences made by the mental models, and other answers not based in inferences. The answers based on inferences have allowed us to reconstruct the history of the solution of each of the problems that have arisen during the conversation.

Finally, results are discussed in relation to the current state of research, proposing some research questions to pursue this line of inquiry.

Llista de figures

1.1 El rombe didàctic.....	5
1.2 Teoria dels dos mons, per al disseny de seqüències	9
1.3 Model <i>Cosmos–Evidència–Idees</i> de la recerca científica.....	9
1.4 Seqüència de models intermedis desenvolupats al llarg d'un itinerari d'aprenentatge	10
1.5 Procés d'aprenentatge concebut com la construcció d'una successió de models fins arribar al model <i>meta</i>	10
1.6 Seqüència de models per a la comprensió de la deformació d'una taula.....	11
1.7 Descartant un model. Modificació del model.....	12
1.8 Evolució de models per acreció	12
1.9 Part d'una <i>estructura didàctica</i> , basada en resolució de problemes, per a una introducció al model de partícules.....	23
1.10 Part inicial d'una <i>estructura didàctica</i> , basada en resolució de problemes, sobre la qüestió dels residus	24
1.11 Inici de l'estructura dels processos de mesura i modelització en una seqüència sobre desintegració radioactiva	24
1.12 Part del diàleg a classe sobre l'extracte d'etanol.....	25
1.13 Tipus d'accions durant el diàleg.....	26
1.14 Línia de temps de la conversa entre professor i alumnes	27
1.15 Codificació del mecanisme de conversa dels alumnes sobre caiguda d'objectes	27
1.16 Distribució dels diversos modes de discussió durant l'ensenyament d'una unitat sobre les marees	28
2.1 Relació entre els conjunts d'afirmacions, el model i el sistema real.....	39
2.2 Interrelació simplificada entre els sistemes del món i els nostres models mentals	41
2.3 Els diversos components de l'activitat humana	41
2.4 Model <i>ONEPSI</i> per a la construcció i reconstrucció de models mentals	48
2.5 Característiques d'un model mental satisfactori.....	54
2.6 Adaptació de la concepció de Pask d'una " <i>Conversa</i> "	55
3.1 Dispositiu utilitzat per estudiar la pressió a l'interior d'un líquid.....	78
3.2 Mapa de relacions entre sistemes	95
3.3 "Genealogia" dels models.....	97

4.1 Distribució dels diferents tipus d'intervencions del professor	139
4.2 Les diverses dimensions de l'activitat científica escolar	141
4.3 Resum gràfic dels tipus de respostes efectuades per l'alumne	148
4.4 Resum gràfic de l'evolució dels cinc problemes apareguts durant la conversa	153
5.1 Taula 4.19	168
5.2 Síntesi dels resultats de la taula 4.19 (fig. 5.1).....	168
5.3 Fig. 4.4	169
5.4 Taula 3.2	174
5.5 Codificació de la taula 4.14	181
5.6 Fig. 1.1	185
5.7 a) Fig. 3.2. b) Fig. 3.3	187
5.8 Inici de la taula 3.1.....	187
5.9 Inici de la taula 4.2	188
5.10 Fig. 1.2	188
5.11 Fig. 1.3	189
5.12 Fig. 4.4	189
5.13 Fig. 2.5	190
5.14 Fig. 1.5	190
5.15 Fig. 1.6	191
5.16 Fig. 1.7	191
5.17 Fig. 1.8	192
5.18 Inici de la taula 4.18	192
5.19 Fig. 4.1	193
5.20 Fig. 2.6	194
5.21 Taula 1.2	196
5.22 Fig. 4.1	197
5.23 Corba d'acceptació d'una innovació positiva	199
5.24 Inici de la taula 3.1	200
5.25 a) Fig. 3.2; b) Fig. 3.3	201
5.26 Inici de la taula 4.2	202
5.27 Fig. 4.1	202
5.28 Inici de la taula 4.14	203
5.29 Inici de la taula 4.17	203
5.30 Inici de la taula 4.18	204
5.31 Fig. 4.4	204
5.32 Taula 4.19	205
5.33 Fig. 5.2	205
5.34 Part superior de la taula 4.20	206

Llista de taules

1.1 Comparació de dos enfocaments per al disseny de seqüències	6
1.2 Els diversos enfocaments comunicatius i propòsits didàctics	16
1.3 Fragment d'una taula sobre aspectes conceptuals de la llum	21
1.4 Taula d'anàlisi de la <i>demanda d'aprenentatge</i> per al concepte de força	22
1.5 Fragment d'una taula recollint la distància en el coneixement sobre el tema de l'acció i la força	22
3.1 Anàlisi de l'exercici 32c al 35.....	71
3.2 Anàlisi de l'exercici 36.....	74
3.3 Anàlisi de l'exercici 37 al 40	77
3.4 Anàlisi de l'exercici 41	80
3.5 Anàlisi de l'exercici 42 al 44	82
3.6 Anàlisi dels exercicis 45 i 46	85
3.7 Anàlisi de l'exercici 47 al 49	87
3.8 Anàlisi de l'exercici 50 al 52	89
3.9 Recompte de resultats de les taules 3.1 a 3.8	92
4.1 Categories per a la classificació de les anàlisis i decisions de l'entrevistador.....	114
4.2 Cas 1, corresponent a la pregunta 32a sobre una pilota submergida (s1).....	116
4.3 Cas 2, corresponent a la pregunta 32b sobre una pedra submergida (s2).....	117
4.4 Cas 3, corresponent a l'exercici 32d sobre la pressió dins del mar (s3).....	120
4.5 Cas 4, corresponent a la pregunta 32d sobre la pressió dins de la cova submarina (s4).....	123
4.6 Cas 5, corresponent a la pregunta 38a s obre el detector de pressió (s5).....	124
4.7 Cas 6, corresponent a les preguntes 38b, c i d sobre el detector i la pressió al mar (s6)	125
4.8 Cas 7, corresponent a l'exercici 39 sobre la pressió al mar en diferents direccions (s6).....	126
4.9 Cas 8, corresponent a la pregunta 32a sobre la pilota submergida (s1)	130

4.10 Cas 9, corresponent a la pregunta 32d sobre la pressió dins de la cova (s7).....	132
4.11 Cas 10, corresponent a la pregunta 40c sobre la pressió dins d'un líquid (s3).....	134
4.12 Cas 11, corresponent a la pregunta 32b sobre la pedra submergida (s2)	135
4.13 Categories per a la classificació de les anàlisis i decisions de l'entrevistador, llista d'intervencions.....	138
4.14. Síntesi de la conversa anterior i anàlisi dels resultats	143
4.15 Recompte dels tipus d'intervencions de l'alumne.....	147
4.16 Reaccions de l'alumne a les 15 situacions insatisfactòries a les quals ha donat resposta.....	148
4.17 Recull d'intervencions relacionades amb l'aparició de problemes i la seva resolució	150
4.18 Recull d'intervencions relacionades amb l'aparició de problemes i la seva resolució, agrupades per problemes	151
4.19 Comparació entre els exercicis 37, 38, 39, 40 i 43g de la seqüència amb les intervencions de l'entrevista i els seus resultats a l'entrevista...	154
4.20 Sistemes estudiats durant l'entrevista, indicant si s'han pogut investigar experimentalment	161
5.1 Proposta de nivells d'anàlisi d'una seqüència.....	186

Prefaci

Aquest treball és la baula final de tot un recorregut professional com a professor de ciències. Les darreres dècades del segle XX hem tingut la fortuna de veure com entre nosaltres naixia i creixia la didàctica de les ciències, una disciplina que es proposa donar base científica a l'ofici d'ensenyar ciències, amb una atenció especial a les etapes obligatòries.

En un primer moment era necessari fer una ullada a les diverses teories que orientaven la recerca didàctica en ciències, i també a les diferents concepcions de com avança el coneixement científic. Va ser possible escriure un llibre (Aliberas, 1989) amb la direcció de Mercè Izquierdo i Rufina Gutiérrez, així com l'article que sintetitzava els diferents models d'aprenentatge aleshores vigents (Aliberas, Gutiérrez i Izquierdo, 1989a) i un altre on valoràvem l'emergència de la didàctica de les ciències com a nova disciplina (Aliberas, Gutiérrez i Izquierdo, 1989b). Intentant treure profit per a la classe de ciències de les aportacions de Toulmin (1972) sobre l'evolució del coneixement en sortí una ponència (Aliberas, 1987) per al congrés de València.

En col·laboració amb Roser Pintó, i intentant treure partit dels nous sistemes informàtics que començaven a arribar als centres docents, vam presentar una ponència a Ljubljana sobre el disseny de guies de treball per a MBL (Aliberas i Pintó, 1996). I també un article (Pintó, Aliberas i Gómez, 1996) argumentant les possibilitats que obria, per a gestionar les idees dels alumnes, l'aparició de la recerca sobre models mentals.

La posada en marxa de la LOGSE va propiciar que amb diversos companys escrivíssim uns llibres de text de química de primer i segon de batxillerat, intentant reflectir-hi principis constructivistes (Aliberas, Rull i Serra, 1997; Aliberas, Gómez, Rull i Serra, 1998) o alguns articles sobre l'organització i característiques del nou treball de re-

cerca de batxillerat (Aliberas, 1999; Aliberas i Botta, 1999) perquè de debò fossin de recerca i assequibles a l'alumnat.

De nou amb Mercè Izquierdo vam elaborar una proposta d'activitat científica escolar en forma de llibre (Izquierdo i Aliberas, 2004), establint les condicions perquè resultés simultàniament racional i raonable per a l'alumnat.

La formació del professorat va fer necessari escriure sobre com plantejar l'ensenyament de les ciències a l'ESO (Aliberas, 2008), quin coneixement científic ensenyar-hi (Aliberas, 2006a), o sobre el diàleg a l'aula (Aliberas, 2006b), utilitzant el model *ONEPSI* de Rufina Gutiérrez. També vam analitzar els motius perquè una innovació didàctica no acabava d'arrelar (Aliberas i Solsona, 2009).

Com es pot veure, l'objectiu permanent ha estat intentar comprendre el que passa a classe per poder millorar-ho... i també compartir-ho. Calia aprendre dels resultats de la recerca i intentar fer-los servir per orientar la innovació a les nostres classes de ciències i a les dels nostres companys. El resultat material són les seqüències elaborades amb aquesta finalitat, utilitzades a classe durant anys, generalment amb bona acollida per part del professorat (Annex 3) i de l'alumnat.

Ara amb aquest treball –de nou sota la direcció de Mercè Izquierdo i Rufina Gutiérrez– volem analitzar des d'un marc teòric definit una d'aquestes seqüències i la seva utilització. Es tracta d'una seqüència que ha passat per l'aula moltes vegades de la mà de diversos professors. El propòsit és intentar treure'n conclusions que puguin ser útils al professorat i a l'alumnat en altres contextos.

1

Introducció i preguntes de recerca

En aquest capítol anirem mostrant l'estructura d'aquest treball: primer presentarem el problema escollit, veurem alguns dels seus aspectes més importants que queden per resoldre, apuntarem a grans trets el marc teòric escollit per abordar-lo, així com la procedència de les dades que es tractaran d'analitzar i, finalment, es formularan les *preguntes de recerca* que orientaran la investigació.

1.1 LA RECERCA DIDÀCTICA EN CIÈNCIES I EL DISSENY DE SEQÜÈNCIES DIDÀCTIQUES

Com a disciplina, la didàctica de les ciències va ser creada per millorar, sobre una base científica, els processos d'ensenyament i aprenentatge de les ciències, una millora que a l'ensenyament obligatori és actualment especialment necessària.

Com a resultat de dècades de treball, entre els investigadors de la disciplina s'ha anat establint un cert consens a l'entorn de teories *constructivistes* i de *models cognitius* en el procés d'aprenentatge de la ciència, que atribueixen un paper central a l'alumne i a les seves maneres d'entendre el món.

Les curioses *concepcions dels alumnes* sobre una gran diversitat de fenòmens científics es van descobrir i estudiar moltes dècades enrere (Inhelder i Piaget, 1955). Aquest camp de recerca, no necessàriament dins del paradigma piagetian, va ser molt actiu durant els anys 80 (Driver, 1981; Driver, Guesne i Tibeighien, 1983; Osborne i Freiberg, 1985; Driver i Oldham, 1986; Giordan i de Vecchi, 1987; Hierrezuelo i Montero, 1988; Duit, 1993). Els resultats d'aquesta recerca es poden seguir en una bibliografia actualitzada fins no fa gaire (Duit, 2009) i en llocs de la xarxa com Flores i al. (s.d.).

Mentre s'anava estudiant la diversitat d'idees dels alumnes i establint-ne les característiques, es desenvolupava també la concepció de l'aprenentatge com a *canvi conceptual* (Posner i al., 1982), segons la qual les concepcions dels alumnes havien de ser canviades per les científiques. Per aconseguir-ho, aquests autors proposaven quatre condicions basades en raons epistemològiques: les concepcions prèvies han de generar *insatisfacció* en l'alumnat, mentre que les noves han de demostrar ser *intelligibles, plausibles i fructíferes*, en el marc de l'*ecologia conceptual* (Toulmin, 1972) de cada alumne. Fa uns anys, Clement (2000: 1051) reconeixia que no hi havia cap teoria que permetés entrar dins de la "closca" d'aquestes quatre condicions.

Però hi havia consciència que hi faltaven elements: els aspectes motivacionals i socials (Pintrich, Marx i Boyle, 1993), metacognitius i de coneixement sobre la ciència (Duit i Treagust, 2003), els ontològics (Chi i Slotta, 1993), els emocionals (Zembylas, 2002, 2004)... Però també faltava una descripció més clara del procés mitjançant el qual es pot produir el canvi conceptual individual.

Actualment, molts estudis recomanen d'organitzar l'aprenentatge cap a la finalitat d'aconseguir que l'alumne modelitzi els processos del món per poder entendre'ls científicament (vegeu els llibres Gilbert i Boulter, 2000; Clement, 2000; Clement i Rea-Ramirez, 2008; Clement, 2009; i també el monogràfic sobre modelització, número 9 de l'any 2000 de l'*International Journal of Science Education*). La modelització apareix, doncs, com l'eina cognitiva que ens pot ajudar a introduir en el canvi conceptual les dimensions que li falten, ja que es considera que "*el procés de modelització és el centre de l'activitat científica*" (Sensevy i al., 2008: 443).

En definitiva, el problema és com assegurar l'aprenentatge de les ciències a l'aula, és a dir, que tots aquests processos cognitius de modelització –que involucren moltes dimensions (psicològica, emocional, comunicativa, social, ontològica, metacognitiva...)– es puguin realitzar de forma viable a classe, integrats en una tasca, comptant amb els recursos i capacitats dels alumnes i tenint en compte les condicions escolars, per aconseguir que l'alumnat aprengui amb solidesa els coneixements de ciència que consten a les programacions oficialment establertes.

Per això, el que ens interessa en aquest treball és centrar l'atenció en la forma que, tant aquests plantejaments teòrics com els resultats de la recerca didàctica, es connecten amb les tasques concretes que el professorat proposa als alumnes (Design-Based Research Collective, 2008): com es generen i organitzen, a partir d'una base teòrica, el seguit d'activitats d'aula que componen una *seqüència didàctica* per aprendre un tema científic concret.

1.2 LES SEQÜÈNCIES DIDÀCTIQUES

1.2.1 La recerca sobre seqüències didàctiques

Responent a la necessitat de revisar aquesta connexió entre la recerca didàctica i la pràctica docent, l'abril del 2004, l'*International Journal of Science Education* va publicar un monogràfic sobre les seqüències d'ensenyament–aprenentatge, mostrant algunes de les propostes actuals de connexió de les seqüències amb un marc teòric. Comentarem algunes de les seves aportacions, juntament amb d'altres, així com les implicacions de totes elles per al nostre treball.

En tot el monogràfic esmentat es fa servir l'expressió "*seqüències d'ensenyament-aprenentatge*" (en anglès TLS: "*teaching-learnig sequences*"). En aquest treball la substituïrem per "*seqüències didàctiques*" per dos motius. Primer, perquè es tracta d'un nom més àgil, però sobretot per un altre motiu més de fons. Vegem-lo.

En un context d'ensenyament transmissiu, on el professor és l'emissor i l'alumne el receptor, és clar que ensenyar i aprendre són processos associats i inseparables, no hi pot haver recepció sense emissió ni aprenentatge sense ensenyament. En canvi, en un plantejament constructivista l'alumne pot construir coneixement que ni el professor ni el llibre no li han proporcionat: es tracta d'*autoaprenentatge*, que ha estat descrit per diversos autors (Chi i Bassok, 1989; Gutiérrez, 2003) i que veurem que es produeix quan analitzem les nostres dades. Amb això no estem negant el paper del professor: no sempre ha de fer el que tradicionalment s'ha entès per ensenyar, que és aportar informació, sinó que de vegades la seva feina pot consistir en posar les condi-

cions perquè es produeixi l'autoprenentatge. Considerem que entre nosaltres l'adjectiu “*didàctic*” referit a “seqüència”, recull millor aquesta relació pedagògica més general que no pas “ensenyament-aprenentatge”.

Es considera que una seqüència didàctica està orientada a l'ensenyament d'un tema científic, i per tant no es limita a una sola sessió de classe (nivell *micro*) ni a un currícul a llarg termini (nivell *macro*), sinó que abasta diverses sessions de classe (nivell *mitjà* segons Méheut i Psillos, 2004), però que aquí anomenarem *meso* per coherència. A nosaltres ens interessarà analitzar la seqüència tant a nivell *meso* com *micro*, però sobretot a un nou nivell *nano*, ja que ens proposem analitzar i interpretar cadascuna de les interaccions professor-alumne.

D'acord amb Méheut i Psillos (2004) la recerca sobre seqüències didàctiques ha de situar-se en la tradició de la recerca–acció, igual que la nostra recerca en aquest treball. El problema és com utilitzar els resultats de la recerca didàctica per elaborar (procés) una seqüència (producte) que sigui útil per guiar l'aprenentatge dels alumnes (Psillos, Tselfes i Kariotoglou, 2004). La recerca–acció es basa en la repetició de cicles *d'anàlisis – decisions – accions – obtenció de resultats*, mitjançant els quals es van millorant els resultats de la pràctica docent, al mateix temps que s'enriqueixen les connexions amb les seves bases teòriques. Idealment, demanaria connectar estretament recerca i desenvolupament (Lijnse, 1995). El disseny de seqüències didàctiques és, per tant, una tasca cíclica (Viiri i Saari, 2004; Lijnse i Klaassen, 2004) i a llarg termini (Méheut i Psillos, 2004). El nostre treball consisteix en realitzar una part d'un d'aquests cicles, posterior a molts altres sobre el mateix tema en estudi, la pressió hidrostàtica, però ara completada amb més profunditat d'anàlisi, recursos i temps de dedicació que altres vegades, que s'havien realitzat més informalment.

En resum, la recerca sobre el disseny de seqüències és una part decisiva de la didàctica de les ciències, una disciplina adreçada a dissenyar i realitzar transformacions de la realitat en el camp de l'aprenentatge de les ciències. És per això que s'ha de considerar una veritable *ciència del disseny* (Adúriz i Izquierdo, 2005), i el disseny de les seqüències didàctiques, el seu àmbit clau. Vegem què en diu la recerca.

1.2.2 Algunes aportacions de la recerca sobre seqüències

Segons Méheut i Psillos (2004), les recerques sobre seqüències solen dedicar molta més atenció a la comparació dels resultats amb els objectius previstos, que no pas a concretar les bases teòriques del disseny, les característiques de l'ensenyament o la relació entre ensenyament i aprenentatge. Això fa que el progrés en aquest àmbit de recerca sigui lent.

Per això, si volem avançar caldria explicitar i utilitzar de forma transparent les bases teòriques utilitzades, de forma que recullin tots aquells aspectes que tenen un paper clau en l'aprenentatge de les ciències. En aquest sentit, Méheut i Psillos (2004) proposen, com a eina d'anàlisi, el que anomenen *rombe didàctic* (fig. 1.1).

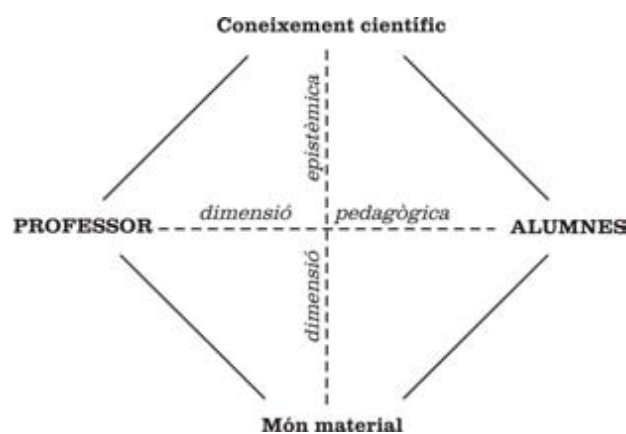


Figura 1.1. El rombe didàctic, segons Méheut i Psillos (2004: 517).

Constaten que moltes seqüències es situen més aviat en un eix o en un altre, mostrant la conveniència de desplegar adequadament les dues dimensions, l'epistèmica i la pedagògica.

Però la dificultat principal relacionada amb les teories que han d'il·luminar aquesta doble relació pedagògica i epistèmica, és que quan es tracta d'aplicar-les a l'aula de ciències aporten poc, ja que "en el millor dels casos només aporten regles heurístiques" (Lijnse i Klaassen, 2004: 538). Fins i tot s'ha trobat que seqüències sobre el mateix tema, preparades des de posicions teòriques molt allunyades, resultaven a la pràctica molt semblants (Lijnse, 2000). Aquest mateix autor considera que en la recer-

ca didàctica s'ha perdut un nivell d'anàlisi: els aspectes pedagògics i psicològics són insuficients per descriure la complexitat del que passa a l'aula quan es tracta d'un tema concret, i que podem interpretar com una intensa interacció entre les dues dimensions (fig. 1.1) proposades per Méheut i Psillos. En definitiva, es troba a faltar una veritable *teoria didàctica*. Amb una tria acurada del marc teòric provarem de fer un pas per començar a salvar aquesta bretxa que separa teoria i pràctica.

	Demanda d'aprenentatge	Reconstrucció educativa
Paper del contingut científic	Menys anàlisi sistemàtica del contingut científic. El contingut científic que s'ensenya està emmarcat utilitzant els resultats de la investigació sobre el pensament quotidià dels alumnes	Punt de partida: inicialment s'analitza només des del punt de vista de la ciència; també es considera el desenvolupament històric del contingut científic
Paper de les teories educatives	Basat en les idees de Vigotski i el marc sociocultural	Es basa la tradició i cultura de la " <i>didaktik</i> " alemanya i en la didàctica de les ciències
Paper de la història de la ciència	no és gaire important	Important reconstruint el contingut científic
Idees dels alumnes	Considerat com una valuosa ajuda per a l'ensenyament -aprenentatge; dividit en aspectes conceptuals, epistemològics, ontològics; les inclou en l'anàlisi de la demanda d'aprenentatge i la planificació de l'ensenyament	Considerades una valuosa ajuda per a l'ensenyament -aprenentatge; tingudes en compte durant l'elementarització i quan es reconstrueix el contingut científic que s'ensenya
Motivació dels alumnes	No esmentada explícitament	Explícitament esmentada juntament amb les actituds
Metodologia d'ensenyament	No esmentada explícitament, però relacionada amb l'anàlisi comunicativa	No esmentada explícitament
Processos cíclics, iteració	No esmentats	Sí
Continguts científics en relació a contingut de ciència escolar que es vol ensenyar	Es pot desenvolupar una analogia didàctica (model simplificat) per respondre a les demandes d'aprenentatge identificades	Més "simple" que l'estructura del contingut científic; reproduint adequadament les principals característiques del contingut científic
Meta	Desenvolupar una seqüència basada en l'evidència	Desenvolupar una seqüència basada en l'evidència

Taula 1.1. Comparació de dos enfocaments per al disseny de seqüències didàctiques de ciències (Viiri i Savinainen, 2008: 85).

Viiri i Savinainen (2008) han identificat dues tradicions en el disseny de seqüències didàctiques en ciències: la *demanda d'aprenentatge* (Leach i Scott, 2002) i la *re-*

construcció educativa (Duit, 2007). Les han caracteritzades sintèticament a la taula 1.1, que podem veure més amunt.

Cap de les dues precisa la metodologia didàctica a l'aula, però mentre que en el marc de la *demanda d'aprenentatge* es posa l'accent en la comunicació entre els participants per anar salvant la distància entre el coneixement inicial i el final (és a dir, la *demanda d'aprenentatge* generada per la seqüència), a la *reconstrucció educativa* s'està més pendent d'articular una bona organització del contingut científic per realitzar aquesta transició. Una cosa i una altra no haurien de ser incompatibles. Una i altra opcions reforcen la idea que fan falta teories orientades als continguts específics: primer, per tenir en compte les dificultats conceptuals que els alumnes solen trobar a cada tema, tal com ha mostrat la recerca, i segon, perquè l'aprenentatge, a la pràctica, no necessàriament segueix els mateixos camins a cada tema. Aquestes teories específiques, per a cada tema i segons el nivell, haurien de complementar el paper de teories més generals (Viiri i Savinainen, 2008).

Finalment, pel que fa a la validació de les seqüències, Méheut i Psillos (2004) observen dos grans mètodes: per una banda el de comparar els resultats amb els objectius a fi de valorar l'efectivitat de la seqüència, i per una altra la comparació de les rutes d'aprenentatge dissenyades amb les que realment s'han seguit, amb la finalitat de validar –o no– les hipòtesis realitzades. Si el primer mètode (que anomenen "*enginyeria de producció*") pot servir per fer una avaluació de "*caixa negra*", comparant la diferència entre inici i final, el segon ("*recerca experimental*"), més laboriós i lent, té l'avantatge que permet acostar-se als mecanismes que han fet anar per una via o una altra o que han portat a l'èxit o al fracàs, permetent així introduir millores de forma més precisa. En aquest treball no ens proposem avaluar l'eficàcia de la seqüència considerada (encara que els resultats d'aprenentatge i implicació a l'aula ens semblen força satisfactoris) sinó que, mitjançant un mètode del segon tipus (de recerca experimental) intentarem validar la seqüència, comprovant si efectivament les hipòtesis realitzades a nivell *meso* i *micro* es compleixen o no a nivell *micro* i *nano*.

A l'hora de dissenyar i portar a l'aula una seqüència didàctica, amb quins obstacles ens podem trobar? Podem esperar dificultats, com a mínim, a l'hora d'especificar

les bases epistemològiques i psicològiques, emocionals i socials, pel que fa a l'àmbit teòric, i per trobar el paper del professorat en el procés i la forma de representar les seqüències, pel que fa al més pràctic. Vegem-les.

1.2.3 Algunes dificultats epistemològiques i psicològiques

Com ja hem dit, actualment hi ha un gran consens en concebre l'aprenentatge de les ciències centrat en un procés de modelització. Segons això, "*l'aprenentatge basat en models és la construcció de models mentals dels fenòmens*" (Gobert i Buckey, 2000). El constructe *model mental* està sent molt utilitzat en recerca didàctica, però amb una gran dispersió sobre el seu significat concret, donant al terme una polisèmia que dificulta enormement el progrés de la recerca en aquest camp (Gutiérrez, 2005). Per això, en el nostre treball vetllarem especialment per mantenir la fidelitat a un determinat model de construcció i reconstrucció dels models mentals, definit amb la màxima precisió possible.

Gobert (2000) recomana començar la construcció escolar dels models per la seva estructura i components, i després afegir-hi informació causal i dinàmica. Així, doncs, començarem pels components. La majoria d'autors aporten com a mínim dues dimensions en el procés de modelització: el dels fets i el del model. Així, Tiberghien, Vince i Gaidioz (2009) proposen una ontologia simplificada de dos tipus d'entitats (fig. 1.2a) en comptes de la que consideren més correcta –amb teories i models separats en dues classes diferents– amb la finalitat d'ajudar al disseny de seqüències a secundària.

Segons aquest punt de vista, hi ha un doble procés en la modelització: un procés que procedent de la teoria la fa més concreta, i un altre que procedeix dels fets i els torna més teòrics (p. 2281). Això fa que la tasca principal a la classe de ciències sigui establir connexions dels tipus 2 i 3 de la fig. 1.2b, sense excloure les connexions 1 i 4.

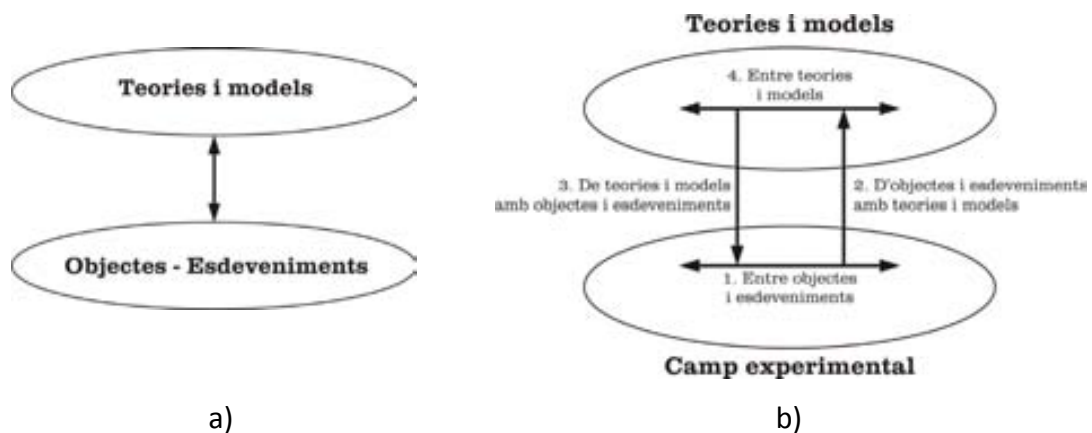


Figura 1.2. a) Teoria dels dos mons, per al disseny de seqüències a secundària. b) Eina per modelitzar relacions, des de la teoria dels dos mons (Tiberghien, Vince i Gaidioz, 2009: 2283 i 2294).

Per altra banda, Psillos, Tselfes i Kariotoglou (2004) segueixen un plantejament (fig. 1.3) semblant a la teoria dels dos mons, amb el món real i el món de la ment com a dues dimensions.

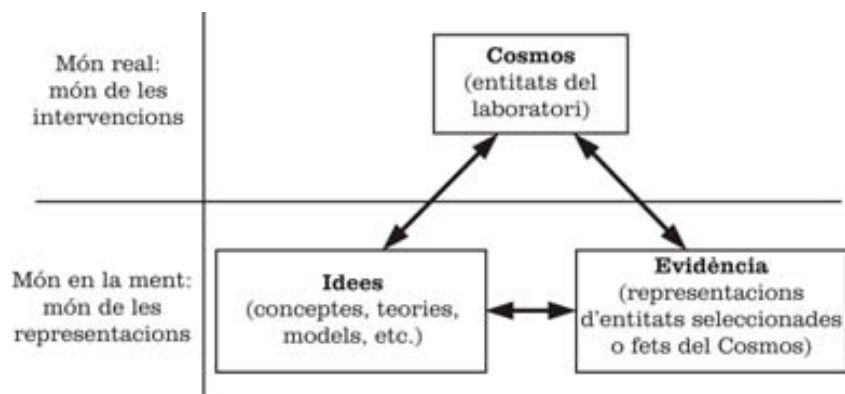


Figura 1.3. Model *Cosmos-Evidència-Idees* de la recerca científica (Psillos, Tselfes i Kariotoglou, 2004: 561).

En aquest cas els autors proposen sis tipus d'activitats a l'hora de dissenyar seqüències didàctiques, corresponents a les tres fletxes amb doble sentit de la figura anterior. Al discutir les conclusions compararem aquests dos enfocaments, amb quatre o sis tipus de recorreguts, amb els que hem detectat a les nostres dades.

Si ara ens interessem pel funcionament dels models, trobarem autors que consideren que la modelització ha de consistir en la construcció successiva d'un seguit de models del mateix sistema, que van evolucionant (per exemple, Rea-Ramirez, 2008, fig. 1.4).

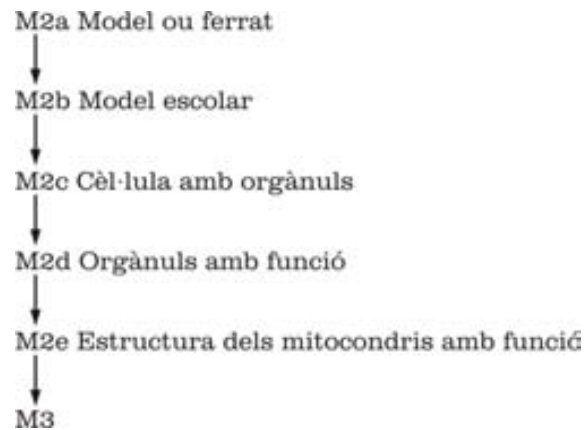


Figura 1.4. Seqüència de models intermedis desenvolupats al llarg d'un itinerari d'aprenentatge des de la concepció prèvia de cèl·lula dels alumnes fins al model buscat, M3 (basat en Rea-Ramirez, 2008: 54).

El procés es realitza (Rea-Ramirez, Clement i Núñez-Oviedo, 2000) a partir de concepcions inicials de l'alumnat, i utilitzant les seves habilitats de raonament natural, tenint en compte que sovint el model que es vol ensenyar (*model meta*) no serà encara l'acceptat pels experts (fig. 1.5).

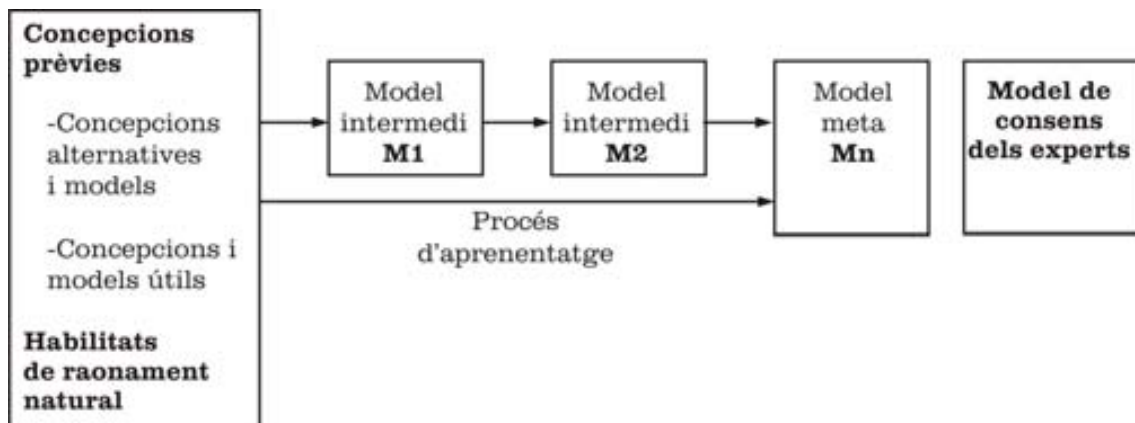


Figura 1.5. Procés d'aprenentatge concebut com la construcció d'una successió de models fins arribar al model *meta* (Rea-Ramirez, Clement i Núñez-Oviedo, 2000: 34).

Caldria afegir que el fet que el model meta no sigui encara el dels experts no ha d'implicar una valoració negativa. La condició seria que reculli components, propietats i relacions que siguin correctes (encara que no siguin completes) i que sigui capaç de donar compte –si més no fins a cert punt– del funcionament de sistemes reals que tinguin un interès rellevant per a la ciutadania.

Si l'opció que acabem de veure consistia en construir models successius d'un mateix sistema, una altra possibilitat consisteix en construir un seguit de models de sistemes diferents, fortament relacionats, de manera que el funcionament dels uns facilita la construcció del funcionament dels altres (com a Clement i Brown, 2009, fig. 1.6).

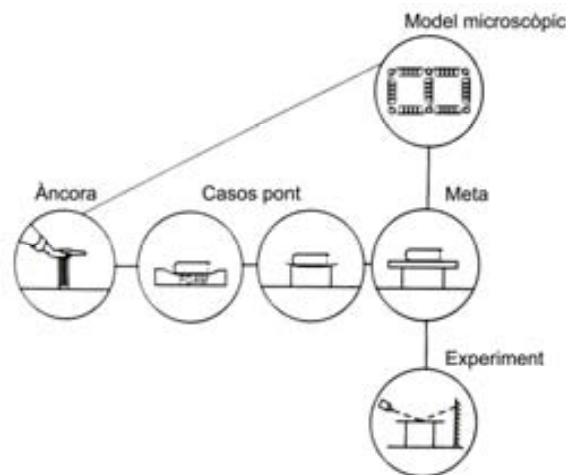


Figura 1.6. Seqüència de models per a la comprensió de la deformació d'una taula (Clement i Brown, 2009: 151).

La figura anterior mostra el seguit de sistemes que cal recórrer i estudiar per poder connectar el cas inicial (que anomenen “àncora”: una molla deformant-se mitjançant una força) fins arribar al model final (“meta”: una taula es deforma quan se li fa força, fins i tot si és d'intensitat moderada), del qual s'intenta construir un model explicatiu (“model microscòpic”, comparant la taula amb una estructura elàstica), passant per diversos sistemes intermedis que cal modelitzar (“casos pont”, com el cas d'una escuma o una fullola deformades pel pes d'un llibre). El resultat final es pot sotmetre a la comprovació experimental (“experiment”, fent rebotar un raig de llum làser en un mirall posat damunt de la taula i observant-ne la desviació quan una persona s'enfila a la taula). Com veiem, la construcció reeixida d'aquests models necessita coneixements previs per part dels alumnes, així com recórrer a resultats experimentals (Clement i Brown, 2009).

Podem pensar en una seqüència com l'estudi d'un seguit de sistemes, cadascun dels quals comparteix parcialment la seva dinàmica amb l'anterior, de manera que progressivament es va acostant a la interpretació buscada per al sistema *meta*.

Centrem-nos ara en la dinàmica dels models, allò que els fa millorar. Núñez-Oviedo, Clement i Rea-Ramirez (2008) consideren que per fer avançar la construcció del model que interessa, s'intenta provocar la *insatisfacció* de l'alumne amb el model anterior; llavors, tenint en compte els *condicionants* de cada cas, s'espera que l'alumne descarti el model utilitzat (fig. 1.7a) o bé que en construeixi una versió més avançada (fig. 1.7b).

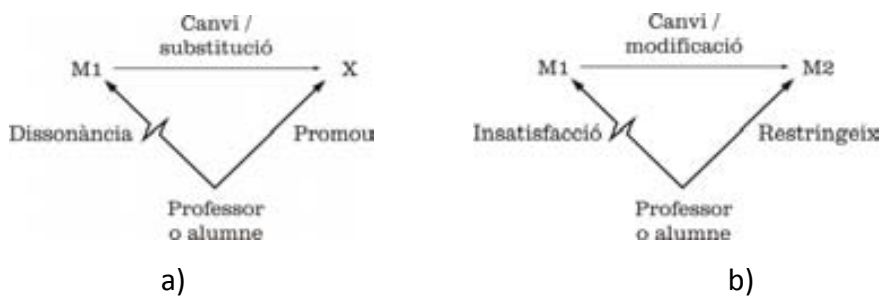


Figura 1.7. a) Descartant un model. b) Modificació del model (Núñez-Oviedo, Clement i Rea-Ramirez, 2008: 175 i 176).

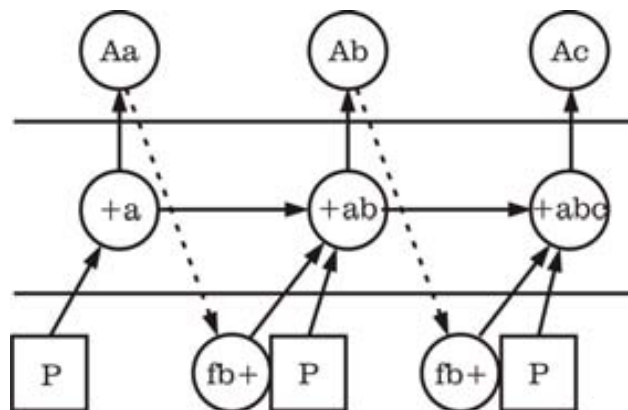


Figura 1.8. Evolució de models per acreció (Núñez-Oviedo, Clement i Rea-Ramirez, 2008: 178).

Segons això, per fer evolucionar el model, indicat a la franja central de la fig. 1.8 mitjançant un seguit de cercles, es tracta d'anar-li afegint elements (a, b, c...) que el van enriquint i completant. Per aconseguir-ho, el professor (P) fa una pregunta sobre el model (representada per una fletxa entre P i el model vigent) que s'adreça a l'alumnat. Algun dels alumnes (Aa, Ab, Ac...) contesta al professor (fletxa discontinua), que si respon amb un feedback positiu (fb+) permet continuar el procés amb noves preguntes.

El problema amb aquest plantejament és que la regulació del procés (fb+) és en mans del professor. Perquè l'alumne vagi adquirint autonomia respecte del professor i sigui capaç de pensar correctament pel seu compte seria necessari que les tasques de regulació les assumís ell mateix.

I finalment, pel que fa a dinàmica de canvi dels models, es constata la falta d'una teoria adequada (Clement, 2000), que entri més a fons en els processos psicològics d'aprenentatge de cada alumne, ja que "*la cognició individual és la característica central de les que determinen l'aprenentatge*" (Clement, 2000: 1051), i així comprendre la dinàmica dels raonaments de l'alumnat, per exemple durant una conversa (Sherin, Krakowski i Lee, 2012).

En definitiva, s'ha anat progressant en la fonamentació de les *seqüències didàctiques* –en un àmbit *mitjà* i *micro*– i també pel que fa a les *progressions d'aprenentatge* –a un nivell *macro*– (Duschl, Maenga i Sezenb, 2011; monogràfic en el número d'agost del 2009 del *Journal of Research in Science Teaching*), però queda sense resoldre adequadament el nivell que hem anomenat *nano*. En aquest aspecte, Gutiérrez (2001) aporta una prometedora explicació de "*l'estructura fina del canvi conceptual*".

Per altra banda, també queden per comprendre millor els processos socials, emocionals (Zembylas, 2005; Pintrich, Marx i Boyle, 1993) i metacognitius implicats en l'aprenentatge.

1.2.4 Algunes dificultats emocionals

Si tradicionalment l'emoció s'ha oposat a la raó, actualment es va estenent el convenciment que els aspectes cognitius i emocionals estan íntimament lligats: una i altra són interdependents, es pressuposen, i no es poden entendre separatament (Zembylas, 2002, 2005). Però aquesta relació encara s'ha investigat poc pel que fa al camp de la didàctica de les ciències (Duit i Treagust, 2003).

Les emocions semblen tenir una funció disruptiva de la cognició (Zembylas, 2005), capten l'atenció, la dirigeixen i estableixen prioritats en el pensament i serveixen per avaluar i catalogar qualsevol cosa de la vida (Morgado, 2006), i és per això que

hem de buscar l'aliança entre sentiments i raó, de manera que aprendre ciències sigui un acte que integri cognició i emoció (Hong, Lin i Lawrenz, 2012).

Potser perquè encara no tenim clara una teoria que encaixi emoció i cognició, en educació s'ha prioritzat l'aspecte cognitiu a expenses de l'emocional (Picard i al., 2004). D'acord amb Alsop i Watts (2003), cal que l'alumnat se senti confortable emocionalment a classe, perquè altrament els millors programes i pràctiques docents no tenen èxit (Claxton, 1989). I quan s'ha buscat d'intensificar l'estimulació emocional de l'alumnat durant la classe de ciències, s'ha aconseguit de millorar-ne els aprenentatges a mitjà i llarg termini (Allen, 2010). L'aprenentatge no és un procés emocionalment fred, sinó que les emocions positives l'alimenten (Laukenmann i al., 2003). Un clima escolar poc acollidor no només empitjora la qualitat dels aprenentatges, sinó que fins i tot afavoreix conductes agressives (Debarbieux, 2012).

La falta d'una consideració prou seriosa de l'aspecte afectiu també podria tenir relació amb la manca de vocacions científiques en el món occidental (Pintrich, Marx i Boyle, 1993). Com a conseqüència d'algun error fonamental, l'interès de l'alumnat envers les ciències va decaient contínuament al llarg de la seva escolaritat (Hong, Lin i Lawrenz, 2012), mostrant un estancament a l'entorn dels 9 anys i un declivi a partir dels 11 (Osborne, Simon i Collins, 2003), que fa preguntar a aquests autors si la ciència escolar no estarà fent més mal que bé (p. 1060). Una pregunta realment inquietant.

Hem vist més amunt que en el procés de modelització sol ser necessari crear en l'alumne insatisfacció envers el seu propi coneixement, fruit d'estratègies de dissonància cognitiva que el professor ha d'utilitzar (Clement i Rea-Ramirez, 2008). Aquest conflicte li genera, naturalment, reaccions emocionals. Quan percebem alguna cosa que no ens satisfà, comencem a pensar la manera d'ajustar la lògica al sentiment o, a la inversa, generar un nou sentiment que s'ajusti a la lògica (Morgado, 2006). Segons Mandler (1999), les emocions es poden considerar un conjunt de mecanismes que asseguren la satisfacció de les inquietuds, comparen els estímuls amb els estats preferits, generant dolor o plaer, dictant en conseqüència les mesures apropiades, assumint el control de la seva execució i interrompent d'aquesta manera l'activitat en curs per proporcionar recursos per a aquestes accions. Així que si la insatisfacció de l'alumne li

acaba generant dolor, pot interrompre la seva activitat i desconnectar-se de la classe. Com que les emocions tenen conseqüències pràctiques, es pot dir que són *performatives*, són veritables actes (Zembylas, 2004) en el sentit introduït per Austin (1962) per al llenguatge.

La qüestió és com fer compatibles la generació d'insatisfacció –necessària per millorar els models– amb mantenir la connexió a la classe; és a dir, com fer que el conflicte es visqui en positiu. Zembylas (2004) atribueix un paper molt important al “*to emocional*” de la classe. Les emocions viscudes socialment a l'aula impacten fortament les vides d'alumnes i professors, condicionant intensament la implicació de l'alumnat en el seu propi aprenentatge i les relacions a l'aula. Per això són decisives les normes emocionals que professor i alumnes construeixen mútuament; si són prou positives, constitueixen el suport adequat perquè les activitats escolars es desenvolupin amb implicació i culminin amb èxit.

Per altra banda, aquest mateix autor considera que les emocions no són actituds –mentre que les emocions són de curta durada, les actituds es desenvolupen a llarg termini– però contribueixen a la seva formació. Considerem que per anar construint aquesta actitud positiva en relació a l'aprenentatge de les ciències al llarg del temps cal trobar la forma de convertir allò que sembla negatiu a curt termini (la insatisfacció envers les pròpies creences) en positiu a llarg (la satisfacció per l'aprenentatge reeixit, basada tant en les noves capacitats adquirides com en haver estat capaç de superar dificultats rellevants). Segons això cal fer el possible perquè els nostres alumnes puguin enfrontar-se amb èxit a dificultats reals i valorin el mèrit i la utilitat de l'aprenentatge realitzat. A curt termini acaba generant-se satisfacció pel que han fet, mentre que a llarg va millorant la seva pròpia consideració com a capaços de realitzar amb èxit aquestes tasques (Pintrich i al., 1993). L'alegria per l'èxit i l'actitud positiva envers la seva capacitat en els estudis de ciències són més decisius per a l'èxit escolar que la naturalesa dels temes estudiats (Laukenmann i al., 2003). Percebre's com a capaç en ciències és el factor motivador més rellevant de cara als resultats (Bryan, Gynn i Kittle-son, 2010): motivació i resultats es realimenten.

Tal com ho veiem, doncs, la modelització, en un context social d'aula apropiat, pot ajudar els alumnes a aprendre amb èxit, tot i que els exigeixi més esforç que altres formes de fer classe, i aquesta és segurament la millor forma de motivació a curt i llarg termini.

1.2.5 Algunes dificultats socials: el diàleg

Un altre aspecte poc tingut en compte en la construcció escolar del coneixement és el social. Ja hem comentat la importància del clima afectiu a l'aula. Zembylas (2005) afirma que hi ha una interrelació entre comprensió conceptual, comprensió emocional i acció social.

Les teories cognitives de ciència, que poden fonamentar l'ensenyament escolar de les ciències, no són completes perquè els falta la dimensió social (Giere, 1992), i si això no es té prou en compte, es corre perill de caure en el *mentalisme* (Lemke, 1993).

Per evitar-ho, cal aconseguir que la dinàmica de l'aula no interfereixi sinó que estigui al servei de la construcció de coneixement. Això comporta un bon grapat de conseqüències pràctiques, però volem posar l'accent en el diàleg a l'aula, com a mètode que tant pot facilitar la construcció de coneixement individual com ajudar a generar una dinàmica participativa en el grup.

Diversos investigadors (entre ells, Viiri i Savinainen, 2008) consideren que hi ha quatre maneres d'enfocar la comunicació a l'aula, segons que les idees dels alumnes es tinguin o no en compte (*dialogant* o *autoritari*) i de si la classe avança per la interacció del professor amb els alumnes o no (*interactiu* o *no interactiu*) (taula 1.2).

	Interactiu	No interactiu
Autoritari (centrat en la ciència)	El professor es proposa arribar a un determinat punt de vista	El professor presenta un determinat punt de vista
Dialogant (tenint en compte la comprensió dels alumnes)	El professor vol que els alumnes expressin les seves opinions i treballar amb diferents punts de vista	Tenint en compte les idees dels alumnes, el professor revisa o resumeix els punts de vista dels alumnes

Taula 1.2. Els diversos enfocaments comunicatius i propòsits didàctics a l'aula (Viiri i Savinainen, 2008: 81).

És cert que els quatre enfocaments poden resultar útils i necessaris en algun moment (Scott, Mortimer i Aguiar, 2006) i que de vegades un excés de diàleg o d'autoritat pot resultar contraproduent (Ford i Wargo, 2012). Però en la línia de les nostres consideracions prèvies està clar que ens decantem per tenir molt en compte les idees dels alumnes i també potenciar el diàleg. Optem, doncs, per l'opció "*dialogant-interactiva*" com a opció bàsica més apropiada per regular la millora dels models dels alumnes en un clima d'aula positiu i de col·laboració. És l'opció defensada també pels autors originals del quadre anterior (Scott, Mortimer i Aguiar, 2006; Aguiar, Mortimer i Scott, 2010), però adverteixen que si l'opció dialògica és adequada per afavorir l'exploració de les idees de l'alumnat, exigeix, per altra banda, alguna resposta d'autoritat tant per conduir el diàleg com per arribar a conclusions científicament acceptables; al mateix temps, qualsevol intervenció d'autoritat genera la necessitat d'establir-hi un diàleg amb els alumnes perquè ho puguin assimilar. És en aquest sentit que parlen de *tensió* entre discurs autoritari i dialògic, fent que es realimentin mútuament.

En canvi, en moltes recerques a l'aula (per exemple Lemke, 1996; Candela, 1999; Mortimer i Scott, 2003; DeWitt i Hohenstein, 2010) s'ha trobat un gran predomini de l'anomenat "*patró triàdic*": Pregunta del professor – Resposta d'un o diversos alumnes – Avaluació per part del professor (P–R–A). Es considera que el patró triàdic condiciona negativament la relació de l'alumne amb el coneixement (Ford i Wargo, 2012), fomenta l'"*estigma de l'error*" (McNeil i Pimentel, 2010: 204) entre els alumnes, desanimant la seva participació, de forma que quan s'abandona, l'actitud dels alumnes esdevé més activa (DeWitt i Hohenstein, 2010). Per evitar que la ciència s'oposi al sentit comú (Lemke, 1993), amb el consegüent desànim de l'alumnat, val la pena apostar pel diàleg per donar valor als recursos intel·lectuals propis dels alumnes (Warren i al, 2001) i utilitzar-los per construir coneixement científic.

El diàleg té l'avantatge que com a tècnica no requereix regles complexes ni llargues etapes d'aprenentatge. Mentre es mantingui el respecte i la relació positiva incondicional entre els participants, el diàleg facilita la construcció del coneixement i també de la confiança de l'alumne en les seves capacitats per fer-ho (Bolton, 2005).

Quan la pràctica estableix com a normal a l'aula que el professor escolti els alumnes, és més fàcil que aquests també s'escoltin entre ells (Schwarz i al., 2009), generant una dinàmica d'aula més col·laborativa. Tradicionalment la classe s'ha basat en l'atenció de l'alumne a les paraules del professor, paraules que ha de prendre seriosament; ara es tracta que tothom, fins i tot el professor, prengui seriosament i dediqui atenció a les idees dels alumnes, sempre que es formulin amb serietat. Això fa que la marxa de la classe sigui difícil de preveure (Scott, Mortimer i Aguiar, 2006) i justifica que el nivell *nano* d'una seqüència no es pugui introduir en el seu disseny, i només es pugui observar a l'aula. S'ha trobat que un enfocament dialògic millora el raonament crític, tant en la producció d'arguments com en l'orientació a valors, més que no pas altres mètodes no dialògics (Frijters i Rijlaarsdam, 2008).

Però el diàleg no és només una estratègia útil. Ford i Wargo (2012) afirmen, a partir d'idees de Bakhtin, que la comprensió és dialògica, de manera anàloga a com ho fa Pask (1976) (vegeu apartat 2.2.3 del nostre treball) a l'elaborar el seu model de conversa –ja sigui amb una altra persona o amb si mateix– com una forma de preservar el coneixement adquirit: els arguments que apareixen en una conversa serveixen per aprendre, però aprendre també permet generar arguments (von Aufschnaiter i al., 2008).

Quan els alumnes i el professor s'impliquen en una interacció argumentativa, han d'assumir uns rols i desenvolupar uns criteris epistèmics més semblants als de la comunitat científica que quan es tracta d'ensenyament transmissiu (McNeil i Pimentel, 2010). Que els alumnes no tinguin prou oportunitats a classe per dialogar intercanviant arguments, o que el professor no disposi de les estratègies didàctiques per organitzar-ho, són impediments importants per al seu propi progrés (Driver, Newton i Osborne, 2000). Per a aquests autors el diàleg i l'argumentació han de servir per desenvolupar la comprensió conceptual, la competència investigadora, la comprensió de l'epistemologia de la ciència, de la ciència com a pràctica social i de la comprensió pública de la ciència. Segons Lemke (1993: 199), "*només podem crear sentit si compartim les mateixes maneres d'elaborar significats*" i afegeix que compartir aquests significats ens fa ser membres del mateix grup social. Per això l'enfocament dialogat de la classe enforteix

la comunitat d'aula: el diàleg i el consens van construint unes maneres comunes de veure les coses, de fer, de valorar, de pensar, de parlar... diferent de les que tenen els que no hi han participat. El diàleg és, per tant, una eina amb un gran potencial educatiu.

També segons Lemke (1993: 29), el diàleg científic té dos patrons: el *patró de l'activitat* (els participants s'involucren en una activitat, sobre la qual generen expectatives que volen assolir) i el *patró temàtic* (adreçat a l'elaboració de significats sobre el tema que es tracta). Això demana al professor fer-se càrrec d'un doble sistema de regulació, un per cada patró, per assegurar que tots dos avancen satisfactòriament cap a les seves respectives finalitats. Per aquest motiu, la regulació del diàleg presenta tant reptes epistèmics com socials (Kuhn i Reiser, 2006), fent més complexa la tasca per al professor que regular el patró triàdic, però també més agraïda si tot funciona bé. És per això que una part important d'aquest treball es dedica a l'anàlisi d'una conversa entre un professor i un alumne sobre un tema de ciències per intentar de copsar-ne la dinàmica.

A la recerca didàctica s'han utilitzat alguns tipus de diàleg ben caracteritzats, com el vigotskià i el piagetjà (Gutiérrez, 2003). En el primer cas, dialogant sobre un sistema físic, i aportant la informació que l'entrevistat necessita, es vol arribar a un consens explícit sobre el funcionament del sistema, consens assequible a un observador extern. En el segon es desenvolupa de forma semblant, normalment amb possibilitat d'interacció amb el sistema físic, però amb la finalitat d'establir les capacitats de la persona entrevistada, no d'arribar a un consens, resultat que no sempre serà compartit per un observador. En aquest treball optarem per un tercer tipus d'entrevista, "teachback" (Pask, 1975; Gutiérrez, 1994), que busca arribar al consens observable sobre el funcionament del sistema, sense aportar informació extra a l'entrevistat ni diagnosticar les seves capacitats.

1.2.6 El paper del professorat

Acabem de veure que la feina del professor es torna més complexa en un plantejament dialogat. No només ha de regular els dos patrons actius sinó que li exigeix un coneixement de la matèria molt més sòlid –“a prova d’alumnes”– que el necessari en un plantejament transmissiu.

L’ofici del professor, per tant, és un altre dels elements clau a tenir en compte a l’hora de comprendre la base de les decisions que es prenen durant l’elaboració d’una seqüència (Méheut i Psillos, 2004). Aquest encreuament de coneixement didàctic i de coneixement de la matèria, que s’ha anomenat *coneixement didàctic del contingut* (PCK, “*pedagogical content knowledge*”), consisteix en una capacitat per transformar els continguts que cal ensenyar, utilitzant formes didàcticament eficaces, per adaptar-les a les habilitats i coneixements dels seus alumnes (Shulman, 1987). Aquest coneixement professional del docent s’hauria de nodrir tant dels resultats generats per la recerca com de la reflexió sobre la seva pròpia experiència professional (Andersson i Bach, 2005).

Els dissenyadors de seqüències didàctiques potser aspiren a obtenir resultats “a prova de professors”, però saben que no és possible (Lijnse i Klaassen, 2004), perquè cal comptar amb els efectes de les maneres de veure del professorat i de la seva experiència docent (Duit i Treagust, 2003; Aliberas i Solsona, 2009).

Els canvis que estem propugnant també requereixen paciència amb l’alumnat, perquè impliquen un canvi en el *contracte didàctic* (Tiberghien, 2000; Lijnse i Klaassen, 2004), és a dir, en les regles explícites i implícites que regulen el funcionament de la classe.

1.2.7 La representació de les seqüències

Una seqüència es presenta com una sèrie d’activitats didàctiques que es proposen a l’alumnat amb el màxim de claredat. Però segons el que hem anat veient, una bona seqüència ha de donar resposta adequada a un munt de condicionants curriculars, epistemològics, disciplinars, psicològics, didàctics... De la mateixa manera que du-

rant un viatge només veiem el paisatge immediat però ens orientem mitjançant un mapa, hi hauria alguna manera d'elaborar "mapes" de les seqüències –o potser diversos "mapes" a diferents escales– que ajudin amb senzillesa al professor a donar el sentit pertinent a cadascuna de les activitats concretes? Méheut i Psillos (2004: 515) també trobem a faltar eines per representar l'ensenyament. Repassarem algunes de les propostes que hem trobat i n'examinarem la utilitat.

Potser la més simple és una taula que recull, per a cada contingut, els probables punts de partida dels alumnes i la concepció que es vol arribar a aconseguir (taula 1.3); és a dir, concreta la *demanda d'aprenentatge*. De fet descriu alguns dels models de partida i el model meta, però no hi ha indicacions de com es pensa realitzar el trajecte.

Aspecte	Punt de partida (Concepcions quotidianes)	Requeriments del curs (Ciència escolar)
Existència i propietats de la llum	La llum s'associa només amb la seva font o amb els seus efectes	La llum existeix a l'espai entre fonts i efectes
Propagació de la llum	La llum es pot considerar estàtica, no relacionada amb el moviment, pot ser un estat	La llum es propaga a $3 \cdot 10^8$ m/s de la font a través d'un nombre infinit de línies rectes
Conservació de la llum	La llum és pot fer més forta o dèbil amb lents. Es pot afeblir i desaparèixer quan és prou lluny de la font de llum	La llum es conserva si no és absorbida per un medi material. La il·luminació disminueix segons els quadrat de la distància d'una font puntual

Taula 1.3. Fragment d'una taula d'Andersson i Bach (2005: 204) sobre aspectes conceptuals de la llum en el raonament quotidià i en la ciència escolar.

L'exemple següent (taula 1.4) també compara la ciència escolar que es vol ensenyar amb els models quotidians que solen utilitzar els alumnes. La novetat aquí és que hi apareixen separats els aspectes ontològics, conceptuals i epistemològics, però tampoc concreta la ruta a seguir.

Aspectes de la ciència escolar que es volen tractar	Punts de vista quotidians típics dels alumnes
<p><i>Aspecte ontològic:</i> La força és una propietat d'una interacció entre dos objectes</p>	La força és una propietat innata o adquirida dels objectes (ímpetu)
<p><i>Aspecte conceptual:</i> La interacció entre dos objectes implica que es fan forces mútuament: les forces sempre apareixen aparellades</p>	Els objectes inerts o inanimats no poden exercir forces
<p><i>Aspecte epistemològic:</i> La noció d'interacció simètrica entre dos objectes (com la tercera llei de Newton) és aplicable a totes les situacions</p>	La tercera llei de Newton s'utilitza en algunes situacions però no en altres (per exemple, on es pugui aplicar el principi de dominància) depenent de les característiques del context de la situació que es tracti

Taula 1.4. Taula d'anàlisi de la *demanda d'aprenentatge* per al concepte de força (Viiri i Savinainen, 2008: 204).

Modelatge	Coneixements de física dels alumnes	Coneixement quotidià ja conegut	Per aprendre a classe de física
Teoria / model	-Velocitat -Moviment uniforme i no uniforme <i>Aquests conceptes s'ensenyen immediatament abans de la introducció de força (grau 10); les avaluacions suggereixen que han estat compresos si més no parcialment pels alumnes</i>	"Causalitat-força"	-Interaccions -Força exercida pel sistema A sobre el sistema B -Lleis de la mecànica
Relació entre els dos mons (teoria / model, objectes / esdeveniments)	Un objecte es representa per un punt, la seva trajectòria per una línia, i la seva velocitat mitjana per la raó entre la distància entre dues posicions del punt i el temps que triga a viatjar entre ells <i>De nou, les avaluacions suggereixen que els alumnes comprenen fàcilment la noció de velocitat mitjana</i>	"Força-moviment"	-Acció-Força (sense moviment i amb moviment)

Taula 1.5. Fragment d'una taula de Tiberghien, Vince i Gaidioz (2009: 2293) recollint la distància en el coneixement sobre el tema de l'acció i la força.

La taula 1.5 recull de forma separada els coneixements previs dels alumnes: els procedents de l'ensenyament –tenint en compte els resultats de les avaluacions– i els procedents del raonament de sentit comú, concretant també el que es tractarà

d'ensenyar. La primera columna fa referència als quatre tipus de relacions que hem mostrat a la figura 1.2b, procedent del mateix article (Tiberghien, Vince i Gaidioz, 2009). Aquí s'opta per una descripció més concisa del nou coneixement que no detalla el contingut del model a construir ni tampoc els passos previstos per aconseguir-ho.

Hem pogut trobar diverses descripcions gràfiques del procés d'aprenentatge d'una seqüència, anomenades *estructures didàctiques* (Lijnse i Klaassen, 2004). Per exemple, a la fig. 1.9 veiem com s'intenten relacionar els coneixements de física amb els de la naturalesa de la física, i com això genera motius per avançar. És més aviat un mapa general del procés i no entra en detalls. Però és interessant perquè hi introdueix l'important aspecte de la motivació intrínseca per anar endavant.

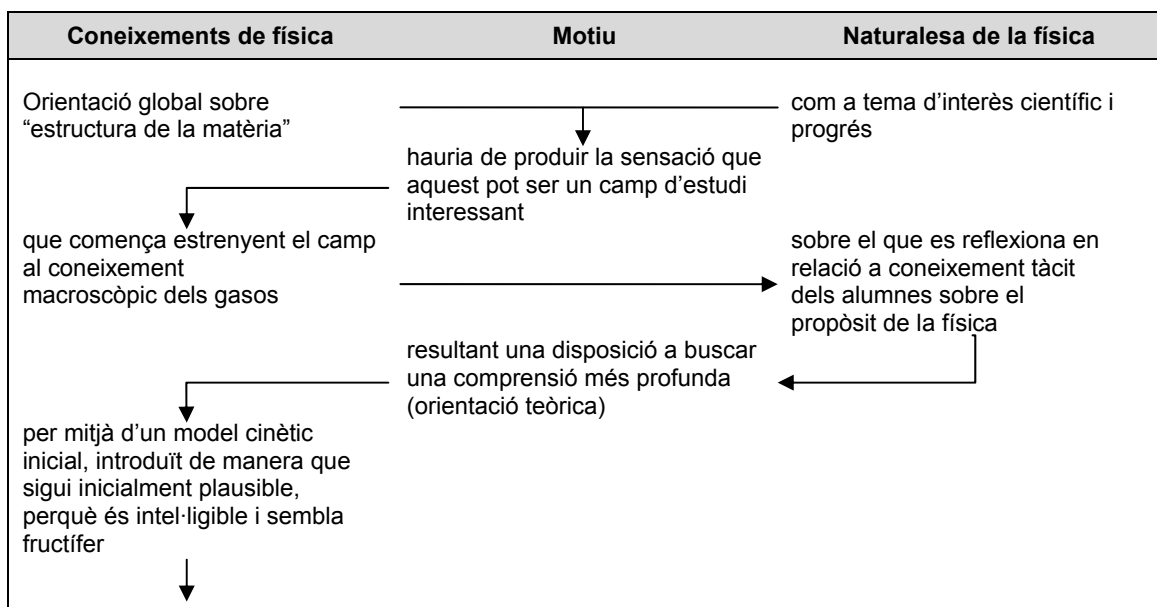


Figura 1.9. Part d'una *estructura didàctica*, basada en resolució de problemes, per a una introducció al model de partícules (Lijnse i Klaassen, 2004: 546).

De manera semblant, per a un altre tipus de tema més orientat a les actituds i a la presa de decisions, al mateix article proposen un altre tipus d'estructura (fig. 1.10). La connexió entre el coneixement mediambiental i la necessitat de prendre decisions en aquest àmbit és el que hi genera els motius per continuar el procés.

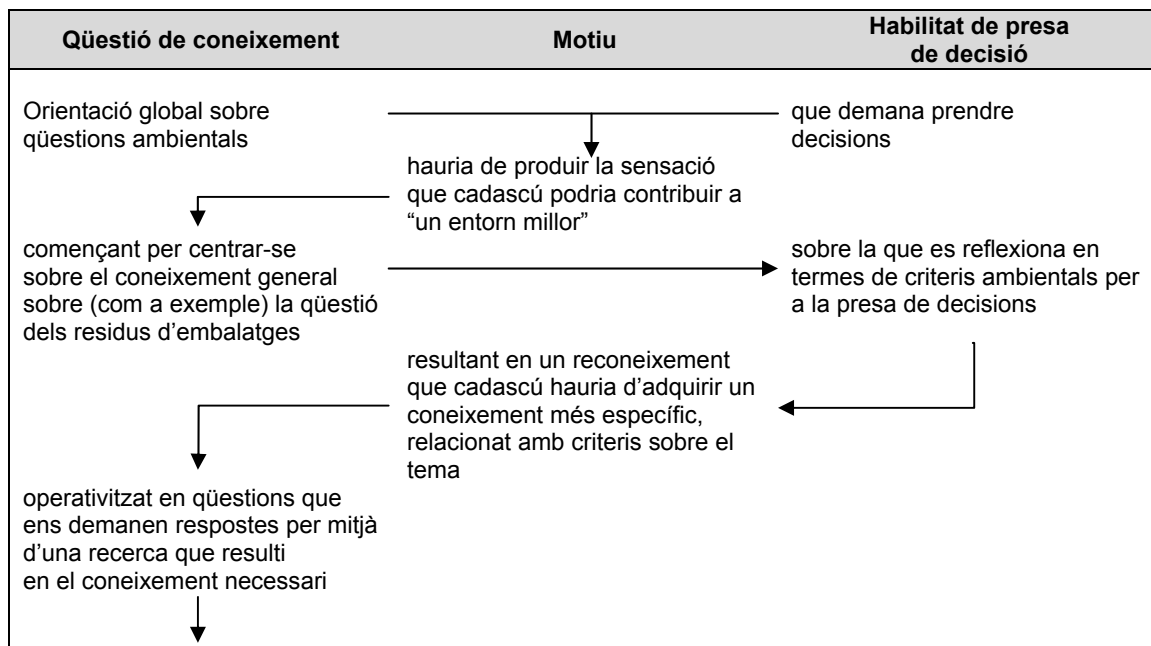


Figura 1.10. Part inicial d'una estructura didàctica, basada en resolució de problemes, sobre la qüestió dels residus (Lijnse i Klaassen, 2004: 549).

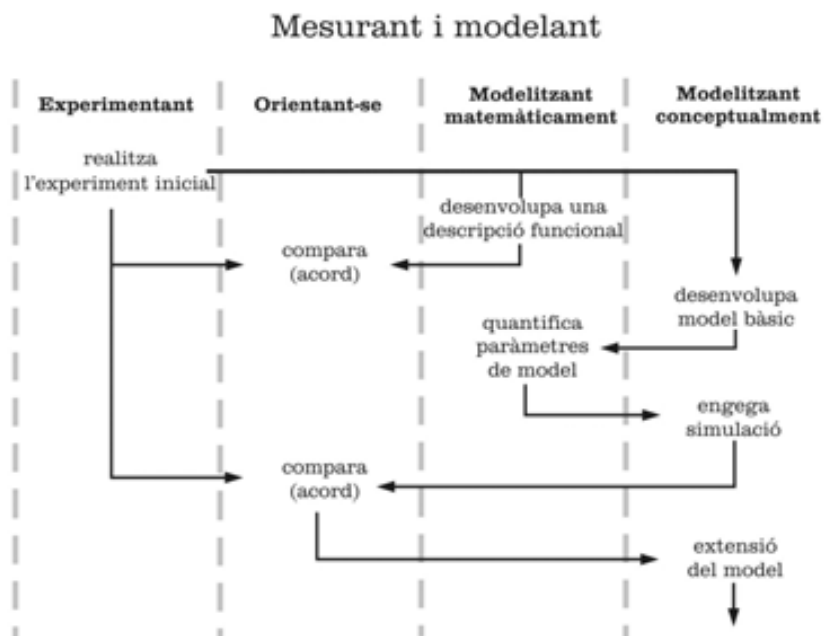


Figura 1.11. Inici de l'estructura dels processos de mesura i modelització en una seqüència sobre desintegració radioactiva amb alumnes universitaris (Schecker, 1998).

En canvi, Schecker (1998) mostra l'itinerari previst en una seqüència universitària (fig. 1.11), que recorre quatre categories d'accions: dues de modelització –matemàtica i informàtica–, una d'experimentació i una altra d'avaluació de resultats (“orientar-

se”). També ens ofereix una panoràmica general de les grans etapes de la seqüència, però no pot oferir-ne detalls, com per exemple el motiu per passar d’una part a l’altra, encara que alguns d’aquests motius es puguin intuir.

Els exemples mostrats fins aquí formen part del disseny de seqüències i es tracta, per tant, d’organitzacions o estructures *previstes* per al desenvolupament de la classe. Vegem-ne algunes que intenten recollir els *resultats* del que ha passat a classe quan s’ha intentat fer-la avançar mitjançant el diàleg, entrant, doncs, en el terreny de les intervencions individuals (nivell *nano*).

Wu (2003) ha analitzat les intervencions durant una brevíssima part d’un diàleg a una classe de química (fig. 1.12), entre un estudiant de professor i uns alumnes, distribuint-les en quatre categories relacionades segons facin referència a l’experiència quotidiana (ús, nom) o al contingut de química (nom científic, estructura).

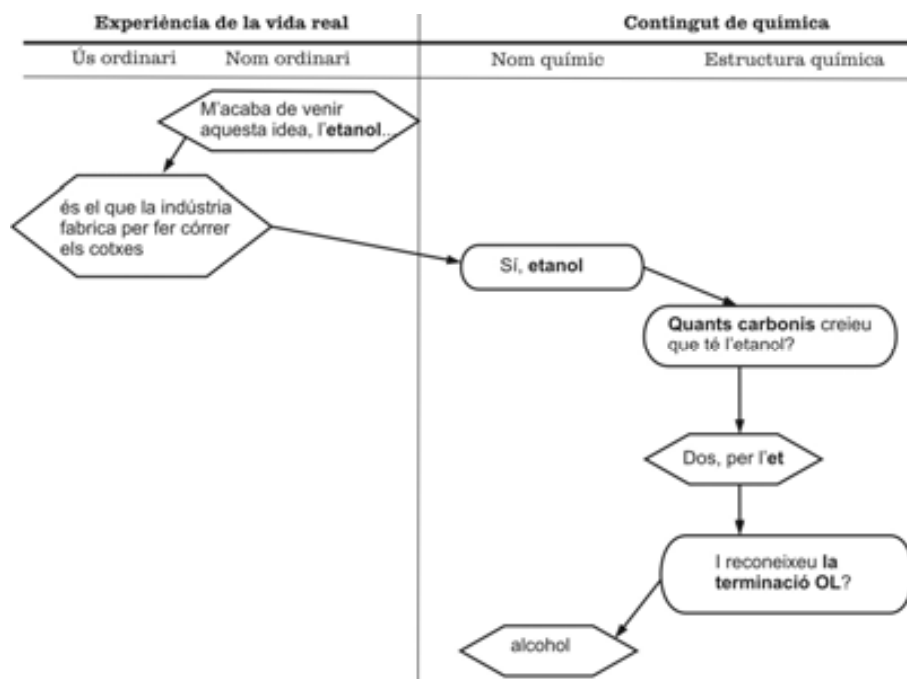


Figura 1.12. Part del diàleg a classe sobre l'extracte d'etanol. Els ovals contenen el discurs de l'estudiant de professor, mentre que les preguntes i respostes dels alumnes es mostren dins d'hexàgons. (Wu, 2003: 883).

És interessant la idea d'itinerari, de forma que el diàleg va recorrent diferents dimensions del problema. En canvi, no hi apareix cap element de dinàmica de la conversa, de motivació ni de raonament.

La constatació que durant un diàleg s'estan fent tasques diferents ha portat a diverses maneres d'analitzar-les. Començarem pel diagrama de Ford i Wargo (2012) (fig. 1.13), on el diàleg apareix desglossat en intervencions, cadascuna de les quals consisteix en una acció del professor, de l'alumne o en demanar resposta. Al mateix temps, l'acció que es fa o es demana es pot realitzar a cinc nivells diferents.

És destacable la quantitat d'informació que hi aconsegueix de reunir de forma gràficament senzilla. Amb un cop d'ull ja es pot veure que hi abunden les explicacions dels alumnes (nivell 2) i que en diferents moments diverses explicacions competeixen entre si (nivell 3). També s'hi poden entreveure alguns patrons d'interacció entre professor i alumnes.

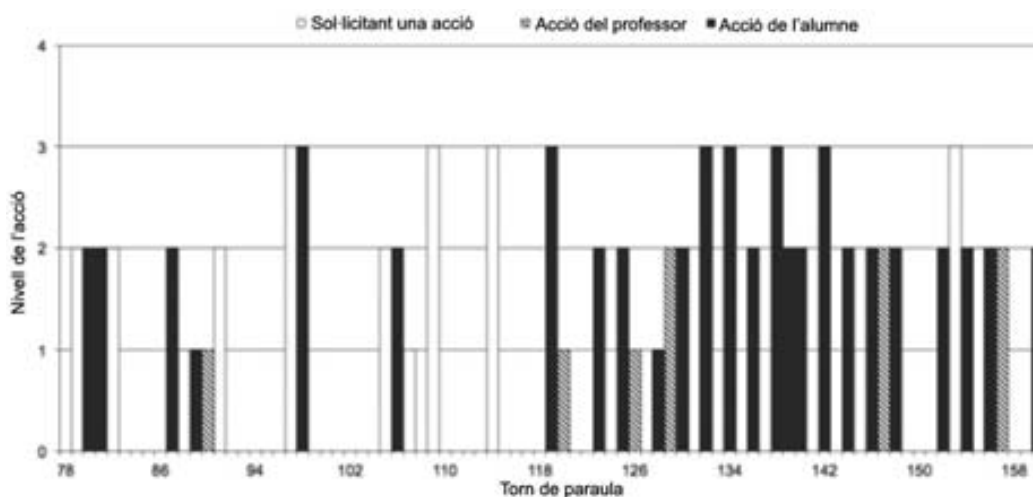


Figura 1.13. Tipus d'accions durant el diàleg. Els codis utilitzats són: 0-No explica; 1-Refà explicació; 2-Explica; 3-Diverses explicacions; 4-Avalua l'explicació (Ford i Wargo, 2012: 386).

Un diagrama amb característiques semblants és el de la fig. 1.14. Permet veure ràpidament que cada part de la conversa comença per aspectes fenomenològics, evoluciona cap a precisar les entitats físiques i després va centrant-se en els processos que es volen modelitzar utilitzant algorismes. Malauradament no s'hi veu l'actuació del professor ni les seves repercussions.

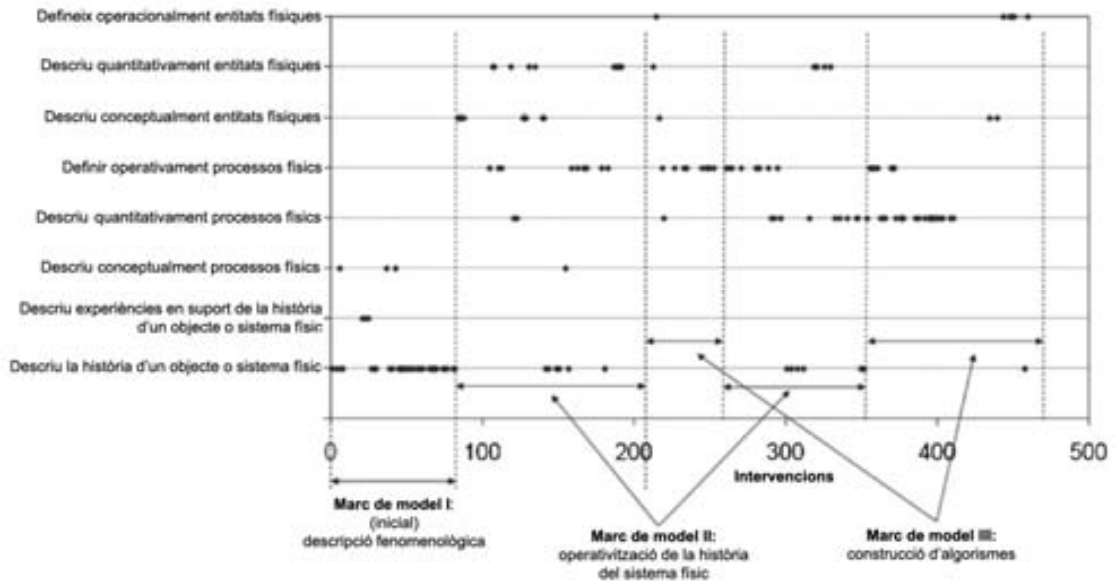


Figura 1.14. Línia de temps de la conversa entre professor i alumnes durant un procés de modelització en física mitjançant ordinadors (Louca, Zacharia i Constantinou, 2011: 931)

En un altre diagrama (fig. 1.15), relativament semblant, d'una conversa, Russ i al. (2008) creen una altra codificació per categoritzar les intervencions dels alumnes. S'hi veu clarament com la conversa augmenta la seva qualitat en tres moments indicats per fletxes, però el gràfic no en mostra el motiu.

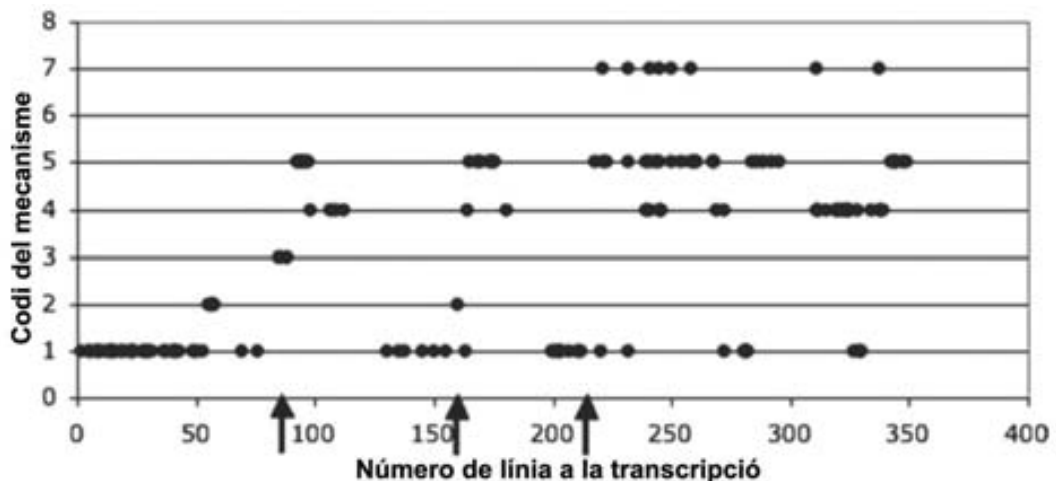


Figura 1.15. Codificació del mecanisme de conversa dels alumnes sobre caiguda d'objectes. Les fletxes indiquen els canvis aparents en la qualitat de la conversa. Els codis dels mecanismes són: (1) descrivint fenomen d'interès, (2) establint les condicions, (3) identificant entitats, (4) identificant activitats, (5) identificant propietats de les entitats, (6) identificant l'organització de les entitats, i (7) encadenant (endavant i enrere) (Russ i al., 2008: 521). (El codi "8" sembla no tenir significat).

Finalment, el següent diagrama (fig. 1.16) està més centrat en el paper del professor, ja que a l'eix vertical es recullen tres tipus d'intervencions del professor i una de l'alumnat (Viiri i Saari, 2004). Veiem que hi predominen les seves actuacions autoritàries i que les de l'alumnat són més escasses. Però tampoc ofereix informació sobre la seva interrelació.

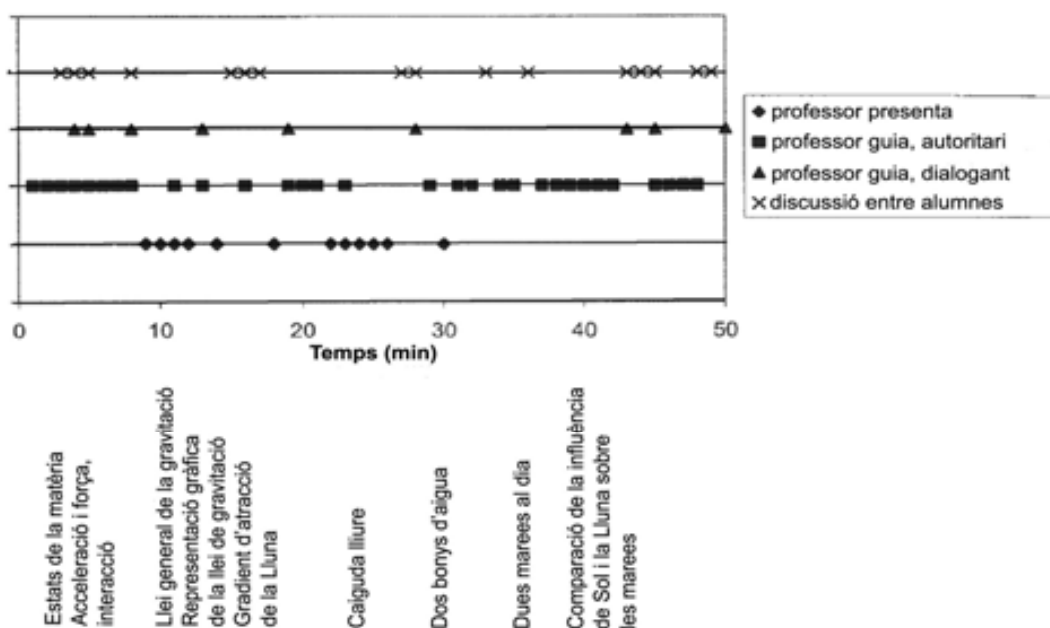


Figura 1.16. Distribució dels diversos modes de discussió durant l'ensenyament d'una unitat sobre les mareas. A la part inferior s'indica el tema de conversa a cada moment (Viiri i Saari, 2004).

Vistos aquests exemples, queda prou clar que no s'han trobat formes prou satisfactòries de recollir de forma gràfica la dinàmica de la interacció entre professor i alumnes, sigui la prevista en el disseny de la seqüència sigui la produïda a classe.

Com hem pogut veure, l'estat de la recerca actual sobre seqüències didàctiques mostra zones d'ombra. Sobretot falten teories específiques per desenvolupar cada tema concret, poder fer anàlisis a nivell *nano* que recullin la dinàmica de les interaccions a classe, incorporar el paper de les emocions en el procés d'aprenentatge i disposar de formes de representació compacta de les seqüències. Cal especialment una metodologia adequada que permeti resoldre tots aquests aspectes.

1.3 LES APORTACIONS TEORIQUES TRIADES

Dues aportacions teòriques de la recerca en didàctica de les ciències ens seran útils per poder avançar –tenint en compte tots els reptes que acabem de veure– en el disseny de seqüències didàctiques i la gestió del diàleg a l’aula:

- Per una banda, el model d’*activitat científica escolar* (Izquierdo i al., 1999), que parteix tant de les aportacions de la història i filosofia de la ciència –concretades en una concepció cognitiva de ciència– com de la idea de *transposició didàctica*, posa condicions tant epistemològiques com didàctiques perquè l’alumnat pugui desenvolupar una veritable activitat científica al seu abast.
- I per l’altra, per ajudar a entendre els processos de raonament de sentit comú dels nostres alumnes, hem triat el model *ONEPSI* (Gutiérrez, 1994, 2001), basat en el raonament causal, que aporta condicions ontològiques, epistemològiques i psicològiques al raonament de sentit comú dels alumnes.

S’han triat aquestes dues teories perquè es complementen bé i perquè durant anys han resultat útils per orientar la nostra pràctica docent a l’ESO, amb resultats estimables. Una i altra s’exposaran més detalladament en el *marc teòric* (**capítol 2**).

1.4 LES DADES: L’APLICACIÓ A L’AULA

La finalitat d’aquest treball serà de comprendre millor els mecanismes que es posen en marxa a classe quan s’utilitzen aquests punts de vista teòrics i poder treure’n algunes orientacions més precises per portar-ho a l’aula amb eficàcia, tant pel que fa al disseny de seqüències com per a la realització de diàlegs productius a l’aula.

És per a això que ens proposem d’analitzar dos recursos utilitzats a classe i que van en la línia esmentada:

- Una seqüència didàctica sobre hidrostàtica, d'elaboració pròpia, pensada per a l'optativa de Física i Química de quart d'ESO, que s'ha anat depurant al llarg de sis o set cursos d'utilització.
- I una conversa amb un alumne de quart d'ESO, amb la utilització de materials i estris de laboratori, durant la qual es segueix una part de la seqüència anterior, adreçada a la interpretació d'alguns fenòmens relacionats amb la pressió de l'aigua. Es tracta d'una conversa molt semblant als diàlegs que s'han desenvolupat a l'aula sempre que s'hi ha tractat aquest tema.

La *metodologia* utilitzada en cada cas, les *anàlisis* realitzades i els *resultats* obtinguts sobre la seqüència didàctica, s'exposaran en el **capítol 3** i, sobre la conversa, en el **capítol 4**.

Les anàlisis es faran utilitzant únicament el marc teòric escollit per intentar de mostrar l'estructura subjacent, més enllà de l'aparent, tant de la seqüència com de la conversa.

1.5 PREGUNTES DE RECERCA

Concretament, les preguntes que es volen respondre amb aquesta recerca les organitzem en tres grups a l'entorn dels conceptes de coherència, correspondència i robustesa que s'exposaran en el marc teòric:

a) Per establir la *coherència* de la seqüència amb el marc teòric triat:

- PR1. *La seqüència estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat?*
Es contestarà al **capítol 3**.
- PR2. *La conversa estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat?*
Es contestarà al **capítol 4**.

Es tracta de dos requeriments metodològics que per si sols no pretenen aportar coneixement nou, però són necessaris per fonamentar adequadament les respostes a les altres preguntes. Les respostes substantives són les de les següents preguntes.

b) Per establir la *correspondència* entre allò previst en la seqüència i el que realment passa amb alumnes:

- PR3. Les prediccions cognitives i emocionals previstes en el disseny de la seqüència es compleixen en la conversa?

c) Per assegurar la *robustesa* d'aquest funcionament amb altres seqüències:

- PR4. Quines característiques de la *seqüència* la fan didàcticament productiva?
- PR5. Quines característiques de la *conversa* la fan didàcticament productiva?

El primer grup de preguntes (a) intenta assegurar la *coherència* del que fem amb els models teòrics triats. És metodològicament important assegurar-nos que efectivament ens movem dins del marc teòric triat.

El segon grup (b) és clau, ja que es tracta de comprovar la *correspondència* de les prediccions de la seqüència, és a dir, que efectivament succeeix allò que estava previst.

I el tercer grup (c) és especialment decisiu, perquè assegura la *robustesa* d'aquests plantejaments, és a dir la possibilitat de la seva generalització per aplicar-los a altres casos.

La resposta a les preguntes PR3, PR4 i PR5 constituïran les *conclusions*, que s'exposaran en el **capítol 5**, on s'hi recordarà també les respostes a PR1 i PR2, juntament amb la *discussió* de totes elles.

Finalment, a partir d'aquestes conclusions, al **capítol 6** proposarem algunes *perspectives de futur* per continuar aquesta recerca.

2

Marc teòric

Així doncs, com a base teòrica d'aquest treball s'han triat dues aportacions de la recerca en didàctica de les ciències: el model d'*activitat científica escolar* i el model *ONEPSI*.

El model d'*activitat científica escolar* constitueix el marc general del que hauria de ser una classe de ciències entesa com a activitat científica genuïna desenvolupada pels alumnes: una activitat que ha d'estar ben pensada per poder generar, de forma efectiva, la implicació de tots ells a l'entorn d'una tasca que els resulti **racional** perquè busca un encaix entre els fets observats i les seves idees, unes idees i unes tasques que van evolucionant per acabar fent-les confluir amb les teories i mètodes de la comunitat científica; però que també perceben com a **raonable** perquè tot el procés no requereix altres recursos cognitius que els seus propis, que mentrestant van madurant i apropant-se als dels científics. La proposta d'*activitat científica escolar* es basa en aportacions de les darreres dècades de la història i filosofia de la ciència, així com en l'experiència del treball a l'aula.

El model *ONEPSI* vol donar compte del raonament de **sentit comú**, que s'explica mitjançant la construcció i reconstrucció de models mentals. Encaixa molt bé amb l'anterior perquè hi aporta un coneixement més precís dels processos individuals de raonament. El model *ONEPSI* es fonamenta en contribucions recents de la psicologia cognitiva, així com de la filosofia de la ciència. Les bases i les aportacions d'un i altre model, tot i que d'abast diferent, són plenament compatibles i complementàries.

2.1 L'ACTIVITAT CIENTÍFICA ESCOLAR

La finalitat del pas de l'alumne per l'ensenyament bàsic és sobretot aprendre a viure en el nostre món –natural i social– de forma progressivament més reeixida. Aprendre ciències forma part d'aquesta tasca general, a la qual hauria de contribuir de forma eficaç. I hi ha un ample consens que fins i tot es recull en els documents i programes oficials (NRC, 1996; Rocard i al., 2007; Generalitat de Catalunya, 2007) en considerar que la millor manera que tenim d'ajudar l'alumnat a implicar-se en l'aprenentatge de les ciències, i a educar-se adequadament en el procés d'aprendre'n, és mitjançant la realització d'una veritable activitat científica al seu abast:

Les Ciències de la Naturalesa han de permetre a l'alumnat viure, apreciar i gaudir totes les dimensions de l'activitat científica, tant en la construcció de coneixement com en la seva aplicació. Per aconseguir-ho, cal que el treball científic adapti els trets que el caracteritzen a les condicions, circumstàncies i possibilitats de l'activitat escolar i alhora es desenvolupi a partir d'una sèrie de tasques significatives i útils per a aquells que les duen a terme (Generalitat de Catalunya, 2007 p. 21 899).

Amb aquesta proposta es volen evitar algunes de les mancances que tradicionalment han dificultat l'aprenentatge escolar de les ciències, optant per fer ciència activament, amb la complexitat que suposa, en comptes de limitar-se a informar sobre els resultats obtinguts pels científics per utilitzar-los posteriorment. Però com ha de ser aquesta activitat científica escolar perquè pugui funcionar bé?

2.1.1 Activitat, científica i escolar

A grans trets, una bona activitat científica escolar hauria de complir les tres condicions que formen part del seu propi nom (Izquierdo i al., 1999; Izquierdo i Adúriz-Bravo, 2003; Izquierdo i Aliberas, 2004):

a) És una activitat

Més que no pas uns resultats, un mètode o una estructura lògica, la ciència és una activitat humana (Echeverria, 1995). Per això, partint d'una *situació que l'alumnat percep com a rellevant i problemàtica*, es concreten i comparteixen uns *objectius* per a resoldre-la, es pensa i acorda una estratègia o *base d'orientació*¹ que serveix per *regular* tot el procés d'execució de les *accions*, així com la resolució dels possibles entrebancs que vagin sorgint. Es tracta d'assegurar que tot aquest procés de construcció i aplicació de coneixement tingui *sentit* per a l'alumne. Clarament, es tracta de superar els mètodes didàctics centrats en l'exposició d'informacions.

b) És científica

Es fan servir els *models mentals dels alumnes* per intentar resoldre *situacions reals*, mentre es fan avançar aquestes idees envers *models* més semblants als científics, adonant-se dels avantatges que aporten i a quins sistemes es poden aplicar. Suposa la utilització de fets, idees i models, llenguatges, observacions, creació o modificació d'entitats i models, realització d'accions i experiments i viure emocions. Tot en el marc d'una comunitat amb objectius comuns que comparteix també idees i formes de comunicar-les (Lemke, 1993). Es busca que tot el procés li porti a l'alumne nous significats i coneixements sobre el món, amb un fonament *racional*. S'opta, doncs, per la complexitat de fer ciències en comptes d'ignorar-ne dimensions importants.

c) És escolar

La realitzen els mateixos *alumnes* de les etapes educatives bàsiques amb el suport del *professor* i disposant dels seus propis *recursos* –tant conceptuals com materials–, i dels que tinguin a l'abast. Suposa l'adaptació de tots els requisits anteriors –els de l'activitat i els de la ciència– a les possibilitats de l'entorn escolar: un procés de

¹ El constructe "base d'orientació" (Talízina, 1984) procedeix d'un corrent de la psicologia soviètica iniciat per Lev Vigotski. Entre nosaltres Jaume Jorba i Neus Sanmartí (per exemple, Sanmartí i Jorba, 1995; Jorba i Sanmartí, 1996) l'han utilitzat en ensenyament de les ciències per gestionar l'autoregulació dels aprenentatges.

transposició didàctica (Chevalard i Joshua, 1991). Es procura, doncs, que tota l'activitat resulti assequible i realitzable per a l'alumnat, és a dir, que la trobi *raonable*. Així es vol evitar d'identificar la ciència amb l'ús de determinats recursos teòrics o lingüístics que sobrepassen les capacitats dels alumnes i queden desconnectats dels fets als quals suposadament feien referència.

En definitiva, el repte és aconseguir dissenyar activitats científiques escolars adreçades –com ho fan els científics– a la resolució de problemes², mitjançant un procés d'indagació a l'abast de les seves capacitats (Butler Songer, Lee i McDonald, 2003; Nersessian, 2008; Minner, Levy i Century, 2010) de forma que tinguin sentit per a l'alumnat i els resultin racionals i raonables, permetent-los aproximar les seves idees, raonament, llenguatge i valors als de la ciència (Warren i al., 2001).

El repte pot semblar difícil, però estem convençuts que es pot superar força bé, sempre que partim d'una idea de ciència més ajustada a la realitat que a determinades concepcions encara predominants avui dia al món educatiu.

Per establir de forma realista quin és el funcionament de la ciència és important abandonar-ne certes concepcions ingènues, encara molt esteses en educació (McComas, 1998; Abd-El-Khalick, 2000; Windschitl, M., 2004). La recerca en filosofia de la ciència porta dècades fent interessants aportacions sobre què és la ciència, com es produeix nou coneixement i sobre quines bases es legitima.

Aquests avenços en filosofia de la ciència, especialment en el seu corrent cognitiu, han estat utilitzats per Mercè Izquierdo (per exemple a Izquierdo i al., 1999; Izquierdo i Adúriz-Bravo, 2003) com a referència per a la ciència escolar. L'anomenat *model cognitiu de ciència* i, dins d'aquest corrent, les concepcions de Giere (1988, 1992) sobre el paper de les teories científiques, aporten una concepció actual de l'activitat científica, basada en una determinada relació entre els fets que es volen estudiar i els models mitjançant els quals els volem comprendre, que també ha interessat a altres

² En tot aquest treball la paraula *problema*, com a activitat escolar, es referirà al seu sentit genèric, de situacions que s'han de resoldre o aclarir, i no pas al seu sentit escolar habitual d'exercicis de càlcul.

autors (Develaki, 2007; Koponen, 2007). Vegem de prop aquest model cognitiu de ciència.

2.1.2 El model cognitiu de ciència

En una línia de pensament coherent amb el que s'acaba d'exposar, Giere (1988), a partir de recerques *naturalitzades* –és a dir, basades en el que realment fan els científics en la seva feina professional– proposa la seva concepció de la relació entre les idees científiques i els fenòmens del món. Com que la seva idea central és la de *model científic*, començarem per definir què és un *model* per després poder abordar què és i com funciona un *model científic*.

a) Model

Una definició molt útil de *model* és la que en proporciona Minsky (1985: 316):

En Joan considera que M és un bon model d'A en la mesura que troba que M li és útil per respondre preguntes sobre A.

El mateix autor proposa que alguns *models* poden ser *mentals*, i els identifica amb el coneixement que tenim del sistema d'interès:

“En Joan sap A” significa que existeix un “model” M d'A dins del cap d'en Joan (Minsky (1985: 316)).

Si un model permet comprendre un sistema mitjançant un altre sistema (podem comprendre un sistema de carreteres a partir d'un mapa, per exemple), un model mental és una representació mental d'un sistema físic amb la finalitat de poder comprendre'n el funcionament o de predir-lo. A l'apartat 2.2 entrarem més a fons en la dinàmica dels models mentals.

b) Model científic

Basant-se en idees de Bunge i a partir de diverses consideracions, Gutierrez i Pintó defineixen *model científic* d'aquesta manera:

Un model científic és una representació d'un sistema real o suposat, consistent en una sèrie d'objectes amb les seves propietats rellevants llistades, i un conjunt d'afirmacions legals que declaren el comportament d'aquests objectes. [...] Les funcions essencials d'un model científic són de permetre efectuar prediccions i explicacions. (Gutierrez i Pintó, 2005: 866).

Com es pot veure, aquesta definició és compatible amb la de model: aquí el model és la representació (mental o no) d'un sistema –amb les entitats, propietats i lleis acceptades per la comunitat científica– mitjançant la qual es poden fer prediccions i explicacions del seu comportament, si més no en alguns aspectes i en cert grau (Giere, 1988). Per a aquest darrer autor, l'aplicació reiterada d'aquestes idees a sistemes més o menys relacionats portarà a l'elaboració de famílies de famílies de models científics.

c) L'encaix entre fets i idees

Segons Giere (1988: 85) una *teoria* està constituïda per dos conjunts d'elements: (1) una població de models i (2) diverses hipòtesis relacionant aquests models amb sistemes del món, una relació de semblança parcial.

El mateix Giere posa aquest exemple d'*hipòtesi teòrica*:

La Terra i la Lluna formen, en un alt grau d'aproximació, un sistema gravitacional newtonià de dues partícules. Giere (1988: 81)

El *sistema gravitacional newtonià de dues partícules*, un constructe ben conegut pels físics, seria el model i la Terra i la Lluna el sistema real corresponent. Però són més freqüents enunciats del tipus: “la Terra i la Lluna són un sistema gravitatori newtonià

de dues partícules”. És freqüent utilitzar la *metàfora* “el model és la realitat” o “la realitat és el model”. Al tractar-se d’una metàfora, no s’explicita que es tracta d’una analogia, com voldria Giere, amb el perill d’interpretar-ho literalment i no de forma metafòrica. La interpretació literal abocaria a un *realisme ingenu*, mentre que la interpretació metafòrica correspondria a un *realisme moderat*, més acceptable.

Tinguem en compte que el que es troba als llibres de ciències no són tant els models científics com la seva definició (fig. 2.1).

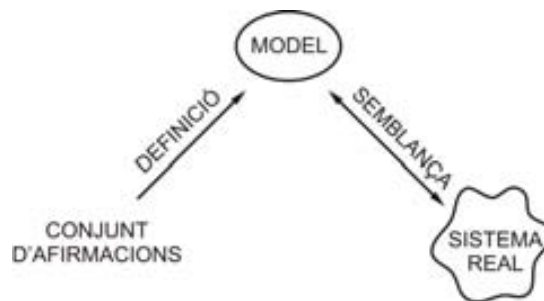


Figura 2.1. Relació entre els conjunts d’afirmacions, el model i el sistema real, segons Giere (1988: 83).

A la definició de teoria de Giere hi intervenen tres tipus d’entitats, tres aspectes ontològicament diferents: les afirmacions (de naturalesa *lingüística*), els models (de naturalesa *mental*) i els sistemes reals (de naturalesa *física*). A més, les afirmacions no parlen directament del sistema real, sinó del seu model: la relació entre llenguatge i realitat està sempre mediada per les nostres idees sobre el món (Lakoff i Johnson, 1980: 223). Com es pot veure a la figura anterior, la relació entre model i sistema real que proposa Giere no és d’identitat, que seria impossible al tractar-se d’ontologies diferents, sinó de semblança en alguns aspectes i algun grau.

Per a Giere (1992: 19) una teoria científica consisteix en una població de models juntament amb afirmacions (que anomena *hipòtesis teòriques*) sobre les classes de coses a les quals els models s’apliquen.

Dins del model cognitiu de ciència de Giere no hi cap el recurs a algun element de referència –extern o intern a la disciplina– (un fet, una llei, un mètode, una afirmació...) que es consideri una base segura i definitiva a partir de la qual es pugui donar legitimitat racional completa a la resta. La *racionalitat moderada* no busca afirmacions

definitives sinó solucions pragmàtiques que es puguin considerar satisfactòries en la situació que es tracti. La cerca persistent de l'encaix entre models i fets acaba quan s'obté una solució prou satisfactòria segons les necessitats que es tinguin en aquell moment. D'aquesta manera, la noció de *satisfacció* (Giere, 1988: 158), sempre provisional, s'imposa a la de *veritat* (definitiva). A partir d'aquest punt de vista, compatible amb tot el que hem anat defensant, l'activitat científica i la justificació del coneixement no són processos lineals, sinó cíclics, d'aproximació pacient fins que l'encaix es pugui considerar satisfactori.

Precisament aquest encaix, sempre revisable i millorable, és el que permet l'evolució dels models en un context de *racionalitat moderada* i, per tant, justifica la hipòtesi bàsica del model de l'activitat científica escolar: que és possible anar acostant progressivament les idees dels alumnes a les de la ciència. En un model de *racionalitat forta*, l'evolució no hi tindria lloc, ja que les desviacions respecte dels models establerts serien simples errors a perseguir. (Aquesta impossibilitat del canvi es produeix quan a classe es jutgen les idees dels alumnes només com a correctes o equivocades, bloquejant la possibilitat de models parcialment millorats).

Per a Giere (1988: 17) hi ha una analogia entre els mecanismes genètics que fan possible l'evolució de les espècies, i els processos cognitius que permeten el desenvolupament de la ciència. (Hi afegiríem els factors ambientals en el cas biològic i els socials en el científic). Una interessant perspectiva ja desenvolupada anteriorment per Toulmin (1972).

Amb tot això, la relació entre la realitat física i la seva representació mental, entre sistemes i models mentals, està regulada per les percepcions i per les accions (fig. 2.2), mediades o no per instruments. D'aquesta manera, models mentals i sistemes interaccionen activament i així es mantenen raonablement acoblats (Nersessian, 2008) o entrelaçats (Koponen i Mäntylä (2006) per poder garantir un cert control de la realitat, basat en la interpretació i previsió de fets, un control que evolutivament ens ha permès d'arribar fins aquí.

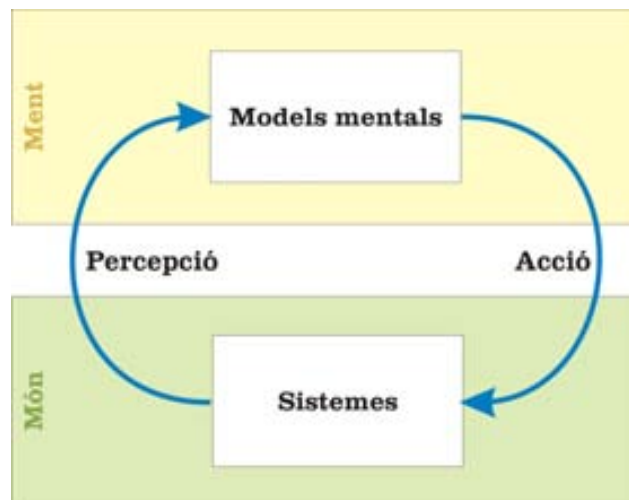


Figura 2.2. Interrelació simplificada entre els sistemes del món i els nostres models mentals, el nucli de la nostra relació amb el món.

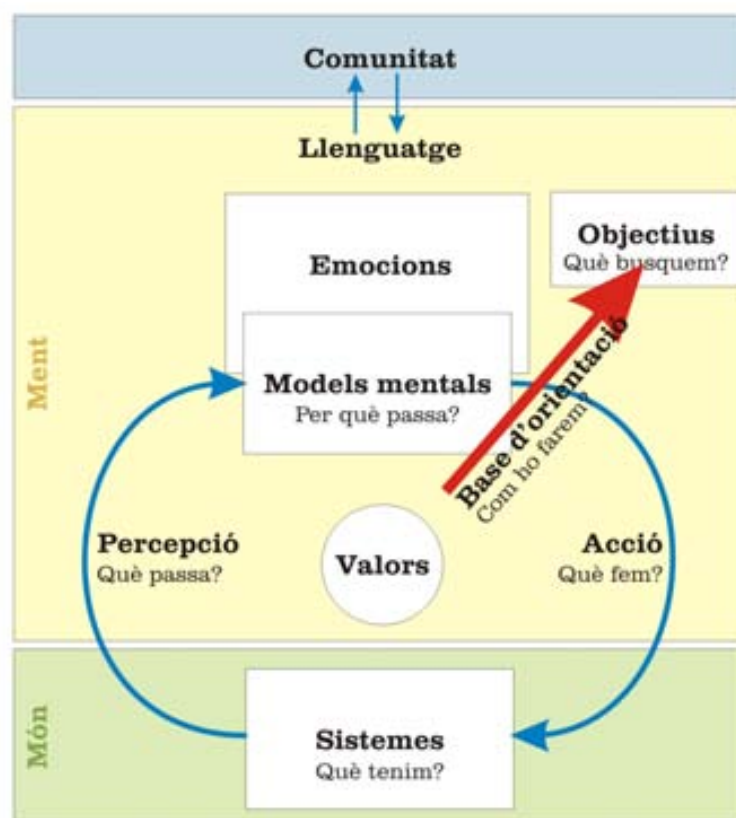


Figura 2.3. Els diversos components de l'activitat humana i, per tant, també de l'activitat científica. S'hi inclouen algunes de les preguntes que en un context escolar ajuden a explicitar-ne el contingut.

Però considerant-la amb més deteniment, l'activitat cognitiva que es desenvolupa a l'entorn de la interacció entre fets i models mentals involucra també altres components i accions (fig. 2.3), que componen una activitat humana enriquida en múltiples

dimensions, que són les que cal reproduir i viure a l'aula, convertida en activitat científica a l'abast dels escolars.

En principi es pot considerar que l'activitat científica té les mateixes característiques d'una activitat humana racional, amb algunes particularitats, com que cada ciència s'interessa només per una part dels objectes o fenòmens del món. Al fixar l'atenció en determinats **sistemes**, naturals o no, es busca arribar a comprendre'ls per així poder controlar-los en funció de les nostres finalitats.

L'interès per aquests sistemes porta els científics a imaginar possibles causes o mecanismes del seu funcionament. Aquest coneixement del sistema es recull en representacions o **models mentals** que són instruments flexibles perquè tendeixen a adaptar-se a la realitat observada i a mantenir-se compatibles amb les altres idees acceptades. Models i raonaments estan sempre impregnats d'alguna **emoció**, positiva o negativa, segons que el model mental resulti satisfactori o no. L'emoció forma part del mateix procés racional (Gutierrez, 1994) com veurem més endavant.

La relació entre sistemes i models mentals es basa tant en la **percepció** del sistema com en la intervenció sobre els sistemes mitjançant una **acció** per produir-hi determinats efectes d'interès. En un experiment hi intervé tant l'acció com l'observació, tant el model mental com el sistema físic, ajudats o no per *instruments*.

La interrelació entre els fets i els models mentals, entre el món i el coneixement, va fent evolucionar tant el saber sobre aquest sistema –i sobre altres de semblants– com la capacitat de controlar-los. D'aquesta manera s'avança cap a **objectius** o metes desitjables que donen sentit a tot el procés, ja que la racionalitat és "*una acció efectiva adreçada a una finalitat*" (Giere, 1988: 9).

Per poder parlar dels fets i dels models mentals, dels objectius, del que es percep i del que es fa, cal algun tipus de **llenguatge** que ho permeti. I com que el coneixement de tot plegat va evolucionant a mida que avança el treball, el llenguatge també ha de poder fer-ho per continuar essent àgil i eficaç, demandant progressivament un llenguatge més i més especialitzat a mida que el coneixement avança.

Les persones que comparteixen l'interès per determinats fenòmens del món i certs models científics per explicar-los, que es mouen vers objectius científics sem-

blants i utilitzen un llenguatge especialitzat que els permet comunicar-se eficaçment sobre tot el que comparteixen, constitueixen una **comunitat** científica, amb la seva pròpia organització social adaptada a les metes que persegueixen. El domini o no del llenguatge especialitzat determina en gran mesura la pertinença o no a la comunitat científica.

En el si de la mateixa comunitat es van establir criteris per determinar què està bé i què no, uns **valors** compartits que determinen com s'han de fer les coses i què s'ha d'evitar.

En definitiva, l'activitat científica, tal com s'ha exposat aquí, és una activitat humana complexa, amb múltiples dimensions íntimament interrelacionades. (Hem volgut utilitzar aquí expressament el terme *dimensió* per subratllar que es tracta d'aspectes irreductibles entre si).

Així doncs, l'activitat científica pren com a referència alguns sistemes i fets del món (*dimensió física*) que es volen comprendre mitjançant teories i models científics (*d. cognitiva*), generant-se estats interns més o menys satisfactoris (*d. emocional*). Les accions (*d. pragmàtica*) sobre els sistemes i les percepcions i observacions (*d. perceptiva*) que se'n facin, sovint amb l'ajut d'instruments (*d. tecnològica*) aniran fent evolucionar les idees, els sistemes i els mètodes d'intervenció i d'observació cap a les metes (*d. estratègica*) establertes i en funció d'uns valors assumits (*d. axiològica*) i repercutint en la vida de les persones implicades (*d. personal*). També cal un llenguatge (*d. comunicativa*) adequat que permeti parlar de totes les dimensions de l'activitat científica fent així possible la creació d'una comunitat (*d. social*) científica, degudament organitzada, entre tothom que comparteixi aquests interessos.

En l'activitat científica escolar el repte és reproduir aquesta rica i complexa dinàmica professional en el context educatiu, incloent-hi totes les seves dimensions (perquè sinó resultaria desnaturalitzada) però adaptant-les a les possibilitats i capacitats reals dels alumnes i de la institució escolar.

Abans d'entrar-hi amb més detall, ens preguntarem fins a quin punt les entitats i processos de l'activitat científica que hem exposat són compatibles amb l'actual filosofia de la ciència i més concretament el model cognitiu de ciència.

2.1.3 Activitat científica i filosofia de la ciència

Les aportacions de la filosofia de la ciència, que ja hem exposat en un altre lloc (Izquierdo i Aliberas, 2004), ofereixen una elaborada concepció de ciència, diferenciada d'altres de més intuïtives o ingènues.

Possiblement els aspectes crucials, en els quals cal prendre clarament partit són el tipus de *racionalitat*, el *mètode* a seguir, la classe de *realisme* que es considera i l'*objectiu* de tota aquesta feina (Izquierdo i al., 1999). Segons aquests autors, allò que caracteritza l'activitat científica no és el seu mètode (actualment es considera que no existeix cap mètode científic general) sinó la seva **racionalitat**, basada en l'encaix dels fets científics amb els models mentals amb els quals aconseguim d'explicar-los, i d'aquests amb altres models acceptats per la comunitat. Un encaix –en alguns aspectes i en cert grau– que es realitza en el context social de la disciplina mitjançant el diàleg i el treball d'equip fins arribar a consensos. Per tant, no es tracta d'una *racionalitat categòrica* (que pretendria d'establir la veritat exacta), sinó d'una racionalitat hipotètica, provisional, revisable, però adequada a les finalitats de cada moment: en definitiva, una *racionalitat moderada*.

El **mètode** no es limita a raonaments lògics, sinó que consisteix en processos complexos multidimensionals engegats sistemàticament al recórrer reiteradament el cicle *sistemes – observació – models mentals – acció – sistemes*, començant per on convingui, buscant els encaixos esmentats, en el marc d'una tasca comunitària. L'experimentació seria una de les maneres de recórrer aquest cicle, però no l'única.

Els models mentals que en resulten no s'han de confondre amb la realitat (si ho féssim cauríem en un realisme ingenu) sinó que s'han de considerar només aproximacions a certs aspectes de la realitat i en un grau limitat. Es tracta d'un **realisme moderat**.

I, en definitiva, tot aquest esforç no s'ha de limitar a comprendre la realitat, sinó que l'**objectiu** que es busca és explicar i predir el seu comportament per poder-la controlar millor, intervenint-hi d'acord a uns valors compartits.

D'aquesta manera, l'activitat científica involucra totes les dimensions descrites més amunt. Busca l'encaix entre sistemes i models mobilitzant-hi els esforços necessaris i així poder avançar cap als objectius perseguits.

2.1.4 La ciència escolar

Ja fa anys que la recerca en didàctica de les ciències ha posat molt d'èmfasi en la necessitat d'estimular en l'alumnat els processos de modelització durant l'aprenentatge de les ciències (entre altres, Hestenes, 1987; Tiberghien, 1994; Nersessian, 1995; Gilbert i Boulter, 2000; Harrison i Treagust, 2000; Sensevy i al., 2008; Clement, 2009) com a millor forma de poder-les entendre. Dels models se'n valora sobretot la seva capacitat *generativa*, és a dir, la capacitat de produir noves inferències que resultin satisfactòries –interpretacions i prediccions (Gutierrez, 2005)– en situacions diferents de les estudiades fins llavors. Aquesta capacitat supera clarament les possibilitats de l'aprenentatge únicament memorístic.

Malgrat aquest aparent consens sobre la recerca en models, Gutierrez (2005) destaca que un dels problemes importants d'aquesta línia de recerca és la manca de significat comú per a un mateix terme, com per exemple “model”, quan és emprat per diversos autors. Això provoca una seriosa pertorbació en la recerca i impedeix un progrés més ràpid en aquest camp.

Perquè l'activitat científica escolar pugui conduir l'alumnat a l'elaboració de models mentals satisfactoris que es vagin apropant als científics, caldrà incorporar a la dinàmica de l'aula tots els elements o dimensions que hem considerat que eren presents en l'activitat científica: l'activitat científica a l'escola ha de proposar-se centrar l'atenció de l'alumnat sobre determinats sistemes (*dimensió física*) que han estat escollits perquè faciliten la construcció de models mentals (*cognitiva*) satisfactoris (*emocional*) cada vegada més propers als científics, se'ls pot manipular (*pragmàtica*) i també estudiar (*perceptiva*) directament o mitjançant instruments (*tecnològica*). Ha de ser un procés col·lectiu (*social*) en una classe que utilitza sobretot el diàleg i l'escriptura (*comunicativa*) per avaluar i superar dificultats i aconseguir de fer les coses bé (*axiològica*)

i arribar a resultats consensuats que fan avançar el col·lectiu cap a les metes compartides (*estratègica*) o individuals (*personal*), com aprendre ciències o desenvolupar-se com a persona.

Naturalment, perquè una activitat tan complexa tingui bon resultat cal una bona preparació i organització de la classe (Izquierdo i al., 1999: 84) que passa tant per triar, adaptar i seqüenciar els continguts, convertir la classe en un diàleg permanent sobre els sistemes, les dades, les accions, el llenguatge, el coneixement i la síntesi del que es va aconseguint (*metacognició*, entenent-la com a resultat de col·locar en el focus d'atenció els nostres models mentals i les nostres activitats en comptes dels sistemes del món); una interacció que incorpora l'avaluació permanent –amb múltiples agents– fent un ús continuat del sentit crític i que ofereix a cada alumne una oportunitat de creixement personal.

Una forma útil d'organitzar l'activitat científica escolar és mitjançant *cicles d'aprenentatge* –a partir de Karplus i al. (1977), de tres fases, o segons l'adaptació de Jorba i Sanmartí (1994), de quatre fases– en els quals es comença per analitzar un sistema proposat a fi de fer verbalitzar les explicacions dels alumnes (*fase d'exploració*) i anar generant dificultats amb aquests models mentals, que hauran de ser substituïts per altres de més científics (*fase d'introducció*), models mentals que són formulats en forma generalitzada, independent de sistemes concrets (*fase d'estructuració*), una operació que fa possible que l'alumnat pugui aplicar-los a noves situacions, cada vegada amb una autonomia més gran (*fase d'aplicació*).

És un cicle que a l'aparèixer de forma reiterada a classe, hauria d'arribar a esdevenir tan natural i espontani com el cicle respiratori (Izquierdo, 2000).

Encara que involucra múltiples dimensions, és important remarcar que en el centre de tot el procés hi ha la cerca permanent d'ajustament entre els fets i els models mentals, fent servir els recursos cognitius propis de l'alumnat. Per comprendre i aprofitar millor aquesta activitat modeladora pròpia del raonament de sentit comú disposem del *model ONEPSI* que ens proporcionarà alguns recursos potents per a l'aula a l'hora de gestionar tot aquest procés.

2.2 EL MODEL *ONEPSI*

Sovint s'ha relacionat el raonament amb regles d'inferència lògica. En canvi, les darreres dècades, i com a resultat de recerques en psicologia cognitiva i en intel·ligència artificial, s'ha avançat significativament en la comprensió del raonament de sentit comú mitjançant models mentals (Johnson-Laird, 1983; Gentner i Stevens, 1983; Gutierrez, 1994).

A la recerca internacional sobre didàctica de les ciències va causar un gran impacte en el seu moment l'article de Posner i al. (1982) on s'argumentava que l'aprenentatge de les ciències havia de produir-se a través de canvis conceptuals. Les recerques de Rufina Gutierrez (1990, 1994, 2001, 2004; Gutierrez i Ogborn, 1992) ens han aportat la interpretació mitjançant models mentals dels raonaments de sentit comú dels alumnes i de la dinàmica dels seus canvis de concepció. A partir del *model mental mecànic* elaborat per De Kleer i Brown (1983 i 1984), i afegint-hi els mecanismes que realitzen la construcció i reconstrucció dels models mentals, Gutierrez (2001) ha elaborat el seu model *ONEPSI*, que fa possible comprendre l'estructura fina del canvi conceptual. Veurem com ho aconsegueix, utilitzant com a referència sobretot el darrer treball esmentat.

2.2.1 El procés de modelització

Quan centrem l'atenció sobre algun aspecte de la realitat que ens interessa, posem en marxa de forma natural un complex procés –implícit, no conscient– de construcció d'un model mental de la situació (fig. 2.4).

Per fer-ho més entenedor, il·lustrarem amb un exemple hipotètic com es podria construir i posar a prova el model mental d'un sistema: imaginem que una alumna ha dissolt una substància i vol demostrar que està dissociada en ions.

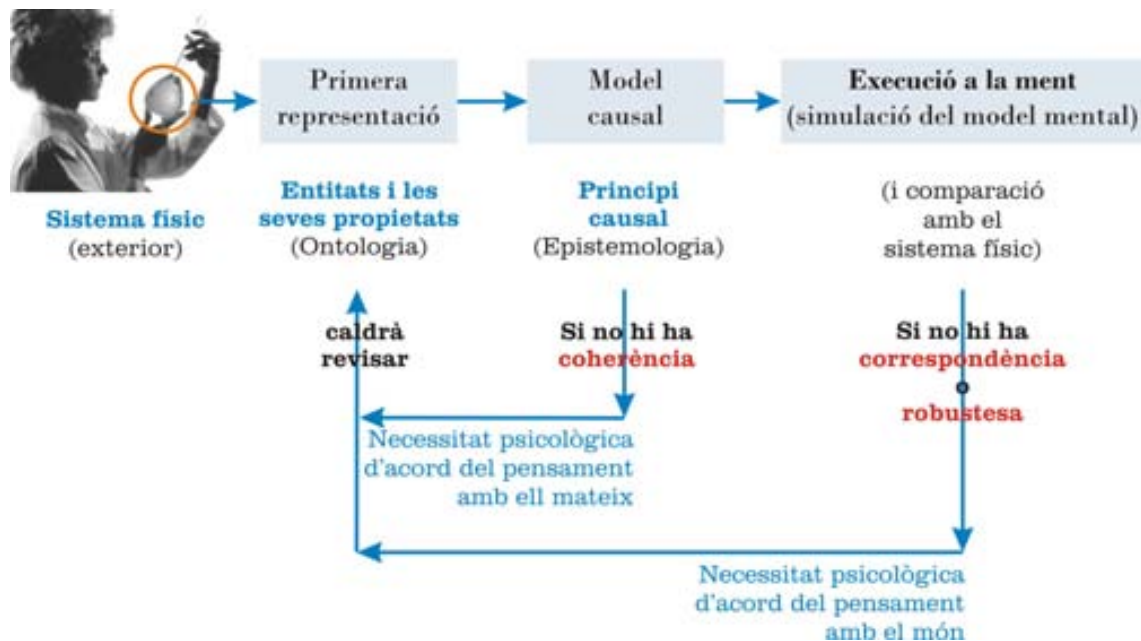


Figura 2.4. Model ONEPSI per a la construcció i reconstrucció de models mentals. (Adaptat de Gutierrez, 2001: 4)

a) Primera representació

En un primer moment es construeix una *primera representació* mental que recull les *entitats* rellevants del sistema a estudiar i algunes de les *propietats* que també consideri rellevants per a l'anàlisi del comportament del sistema. Per anomenar-ho, De Kleer i Brown (1984) fan servir l'expressió *topologia del sistema*; és el mateix que Gutierrez (2001) en diu *ontologia del sistema*.

Així, la noia centrarà la seva atenció en les entitats que conformen el sistema: la dissolució i en alguns dels seus possibles components, com els ions, potser ignorant-ne d'altres com el matràs o fins i tot l'aigua, sense que això signifiqui que n'estigui negant l'existència. Potser imaginarà els ions dispersos homogèniament per la dissolució; conèixer la distribució espacial dels components del sistema la pot ajudar a entendre com es relacionen entre ells i amb altres components. Per posar de manifest la possible ionització segurament buscarà alguna propietat relacionada, com podria ser la càrrega elèctrica i el moviment dels ions, ignorant-ne d'altres, com la massa o la temperatura, perquè en aquest context no els considera rellevants. Ignorar algunes de les entitats que componen el sistema o algunes de les seves propietats, tot i conèixer-les, permetrà a l'alumna construir una representació mental que és una simplificació de la

realitat, però que incorpora o ignora elements en funció de la seva rellevància en el cas o problema per resoldre, introduint-hi només els factors que li semblin necessaris per aconseguir-ho.

Així doncs, en aquesta primera fase l'alumna ha establert l'*ontologia* del sistema, és a dir, ha decidit quines són les entitats i propietats que considera rellevants per a la resolució del problema.

b) Segona representació: el model causal

A partir d'aquesta primera representació el següent pas consisteix en introduir-hi les *regles de funcionament* del sistema per construir així una *segona representació* mental, més elaborada.

De Kleer i Brown (1983, 1984) sostenen que en els models mentals mecànics les regles de funcionament són causals. És per això que a aquesta segona representació se l'anomena *model causal*. Les recerques de Gutierrez (2004) han mostrat el sòlid compromís de les persones amb el *principi causal*³, segons el qual els *efectes* (canvis perceptibles) són produïts per *causes* (allò que produeix un canvi perceptible). El compliment del *principi causal* actua com a criteri de veritat per jutjar si el model elaborat és adequat, realitzant la mateixa funció que els criteris epistemològics realitzen en els models científics.

c) Cerca de la coherència

Tornant al nostre exemple, el model causal no resol la tasca pendent de demostrar que efectivament hi ha ions lliures. Constatar aquest problema l'obligarà a replantejar el que ha fet. En aquest cas ha fallat la *coherència* entre el model mental que ha construït i l'*ontologia* escollida per construir la primera representació del sistema.

³ El *principi causal* es pot enunciar de diverses formes: "Sempre que hi ha una causa, se segueix necessàriament un efecte"; "sempre que pareix un efecte, existeix necessàriament una causa que el provoca"; "les causes precedeixen sempre als efectes", etc. Tots aquests enunciats del *principi causal* són equivalents. El *principi causal és necessari*, amb necessitat *ontològica* (és a dir: per la pròpia naturalesa de les coses) en el pensament de sentit comú (Bunge, 1959).

Els humans tenim una necessitat psicològica de coherència dels nostres models mentals amb el *principi causal* (Gutierrez 2001: 7). La falta d'acord la vivim com una situació incòmoda, emocionalment insatisfactòria, que ens mou a realitzar canvis en el model mental per intentar de solucionar-ho. Això significa revisar l'*ontologia* (la primera representació) del sistema fins a obtenir una situació que considerem satisfactòria.

A l'exemple, l'alumna intentarà buscar alguna relació entre la presència o no d'ions a la dissolució i alguna evidència observable. Potser se li acut intentar comprovar si la dissolució és o no conductora, com a evidència de la presència d'ions lliures. Al reconstruir el model mental hi afegirà noves entitats (elèctrodes, pila, conductors, amperímetre...) i considerarà noves propietats rellevants en aquest cas (el signe de cada elèctrode, la lectura de l'amperímetre...) que li permetran reconstruir el model anterior de manera que es compleixi el *principi causal*. A l'executar-lo podrà realitzar inferències com: "si hi ha ions, cadascun es dirigirà al pol de signe contrari, constituint un pas de corrent, i fent que l'amperímetre indiqui un valor no nul". El nou model mental, construït d'aquesta manera, ja és coherent.

d) Execució

De la mateixa manera que quan posem en marxa un programa informàtic diem que s'està executant, el *model causal* del sistema ha d'acabar en condicions de poder-se posar en marxa, de fer-se'n l'*execució*, que consisteix en realitzar-ne una simulació mental. Aquesta simulació mental és la clau del procés d'*inferència*: permet determinar mentalment el comportament de sistemes fins i tot en situacions que mai no hem viscut. D'aquí ve la capacitat *generativa* dels models mentals.

En el punt que està la nostra alumna potser s'està imaginant que els possibles ions, separats entre si, s'estan agitant sense direcció preferent en el si de la dissolució, fins que al connectar la diferència de potencial entre els elèctrodes cada ió es mou preferentment cap a l'elèctrode se signe contrari.

e) Cerca de la correspondència

Quan l'execució del model mental coincideix –en determinats aspectes i fins a un cert grau (Giere, 1988)– amb el comportament del sistema real, diem que el model mental és *corresponent* (Gutierrez, 2001: 3).

Es tracta d'una altra necessitat psicològica de les persones: la de garantir la correspondència entre el comportament dels nostres models mentals i el de la realitat (Gutierrez, 2001: 8). No podem jugar-nos la vida fent-la dependre de models mentals que no descriguin prou correctament el possible comportament real dels sistemes.

Diversos autors (Sorensen, 1992: 51; Reiner i Gilbert, 2000: 503) assenyalen que aquesta necessitat va tenir el seu origen en les exigències marcades per la supervivència en una etapa molt primerenca del desenvolupament de la nostra espècie, al permetre imitar mentalment els esdeveniments reals i així poder avançar-nos als perills i respondre-hi adequadament. En aquesta línia, cal entendre la intel·ligència com una forma avançada d'adaptació al medi (Piaget, 1967: 18).

L'alumna ha executat el nou model, fent mentalment que els ions circulin en el sentit que els correspongui quan se'ls sotmet al camp elèctric creat pels dos elèctrodes. El resultat final de l'execució potser serà que l'amperímetre indica pas de corrent. Ara cal comprovar que efectivament el sistema que tenim es comporta així, que el model es correspon amb la realitat. Farà el muntatge experimental per posar el sistema en les condicions que ella ha imaginat, i un cop tot en condicions, podrà comprovar si realment succeeix el que prediu el seu model mental.

Suposem que l'amperímetre no indiqués res: el model no seria corresponent. Això obligaria l'alumna a revisar de nou el seu model. Per exemple, podria anar comprovant que totes les entitats i propietats del sistema són les previstes. Si veiés, per exemple, que la pila està descarregada, la nova versió del model mental ja seria corresponent: com que no hi ha diferència de potencial, els ions no circulen i no passa corrent. Però llavors el model tornaria a ser incoherent amb l'objectiu. Caldrà solucionar el problema de la pila per tenir un sistema corresponent amb el model construït i coherent amb l'objectiu.

Si de nou l'amperímetre segueix sense donar senyal, i s'han pogut descartar altres causes (models mentals alternatius basats, per exemple, en una avaria de l'amperímetre, en conductors que fallen o contactes mal fets) llavors queda clar que el model mental de l'alumna, on hi figuren els ions, no es correspon amb el comportament del sistema, doncs no permet el pas de corrent elèctric. Això l'obligarà a modificar-lo de nou, per garantir-ne la correspondència. El resultat és que haurà de retirar els ions com a components del sistema, potser substituint-los per molècules. En aquest punt, el que realment haurà demostrat és que la dissolució no era iònica.

f) Cerca de la robustesa

La darrera condició que ha de complir un model mental és que sigui *robust*: que sigui capaç de donar compte del comportament de sistemes semblants o de comportaments imprevistos del mateix sistema (Gutierrez, 2001: 3).

La noia de l'exemple, un cop convençuda que no té una dissolució iònica podria fer algun experiment per mesurar alguna propietat col·ligativa de la dissolució. Si coneix la concentració de la substància dissolta i la seva fórmula podria preveure, per exemple, un ascens ebulloscòpic corresponent a aquella molalitat, suposant que no hi ha hagut dissociació iònica. El seu model serà *robust* si l'experiment li proporciona els resultats esperats.

Com es pot veure, tot el procés requereix esforç i temps; un esforç i un temps que l'alumnat no es pot estalviar si vol aprendre ciències.

g) Episodis

Finalment, l'explicació d'un fenomen pot resoldre's amb un model mental per a cadascuna de les situacions que va travessant el sistema. Això divideix el transcurs del temps durant el fenomen en trams, anomenats *episodis*, durant cadascun dels quals es considera vàlida una explicació o model mental. En el nostre exemple, el model mental de la noia té un comportament abans de connectar la diferència de potencial, i una altre diferent després.

2.2.2 Models mentals satisfactoris

Així doncs, resumint, la construcció, avaluació i reconstrucció de models mentals és un procés lligat profundament a característiques molt bàsiques del nostre sistema cognitiu, com són:

- Compromís amb el *principi causal*, que fa que es busquin causes a allò que es considerin efectes, i efectes a les causes.
- Construcció de models mentals a partir de les *entitats* que creiem que formen el sistema, així com les seves *propietats* (ontologia), amb el *principi causal* governant el seu funcionament (epistemologia). No hi utilitzem tot el que en sabem, sinó només les entitats i propietats que considerem que hi tenen un paper rellevant i considerem coherents amb les regles causals.
- Posar en marxa, executar, el *model mental* construït, realitzant una simulació mental que és capaç de reproduir el comportament del sistema –preveient-lo o explicant-lo– i d’aquesta manera ens permet de comprendre la realitat.
- Necessitat subjectiva (psicologia) de modificar el model mental mentre no resulti *satisfactori*, garantint així que finalment està dotat de *coherència* interna, de *correspondència* amb la realitat i de *robustesa* davant de sistemes semblants o de situacions imprevistes del mateix sistema (fig. 2.5).

El model *ONEPSI* que hem vist a la fig. 2.4 recull de forma coherent tots aquests condicionants (ONTològics, EPistemològics i PSicològics), explotant el compromís amb el *principi causal*. Segons el nostre parer, constitueix una eina molt útil en la pràctica al proporcionar una descripció de les condicions necessàries per a la comprensió i l’aprenentatge, especialment en ciències. Al descriure en quines condicions i de quina manera les persones canviem les nostres concepcions sobre el món, el model *ONEPSI* constitueix un valuós model del procés de canvi conceptual (Gutierrez, 2001), del qual, a

diferència d'altres propostes, no només en descriu el procés sinó també la dinàmica. Un important pas endavant.

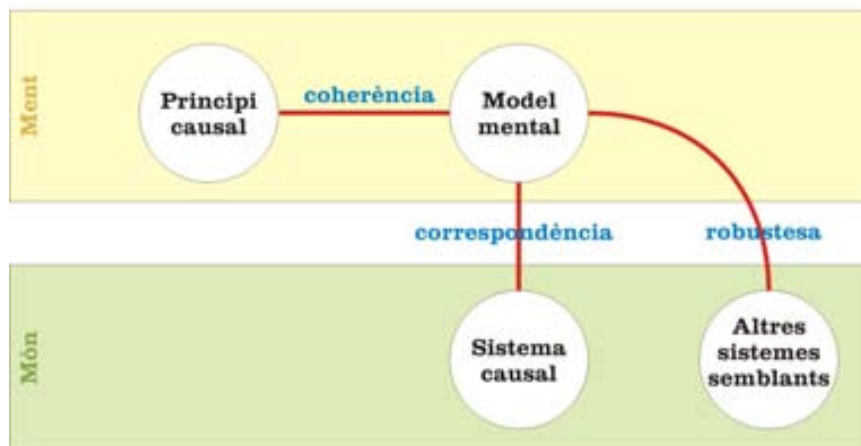


Figura 2.5. Característiques d'un model mental satisfactori: coherència, correspondència i robustesa, segons el model ONEPSI.

2.2.3 El diàleg “*teachback*”

En les seves recerques sobre models mentals dinàmics, Gutierrez (1994) ha adaptat un tipus especial d'entrevista, anomenada “*teachback*”, que va ser proposada originàriament per Pask (1975) en el context de recerca en intel·ligència artificial amb la finalitat d'obtenir coneixement d'un expert per transferir-lo a una màquina (“sistema expert”). Veurem en què consisteix i algunes de les seves aplicacions didàctiques.

Pask (1975) considera que l'estructura mínima perquè un sistema (humà o màquina) pugui aprendre és la indicada a la fig. 2.6 i que anomena *Conversa*.

Segons Pask (1975), una *Conversa* està constituïda per un *solucionador de problemes de baix nivell* que pot actuar (fletxa descendent) sobre el domini de la realitat on s'ubica el problema per resoldre. Per conèixer l'estat del sistema i els resultats de la seva actuació sobre seu, el solucionador n'ha de rebre descripcions (fletxa ascendent). Amb aquesta part de l'estructura podrà resoldre problemes compatibles amb els procediments de què disposi, però no resoldre situacions inesperades.

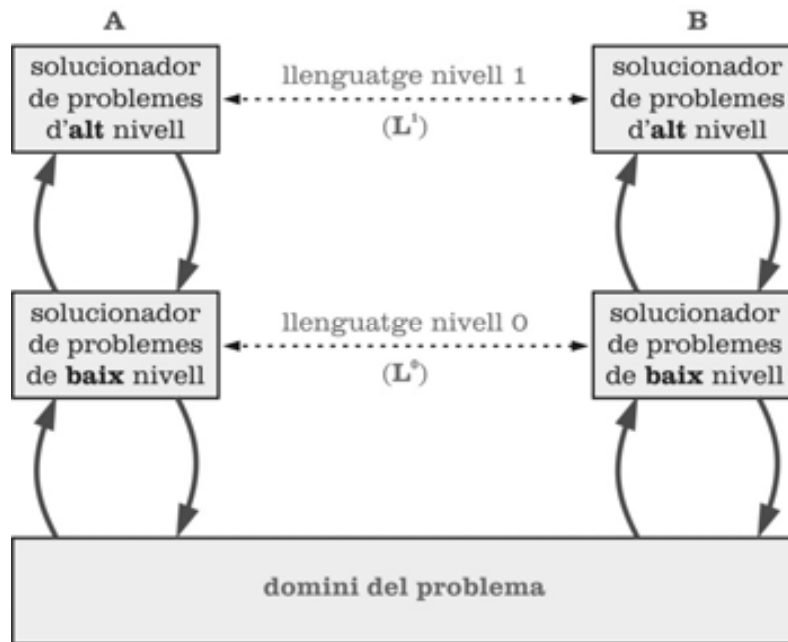


Figura 2.6. Adaptació de la concepció de Pask (1975) d'una "Conversa", l'estructura mínima capaç d'aprendre autònomament de forma estable. A i B comparteixen coneixement sobre un domini.

Les situacions inesperades només les podrà resoldre un *solucionador de problemes d'alt nivell* capaç de revisar els procediments del solucionador de problemes de baix nivell per adaptar-los a noves situacions. El d'alt nivell actua sobre el de baix nivell modificant-ne els procediments (fletxa descendent) i aquest informa al primer (fletxa ascendent) dels resultats obtinguts, informació que permetrà al d'alt nivell regular el procés: aquesta seria la mínima estructura per aprendre sobre un domini de forma autònoma. El que hem descrit fins aquí correspon només a un costat (per exemple, l'esquerra, A) de la fig. 2.6. Per què cal la part dreta?

La teoria de Pask inclou també la necessitat que l'estructura descrita sigui estable i pugui refer-se de possibles accidents que puguin malmetre el coneixement adquirit. Per això postula la necessitat que es pugui autocopiar, generant una còpia de la seva estructura que funcioni amb els mateixos resultats, encara que no sigui completament igual (només cal pensar que una versió pot ser humana i l'altra una màquina). Per generar la còpia cal disposar d'un llenguatge de baix nivell (L^0) per poder copiar els procediments de baix nivell; respondria a preguntes del tipus "què?" i "quin?". I també cal un llenguatge d'alt nivell (L^1) per poder copiar els procediments de baix nivell; respondria a preguntes del tipus "com?" i "per què?". Aquesta capacitat de modificar els pro-

cediments inadequats confereix *estabilitat* a l'estructura d'*aprenentatge autònom* (fig. 2.6), que anomena *Conversa*.

Amb aquesta estructura Pask pretén explicar tant el fenomen de l'*autoaprenentatge* que es produeix quan una persona ensenya (*B* aprèn d'*A*, en el mateix sistema cognitiu, quan *A* s'intenta autoexplicar), com el fenomen de l'ensenyament–aprenentatge (*A* ensenya a *B*, una persona aprèn d'una altra) (Gutierrez, 2003). Tant en un cas com en l'altre el procés es dona per acabat quan *A* considera que els procediments de *B* produeixen els mateixos resultats que els seus.

Quan el consens s'estableix amb el llenguatge de baix nivell, L^0 , Pask (1976) considera que les dues entitats comparteixen un *concepte*, mentre que si es fa amb llenguatge d'alt nivell, L^1 , comparteixen la *comprensió* d'un tema. Gutierrez (1994) posa com a exemples respectius el procediment de sumar (mestre i alumne comparteixen el concepte suma si l'alumne utilitza el procediment adequat per fer sumes) i la seva comprensió (quan comparteixen el motiu de fer cadascun dels passos concrets).

Com a procediment per arribar a aquest consens, Pask (1975) proposa l'entrevista "*teachback*", que ha de constar dels següents passos:

- L'entrevistador demana a l'expert una explicació ("*teach me*") del que sap sobre el tema objecte de l'entrevista.
- L'expert en fa una explicació.
- L'entrevistador explica a l'expert ("*teach back*") la seva versió del que ha entès.
- Si l'expert es reconeix en aquesta explicació la conversa pot avançar; si no, es segueixen les explicacions de l'expert i els retorns de l'entrevistador fins que l'expert considera que l'entrevistador l'ha comprès.

A diferència d'altres tipus d'entrevistes,

“En una entrevista teachback no hi ha mai asimetria entre entrevistat i entrevistador; l'única mediació imprescindible és el llenguatge; el consens és inherent al procés i sempre explícit; i resta sempre obert a l'escrutini d'un observador exterior” (Gutierrez, 1994).

S'ha utilitzat l'entrevista *teachback* per explicitar el pensament implícit dels alumnes, atribuint-los el paper d'expert –en el seu propi pensament– i als investigadors el d'entrevistador (Johnson, 1983; Serrano, 1992; Solsona, 1997).

Gutierrez ha introduït una modificació en el diàleg “*teachback*” consistent a adreçar les preguntes de l'entrevistador a aclarir les *ambigüitats* en les explicacions de l'“expert”. Això li ha permès observar com els models exposats per l'alumne evolucionen amb rapidesa i es produeix *autoaprenentatge* (Gutierrez i Ogborn, 1992; Gutierrez, 1994; Gutierrez i Pintó, 1996; Gutierrez, 2003). Per a conèixer el pensament de l'alumne, “expert” en raonament de sentit comú, l'entrevistadora li proposa un determinat sistema o fet demanant-li que expliqui què creu que hi passa i per què. La tasca de l'entrevistador consisteix en intentar fer-se una idea del model mental que l'alumne ha construït sobre el funcionament d'aquell sistema, buscar-hi *ambigüitats* i fer-li preguntes per aclarir-les. Això farà que l'alumne concreti més el seu model o bé el portarà a situacions insatisfactòries (perquè s'adona que el seu model no és coherent, corresponent o robust) experimentant llavors la necessitat de canviar-lo.

D'aquesta manera es pot anar seguint –perquè s'ha verbalitzat– tot el procés d'aprenentatge en la construcció i reconstrucció d'un model cada vegada més satisfactori per a l'alumne, però també per al professor ja que, si es fa adequadament, s'haurà anat apropant a l'explicació científica del cas.

2.2.4 Activitat científica escolar i models mentals

En aquest capítol hem anat veient com el model d'*activitat científica escolar* ens ha aportat una base filosòfica, epistemològica i escolar actual per a l'aprenentatge de les ciències, mentre que el model *ONEPSI* hi afegeix aspectes ontològics, epistemològics i psicològics centrals en la relació entre les persones i el món. A l'aula, les dues contribucions semblen perfectament compatibles, fonamentant un plantejament innovador de l'ensenyament de les ciències.

A continuació (capítol 3) analitzarem fins a quin punt una seqüència que hem preparat en aquesta línia és *coherent* amb aquests plantejaments teòrics i, per tant, respondre PR1. Posteriorment (capítol 4) estudiarem el mateix però referit ara a una entrevista amb un alumne i també si el raonament de l'alumne *correspon* al que s'havia previst, podent respondre aleshores PR2 i PR3.

3

Anàlisi d'una seqüència: metodologia i resultats

Els dos models que acabem d'exposar, ja fa anys que contribueixen a orientar la nostra tasca docent i també l'elaboració de seqüències didàctiques. Però, com hem vist, un material didàctic elaborat a partir de resultats de la recerca ha d'entendre's com una hipòtesi que cal validar.

Malauradament, moltes de les seqüències d'ensenyament–aprenentatge que tenim més a mà –les que s'estan utilitzant en els nostres centres educatius– s'han elaborat sense una base didàctica gaire clara. Això condueix a una dinàmica d'ajustos del tipus *prova i error*, poc eficaços. I, com hem vist al capítol 1, seqüències elaborades sobre una bona base epistemològica manquen sovint d'una base psicològica prou sòlida.

Considerem que el nostre marc teòric inclou tant els aspectes epistemològics com els psicològics. Situant-nos en aquest marc podem dir que una seqüència didàctica constitueix un seguit de prediccions, realitzades mitjançant els nostres models mentals, sobre el comportament cognitiu i emocional dels nostres alumnes quan treballin amb aquest material.

És per això que el propòsit d'aquest capítol és d'aportar evidències que les seqüències que hem preparat són *coherents* amb aquests models.

3.1 SEQÜÈNCIES TEORICAMENT COHERENTS?

En el camp de la recerca és fonamental vetllar per la coherència dels diversos recursos teòrics (ja hem comentat que en la recerca didàctica sobre models mentals la polisèmia d'aquest terme és un entrebanc important per al seu progrés). En canvi, quan els professors tractem d'utilitzar-los a l'aula tenim tendència a fer servir a cada

moment i circumstància, comprensiblement, allò que ens sembla més útil. Com que el criteri d'*utilitat* és diferent del de *coherència*, els recursos teòrics realment utilitzats a l'aula fàcilment esdevenen eclèctics i, per tant, mancats de coherència interna.

Per a la part de física i Química de les ciències de la Naturalesa de tercer d'ESO i per a la corresponent optativa de Física i Química de quart hem elaborat una sèrie de seqüències que es lliuren impreses a l'alumnat a principi de curs. Serveixen com a guia per a la part central del seu treball, consistent a anar contestant les preguntes que se'ls hi fa, per construir i aplicar coneixement a partir de les observacions, accions i discussions que es vagin generant a classe.

Els criteris per a la seva confecció eren, principalment aquests:

- Seleccionar tant els continguts (d'entre els oficialment establerts) com la metodologia tenint en compte les característiques de l'alumnat i del professorat del centre.
- Buscar una bona relació cost–benefici (les dificultats que previsiblement caldrà superar són justificables per la riquesa i importància de les aplicacions).
- Preveure la realització d'un cicle d'aprenentatge de quatre fases per a cada concepte important.
- Oferir un plantejament indagador, de manera que es fomenti la discussió i argumentació a classe i es vagi avançant a partir del que es va consensuant i escrivint.
- Tractar sistemes relativament senzills i assequibles, de manera que sigui fàcil realitzar experiments escolars, i que permetin un treball cognitiu de l'alumnat suficientment ric i productiu.
- Prioritzar la comprensió dels fenòmens per damunt de la realització d'exercicis de càlcul.
- Portar l'alumnat a construir models mentals de les situacions proposades i fer-los servir, explotant-ne la seva generativitat, per inferir-hi explicacions i prediccions.

- Oferir moments de reflexió sobre el punt que es troba la discussió i quins són els passos a fer (base d'orientació), especialment davant de la necessitat de fer un experiment, d'escriure un text o de preparar una prova.
- Donar un pes important de l'avaluació a l'aplicació del que s'ha après a situacions noves per a l'alumnat.
- Intentar que cada alumne es vegi capaç de fer i comunicar raonaments científics correctes de forma autònoma, de manera que contribueixin a desenvolupar una concepció positiva de si mateix.

En aquests punts hi ha, com a mínim, participació del model d'activitat científica escolar –que li dona l'estructura general–, del model *ONEPSI* –que proporciona eines per generar raonaments i reconduir-los–, de la teoria de l'activitat (Talízina, 1984), del model de cicle d'aprenentatge (Karplus i al., 1977), de l'avaluació entesa com a regulació (Jorba i Sanmartí, 1996) i del treball de les emocions a l'àmbit escolar (Bach i Darder, 2002; Arànega, 2003).

En anteriors intents de mostrar-ne l'estructura no ens ha resultat tan simple com la percebíem intuïtivament, sinó massa confusa i complexa. Havíem intentat prendre com a unitat d'anàlisi el cicle d'aprenentatge o bé cadascuna de les seves fases o també cadascuna de les preguntes, sempre amb resultats molt poc satisfactoris. És per aquest motiu que en aquest capítol ens proposem intentar-ho de nou, tenint en compte exclusivament el marc teòric que hem escollit.

3.2 METODOLOGIA

Per demostrar la *coherència* de la seqüència caldrà comprovar que té en compte i facilita tots els passos necessaris en l'elaboració de models mentals satisfactoris que estableix el model *ONEPSI*, i que és factible, en principi, en un entorn escolar, complint

les opcions epistemològiques del model d'*activitat científica escolar*. Vegem-ho pas a pas.

3.2.1 La seqüència

Les seqüències es van elaborar al llarg de diversos cursos i s'han anat revisant a mida que s'han anat fent servir, generalment amb resultats prou acceptables: no només pel que fa a resultats escolars, sinó també en motivació. Han estat pensades per a un alumnat d'ESO de rendiment escolar mitjà millorable, amb una majoria d'alumnes no gaire motivats per a l'estudi i amb una autoestima més aviat baixa.

La seqüència triada, "La pressió" (annex A) s'imparteix a quart d'ESO i tracta del concepte de pressió i les seves aplicacions. S'ha triat perquè és relativament llarga (pot significar unes 10 o 12 hores de classe), és representativa de la resta i ha donat resultats prou satisfactoris.

Està explícitament organitzada en dos cicles d'aprenentatge ("La pressió" i "La pressió hidrostàtica") de tres fases cadascun, etiquetades amb el titulars: "Què en penses?" (corresponent a la fase d'*exploració*), "Què hi diu la ciència?" (*introducció*) i "Apliquem-ho" (*aplicació*). En aquesta seqüència no apareix el rètol explícit, com apareix en altres, de la fase d'*estructuració*, "Organitzem-ho", però els quadres de color gris, on es recullen les generalitzacions, realitzen la mateixa funció. És per això que tots dos cicles s'han de considerar de quatre fases. En l'anàlisi que en farem obviarem aquesta organització explícita per limitar-nos a les eines que ens ofereix el marc teòric escollit.

3.2.2 Mètode d'anàlisi

a) Objectiu

Es tracta de determinar fins a quin punt la seqüència triada és coherent amb el model *ONEPSI* sobre els models mentals, i amb el model d'*activitat científica escolar*.

b) Criteris

Seguint els passos previstos en el model *ONEPSI* per a la construcció del model mental d'un sistema, es tractarà de comprovar fins a quin punt:

1. l'alumne disposa a cada moment d'un **sistema** clar sobre el qual pensar i de **referents** cognitius adequats per a construir-ne el model mental satisfactori que li ha de permetre de realitzar un procés d'**inferència** versemblant, mitjançant l'execució del model mental, que permeti elaborar una resposta adequada a la pregunta que es formula,
2. es pot establir el **coneixement** que legítimament es podrà construir i formular, com també la viabilitat de la seva **gènesi** racional, i també
3. preveure l'estat de **satisfacció** o insatisfacció (segons que hi hagi o no coherència, correspondència i robustesa) que s'ha de produir al generar la resposta, així com vies per **solucionar** aviat les insatisfaccions previsiblement generades en alguns exercicis.

*Tots aquests punts s'han de poder incorporar, ben lligats, en una **narració racional** que un alumne podria redactar descrivint ordenadament i argumentadament els passos seguits en la construcció del coneixement per a cada sistema particular i per a tot el seguit de sistemes de la seqüència.*

4. Per altra banda, caldrà demostrar que és **viable**, en principi, en un entorn escolar. Entendrem que serà viable si es creen les condicions adequades per a la realització d'una veritable activitat científica escolar (tal com ha quedat descrita a l'apartat "2.1.4 La ciència escolar").
5. Finalment, caldrà demostrar fins a quin punt tot el procés és compatible amb les **opcions epistemològiques** de l'activitat científica escolar.

Aquests dos darrers punts exigeixen, en definitiva, *que l'alumnat tingui un **paper actiu i determinant** en totes les **dimensions** de l'activitat científica escolar, ajustant-se*

als principis epistemològics escollits pel que fa a mètode, objectiu, racionalitat i realisme.

c) Unitat d'anàlisi

El model *ONEPSI* estableix que per donar compte del comportament d'un sistema (predient-lo o explicant-lo) les persones construïm i reconstruïm un model mental del sistema fins que sigui coherent, corresponent i robust. Per aquest motiu prendrem com a unitat d'anàlisi cada sistema i el **model mental** que se n'intenta construir. Així, de cada sistema de la seqüència analitzarem un seguit d'aspectes que quedaran recollits en una sèrie de taules (vegeu, més endavant, les taules 3.1 a 3.8).

d) Procediment

Analitzarem detalladament cadascuna de les preguntes de la seqüència per verificar, en cada cas, el compliment dels criteris esmentats fa poc (apartat b, criteris 1, 2 i 3): el sistema que es presenta, les referències per construir-ne un model mental, la inferència que permet respondre la pregunta, el coneixement que es genera, l'estat de satisfacció que se n'espera obtenir, i la forma de resoldre aquells que no hagin resultats satisfactoris. Amb les dades obtingudes veurem (apartat 3.2.4) fins a quin punt és possible, en principi, que l'alumnat pugui construir una narració conceptualment i emocionalment racional, coherent (criteris 1, 2 i 3), de tot el procés.

Pel que fa al criteri 4 (viabilitat de les dimensions) es discutirà (apartat 3.2.5) fins a quin punt la seqüència proporciona a l'alumnat un paper realment actiu en l'activitat científica escolar; en concret, quins elements de la seqüència són necessaris perquè l'alumnat s'impliqui de manera determinant en el treball sobre sistemes –sobre els quals construeix models mentals– amb l'ajut de percepcions i accions sobre el sistema, potser amb l'ajut d'instruments, per arribar a determinats objectius compartits i individuals, parlant amb llenguatge adequat sobre tot això i participant en la comunitat escolar implicada en la recerca i que comparteix també determinats valors.

I en referència al criteri 5, es tractarà de demostrar que la seqüència –tal com ha estat dissenyada– incorpora un *mètode* que no s'aplica mecànicament sinó donant

resposta al que es va trobant; que es mou cap a un *objectiu* que va més enllà de comprendre el món, ja que també busca la intervenció responsable; que utilitza una *racionalitat moderada*, no pas categòrica; i que promou una concepció *realista moderada* de la ciència.

3.3 ANÀLISI D'UNA SEQÜÈNCIA: “LA PRESSIÓ”

3.3.1 Elaboració de les taules i presentació de les dades

Descriurem ara cadascun dels aspectes esmentats poc més amunt (apartat 3.1.2b *Criteria*, criteris 1, 2 i 3), relacionats amb l'elaboració de models mentals, que constituïran també les taules on s'intenta recollir l'estructura de la seqüència, així com la manera que es representaran:

a) Exercici

S'hi identifica cada pregunta mitjançant la mateixa numeració que apareix en la guia de l'alumne (l'annex A recull la seqüència original, que a l'annex B apareix amb els codis utilitzats en la seva anàlisi). Per agilitzar-ne la lectura es posa una sola vegada el número de l'exercici i les preguntes que fan referència al mateix sistema i exercici que l'anterior s'indiquen només amb la seva lletra identificadora (per exemple, 33a, b, c). Algunes vegades no es tracta pròpiament de preguntes sinó d'introduccions (“intro”) que requereixen la construcció de models mentals per a la seva comprensió; per això els tractarem com a preguntes encara que explícitament no s'hi preguntin res.

Les preguntes que estan pensades per a aquells alumnes que voluntàriament hi vulguin aprofundir s'indiquen amb la paraula “avançat” entre parèntesis. La intenció és que els alumnes que assumeixen la tasca de respondre aquestes preguntes, presentin al grup els seus resultats, de forma que també puguin ser assumits pels seus companys.

b) Sistema

A la seqüència es sol seguir sempre la mateixa rutina de presentar un sistema i després fer-hi preguntes. Per això el primer pas substantiu és indicar quin és el *sistema* que es presenta, és a dir, en quina part del món centrem l'atenció.

S'indicarà amb una xifra precedida per una essa majúscula "S" per indicar que es tracta de la numeració dels sistemes; així el *sistema número 1* s'indicarà per "S1". (Aquests números dels sistemes apareixen igualment, a l'annex B, dins d'un cercle blau o vermell –segons que el sistema sigui específic o genèric respectivament– afegit a la seqüència original al costat del paràgraf on es presenta el sistema).

També s'hi afegirà algun element descriptiu, formulat telegràficament per falta d'espai, per facilitar-ne la identificació ràpida (per exemple, "maó, neu" en el sistema 1, per recordar que es tracta del maó que s'enfonsa en la neu pel seu propi pes). El sistema es considerarà vigent fins que no se n'introdueixi un de nou.

c) Referents

Per construir el model mental del sistema caldrà que l'alumne s'hagi fet la *primera representació* mental del sistema, recollint-ne la *topologia*: què hi ha, com està col·locat, què interacciona amb què... En aquelles preguntes que demanen de descriure la topologia, per exemple mitjançant un dibuix, es representa per la lletra "T"; però en la resta de casos, la gran majoria, es considera que la construcció de la topologia anirà paral·lela a la presentació del sistema, sempre que l'alumne hi posi prou atenció, i no s'indicarà a la taula.

Per passar a la *segona representació* –el *model causal*– caldrà afegir-hi les *regles de funcionament* de les entitats presents. Això se suposarà que es fa a partir de regles ja conegudes i de *sistemes* amb un funcionament semblant. Com que es pot fer de moltes maneres, se'n proposaran algunes, mostrant el sistemes i regles que *a priori* semblen les referències més directes. Els sistemes que considerem més *útils* per a aquesta funció s'hi han indicat amb negreta. En molts casos també farà falta coneixement previ per part de l'alumnat, però no s'hi fa constar ja que considerarem que en

general es tracta de coneixements prou comuns, més o menys intuïtius, o bé coneixement escolar que ja es considera adquirit.

d) Model mental

La construcció de la segona representació o *model causal* és el punt clau de tot el procés. Hem d'entendre que el procés no té per què ser lineal, sinó que sovint estarà ple d'incerteses i dubtes, de passos en fals que s'han d'anar solucionant amb els mecanismes reguladors propis del model mental dinàmic (cerca de coherència, correspondència i robustesa). Indicarem el model a construir amb la lletra "M" que no té més funció que concretar, mitjançant fletxes de connexió, a partir de què s'hauria (hipotèticament) d'haver construït i què se n'hauria de treure de la seva utilització; és a dir, el que raonablement hi hem de posar i el que en volem treure a partir de les *execucions* que calgui fer del model. Aquestes i altres fletxes haurien d'anar dibuixant un itinerari del que es considera que ha de ser el *flux de treball* i, per tant, també el fil narratiu.

e) Elaboració de cada resposta

No s'intenta entrar en el detall de la generació de cada resposta mitjançant l'execució del model mental que s'ha construït del sistema, ja que és un procés individual i no hi ha motiu perquè hagi de ser el mateix en cada alumne. Només es descriuen els elements clau que han de servir com *entrada* i els que s'han d'obtenir com a *resultat* de l'execució, que serà la *resposta* demanada. Es pot tractar d'una o diverses propietats ("P"), d'un fet observat o recordat ("F") o d'anticipar una acció ("A") que després es realitzarà.

Amb lletra petita s'hi indica, abreviadament per falta d'espai, a sota d'aquests signes, el seu *significat* concret (per exemple "àrea" a sota de "P"). La *fletxa* ("→") que les uneix només simbolitza els passos que s'han de realitzar entremig, però sense concretar-los, uns passos que hem de considerar assequibles a les capacitats de l'alumnat.

Algunes accions no estan explícitament demanades en la guia de l'alumne, però es podrien fer amb facilitat en el context que apareixen; en la nostra anàlisi apareixen indicades entre *parèntesis* per indicar-ne el caràcter *optatiu* per al professorat.

f) Conclusió

És el *resultat consensuat* que es tractaria d'aconseguir a partir d'aquella pregunta: el nou coneixement que s'hauria d'adquirir i que caldrà escriure o representar formalment, normalment en un espai gris de la guia de l'alumne. Cadascun d'aquests coneixements sobre un sistema l'anomenarem **regla** i la representarem amb la mateixa xifra que el sistema en què s'ha obtingut, amb una "R" al davant. Si en un sistema es produeixen diverses regles es numeraran alfabèticament: per exemple R1a, R1b... (Aquestes lletres no s'han de confondre amb les que serveixen per identificar les preguntes).

Amb lletra petita s'hi indica també el *contingut* de la nova regla de forma abreviada per facilitar-ne el reconeixement. També s'hi utilitzen notacions habituals, com indicar l'augment o la disminució d'una variable mitjançant fletxes ("↑" i "↓" respectivament).

Les regles que són assequibles en aquell moment però que no se'n demana una formulació explícita es consideraran *optatives* per al professorat i s'indicaran entre *parèntesis*.

g) Satisfacció esperada

Al llarg de tot aquest procés que la pregunta ha engegat, es generaran estats de satisfacció o insatisfacció que ajudaran a regular el procés de construcció i reconstrucció del model mental. Però el que interessa recollir és l'efecte que l'execució del model mental es pretén que generi al final, és a dir un **estat emocional** de *satisfacció* o *insatisfacció*, en funció que el model acabi resultant

- *coherent* (quan s'ha pogut completar la tasca sense que quedin contradiccions internes per resoldre: "COH+"),
- *corresponent* (quan allò previst mitjançant el model és precisament el que succeeix: "COR+"), i
- *robust* (quan el model es pot aplicar amb èxit en condicions diferents de les previstes o a altres sistemes semblants: "ROB+),

o resulti que no ho és ("COH-", "COR-", "ROB-").

La valoració d'aquests estats es fa tenint en compte l'experiència d'allò que sol resultar més difícil per a l'alumnat: si no acostuma a presentar cap dificultat especial – tenint en compte els mecanismes de regulació de la classe– es valorarà positivament i si s'hi preveuen dubtes importants, en negatiu.

En alguns casos l'estat emocional final, al dependre d'opcions individuals preses per cada alumne, *no serà possible de preveure*; llavors ho indicarem amb interrogants (“COH?”, “COR?”, “ROB?”).

Per fer-ho més visual, una valoració positiva, negativa o dubtosa s'ha representat el símbol corresponent amb color: *verd*, *vermell* i *taronja* respectivament.

De nou, quan la guia de l'alumne no preveu explícitament algunes activitats de resolució de conflictes cognitius però són viables en aquell context, s'indica entre parèntesis el nou estat emocional que es generaria; per exemple, “(COR+)” indicaria que es pot comprovar, potser amb un experiment, que el model efectivament era corresponent amb els fets. Decidir de fer-ho o no és opcional per al professor.

h) Resolució

Les possibles insatisfaccions generades durant el procés caldrà resoldre-les tan aviat com sigui possible. Aquí es tractarà només d'indicar amb *fletxes* la connexió entre els exercicis on es genera el problema, amb la corresponent insatisfacció, i aquells on es resol (**connexió problema–solució**), per garantir que, en principi, no queden dubtes rellevants per solucionar.

3.3.2 Estructura de la seqüència: narracions

Passarem a analitzar la seqüència triada, que dividirem en fragments per fer-ho més senzill. Per a cada sistema s'intentaran mostrar tots els elements acabats de descriure i la seva relació, que anirà constituint l'estructura de la seqüència. Tot plegat ha de quedar enfilat en una **narració** hipotètica que un alumne hauria de poder fer de *l'itinerari* que preveiem que pot seguir el treball de la classe. Una narració que resulti

versemblant pensant en els nostres alumnes, i *racional* tant pel que fa als aspectes *conceptuals* com als *emocionals* que hi estan associats.

Els resultats d'analitzar la seqüència sobre "La pressió" es mostren a les següents taules (3.1 a 3.8). (Per facilitar-ne la lectura, al canviar de sistema es canvia també el color de fons corresponent. I per agilitzar el llenguatge, a partir d'ara ens referirem als exercicis i les preguntes sense aquestes paraules i només amb el seu identificador: en comptes de parlar de *l'exercici 36* o de *la pregunta 36c* ens hi referirem directament com 36 i 36c).

A continuació de cada taula, amb lletra diferent, hi ha la narració que s'intenta que l'alumnat sigui capaç de construir a partir del treball de cada part de la seqüència. Hi introduïrem alguns comentaris, entre claudàtors i en cursiva, combinant així el discurs hipotètic de l'alumnat amb l'anàlisi que fem d'alguns dels aspectes de les dades.

a) Anàlisi (part 1 de 8): pressió i enfonsament

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
32c	S1 maó, neu		M	P → P posició → enfonsament		COR? COH?	
33a				P → P mides → àrea		COH+	
b				P → P àrea → enfonsament	R1a àrea1 → enfonsament1	COH+ COR+	
c				P → P mides → F en 1 cm ² F en 1 cm ² → enfonsament1	(R1b)	COH+ (COR+)	
33d	S2 mà, fang	S1, R1b	M	P → P mides → enfonsament		ROB+	
33e	S3 superfície genèric	S1, S2, R1b	M	P → P força, cm ² → pressió	R3a pressió = F en 1 cm ²		
				P → P força, àrea → pressió	R3b P = F dividit S		
					R3b P = F / S		ROB+
					R3c Pa = N / m ²		
34a	S4 llit de claus	S3, R1a	M	P → P pressió → dolor		ROB+	
34b	S5 xinxeta	S3, S4, R1a	M	P → P superfície → dolor		ROB+	
35a	S6 dos cubs	S3, R3a, R3b	M	P → P mides → pressió		COH? ROB?	
b				P → P pressió → vegades	(R6a) mida x n → P x n	COH? ROB?	
c				P → P dià altura → dià pressió	R6b altura1 → P1	COH+ ROB+	
35d	S7 formigues	S6, R6b	M	P → P mides → pressió		ROB+	

Taula 3.1. Anàlisi dels exercicis 32c al 35.

Al contestar la pregunta inicial (32c) sobre la relació entre les diferents posicions del maó i el seu enfonsament sobre la neu (S1) ens queda el dubte de si la nostra resposta ha estat o no correcta [*COR?* *COH?*]. Després de calcular [*COH+*] les àrees de les cares del maó (33a) en posem d'acord (33b) en esperar que com més àrea de contacte, menys enfonsament hi hauria d'haver (R1a) [*COH+* *COR+*]. Al calcular la força sobre cada centímetre quadrat (33c) ens adonem del que passa: com més força rep un centímetre quadrat, més enfonsament s'hi produirà [*COH+*]. No calia fer cap experiment perquè tots ens hem imaginat que passaria si un llistó d'un centímetre quadrat el premem més fort o menys contra el fang [*COR+*]. Un resultat (R1b) que ha permès deixar aclarits completament els dubtes inicials.

*[Les regles R1a i R1b, sorgides de la modelització del S1, descriuen una relació entre dues propietats –pressió i enfonsament– que fan referència al comportament del sistema. Per això aquest tipus de regles, que fan afirmacions sobre el funcionament dels sistemes, les anomenarem **regles de comportament**, per diferenciar-les de les de llenguatge que veurem una mica més avall].*

Aquest resultat l'hem aplicat sense problemes [*ROB+*] al cas (33d) de la mà contra el fang (S2), ja que el que determina l'enfonsament és, com abans, la força que rep cada centímetre quadrat de la superfície de fang (R1b), valors que hem calculat i que ens ha permès decidir amb quina força i posició de la mà s'enfonsa més.

*[Els sistemes com S3, que comparteixen algunes entitats o propietats, però no altres, amb diferents sistemes, els anomenarem **sistemes genèrics** per tractant-se del resultat d'un procés de generalització. Els sistemes genèrics els hem representat amb el símbol en vermell en aquestes taules de resultats].*

Per alleugerir el llenguatge, i situant-nos en tots aquells sistemes on una força actua contra una superfície (S3), anomenarem “*pressió*” la “*força sobre cada centímetre quadrat*” (R_L3a). Naturalment, “*per trobar el valor de la pressió, haurérem de dividir la força entre el valor de la superfície sobre la qual es reparteix*” (R3b) [ROB+], que també es pot escriure de forma més compacta amb els símbols “ $P = F / S$ ” (R_L3b). Això ens porta a establir que “*la unitat internacional de pressió haurà de ser el newton per metre quadrat*”, que es representa per “ N / m^2 ” i s’anomena “*pascal*”, que es representa per “*Pa*” (R_L3c).

*[A diferència de les altres regles que hem trobat, les regles indicades amb el subíndex “L” compleixen una funció diferent, doncs no es refereixen al sistema sinó al llenguatge. Les anomenem regles **de llenguatge** i per això les indiquem per “R_L”. Al no referir-se al sistema sinó al llenguatge, no produeixen la satisfacció o insatisfacció que generen les altres regles o afirmacions. No obstant això, la seva funció és igualment valuosa: simplifiquen el llenguatge, com es pot comprovar en aquests tres casos que acabem de veure].*

Per resoldre el cas (34a) del llit de claus (S4) i evitar que la noia es faci mal sobre els claus, cal acudir a la idea (R1a) [ROB+] que l’enfonsament menor s’aconsegueix repartint la força sobre una àrea ben gran. D’aquesta manera, la pressió –la força que rep cada centímetre quadrat– serà més petita si es reparteix la força del pes sobre una àrea gran, com quan es posi ben estirada. Aquest mateix raonament es pot repetir per entendre (S5) que la força que fem al clavar una xinxeta (34b) queda repartida per una zona molt més gran que la que actua contra la paret, que rep una pressió molt més gran [ROB+] i per això s’hi clava.

En canvi, a l’abordar (35) el problema dels dos cubs (S6), es pot pensar que la semblança entre els cubs (menor pes, menor superfície) originarà que els dos factors es compensin i la pressió sigui la mateixa en ambdós casos. Però al fer el càlcul (35a) de la pressió en cada cas, resulten diferents. Naturalment, això és un problema que caldrà resoldre [COH? ROB?]. A més a més constatem

(35b) que al multiplicar per un nombre les mides d'un cub la pressió es multiplica igualment per aquest mateix nombre (R6a). El problema segueix sense resoldre's [COH? ROB?]. Però si ens preguntem per què és diferent la pressió (35c) ens adonarem que sobre cada centímetre quadrat hi ha una alçada diferent d'aigua, 10 vegades més gran en un cas que en l'altre. A l'haver-hi més altura d'aigua, exerceix més pressió (R6b) i el problema queda resolt [COH+ ROB+].

Per resoldre el cas de les formigues (S7, 35d) es pot repetir l'argument anterior, cosa que simplifica molt el problema i permet de resoldre'l satisfactòriament: com amb els cubs, com més grans es facin les formigues, més pressió hauran de suportar les potes, més força rebrà cada centímetre quadrat, i més fàcil serà que es trenquin [ROB+].

b) Anàlisi (part 2 de 8): el valor de la pressió atmosfèrica

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
36 intro	S8 atmosfera genèric	S3, R3b	M	-ja proporcionada-	R8 P atm = 1 kp / cm ²	COR? COR-	
36a	S9 palmell mà	S8, S3 R8, R3b	M	P → P mides → força		COR- ROB-	
36b	S10 ventosa	S8, S9 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	
36c	S11 llauna	S8, S10 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	
36d	S12 finestra	S8, S11 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	

Taula 3.2. Anàlisi de l'exercici 36.

En aquest cas comencem (36*intro*) amb una informació desconcertant: que el valor de la pressió que fa l'atmosfera (S8) és d'aproximadament un quilopond per centímetre quadrat (R8). Naturalment, ens ha semblat que un valor tan gran està equivocadament, ja que no ens sentim aixafats per l'aire i molt menys amb una força tan gran [COH? COR-].

[Aquest començament no sembla raonable. El procediment habitual per crear coneixement és anar construint i reconstruint els models mentals fins a trobar-ne de satisfactoris. En canvi, aquí s'està introduint un coneixement que no només no és creïble sinó que de moment no té cap base. Aquí s'ha optat per no trobar experimentalment aquest valor, donades les dificultats pràctiques que suposaria en un entorn escolar. El que es busca és un impacte emocional que provoqui l'interès de l'alumnat per trobar-hi una solució, atrapat entre l'evident falta de correspondència d'R8 i la suposició de coherència en les idees del professor].

Al calcular (36a) la força sobre el palmell de la mà (S9) encara ens ha reforçat més la convicció que la pressió que ens han dit no pot ser, ja que ningú percep una força tan gran de l'aire contra la mà [COR- ROB-].

Però ja no n'hem estat tan segurs quan ens hem adonat del fet que una forta xuclada sobre la pell acaba per produir un hematoma molt evident; això vol dir que al retirar l'aire la sang surt dels capil·lars degut a alguna força important. Això ens ha fet pensar que potser l'aire la compensava i al retirar l'aire ja no la pot compensar [COR+ ROB+].

Quan hem calculat la força de l'aire contra una ventosa (36b) (S10) i contra el lateral d'una llauna de refresc (36c) (S11) ens han sortit també valors molt alts difícils de creure [COR? ROB?]. També aquí hem intentat comprovar-ho. El cas és que la ventosa, tot i que era petita, de pocs centímetres quadrats, ens ha constatat força d'arrencar, hem hagut de fer-hi uns quants quilos de força. Potser sí que era un quilopond per cada centímetre quadrat! Això confirmava el que deien els càlculs [COR+ ROB+]. Pel que fa a la llauna, que s'ha rebregat com si fos de paper quan li hem tret l'aire de dins, també confirma que, efecti-

vament, la força que fa l'aire sobre un centímetre quadrat ha de ser molt gran encara que no ho notem [*COR+* *ROB+*].

Finalment hem calculat (36d) la força que rebria una gran finestra (S12) d'una nau, amb aire per un costat i buit a l'altre i ens sortia un valor exageradament gran [*COR?* *ROB?*]. Hem entès per què les naus de debò tenen finestretes tan petites, perquè una finestra gran realment rebria una força tan gran que difícilment el vidre l'aguantaria [*COR+* *ROB+*].

c) Anàlisi (part 3 de 8): la pressió a dins de l'aigua

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
37a	S13 mar		M	P → P fondària → pressió		COH? COR?	
38a	S14 dispositiu	S3, R1b	M	T M (P → P) pressió → desnivell		(COH+ COR+)	
38b	S15 dispositiu, dipòsit genèric	= S13 + S14	M	A manipulació		COH+	
c				F experiment, dibuix		COR+	
d				P → P fondària → pressió	R15a fondària1 → pressió1	COR+ ROB+	
37b	S13 mar		M	P → P direcció → pressió		COH? COR?	
39a	S15 dispositiu, dipòsit genèric	R15a	M	A manipulació		COH+	
b				F experiment, dibuix		COR+	
c				P → P direcció → pressió	R15b dif direcció → = pressió	COR+ ROB+	
37c	S13 mar		M	P → P cova → pressió		COH? COR?	
40a	S15 dispositiu, dipòsit genèric	R15a, R15b	M	A manipulació		COH+	
b				F experiment, dibuix		COR+	
c				P → P cova → pressió	R15c P només depèn de fondària	COR+ ROB+	

Taula 3.3. Anàlisi de l'exercici 37 al 40.

Hem tornat a una de les preguntes (37a = 32d) del qüestionari inicial de la seqüència sobre la pressió dins del mar (S13). No teníem gaire confiança en les nostres respostes inicials [COH? COR?]. Per aclarir-ho hem fet una sèrie d'experiments. Primer (38a) hem descrit (38a) mitjançant un dibuix (fig. 3.1) el dispositiu experimental que havíem d'utilitzar (S14) i hem entès el seu funcionament: al prémer la membrana de l'embut comprimim l'aire d'una de les branques del tub en U, fent que l'aigua baixi per aquella banda i pugi per l'altra: com més fort es prem la membrana, més es desnivella l'aigua [COH+ COR+].

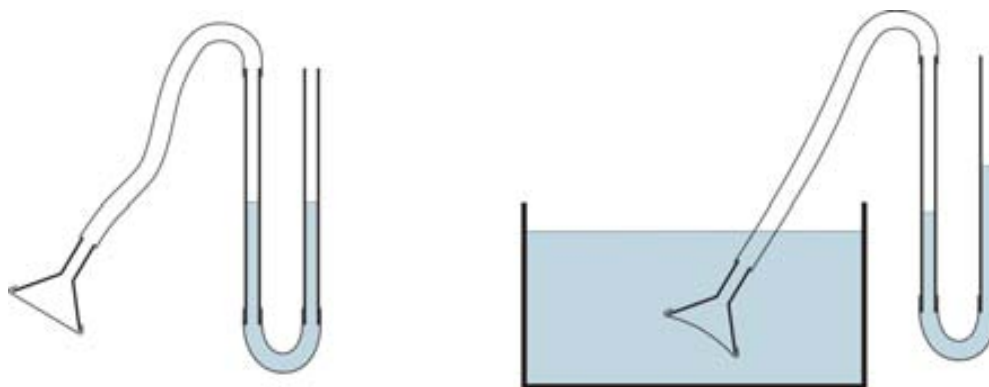


Figura 3.1. Dispositiu utilitzat per estudiar la pressió a l'interior d'un líquid i forma d'utilitzar-lo.

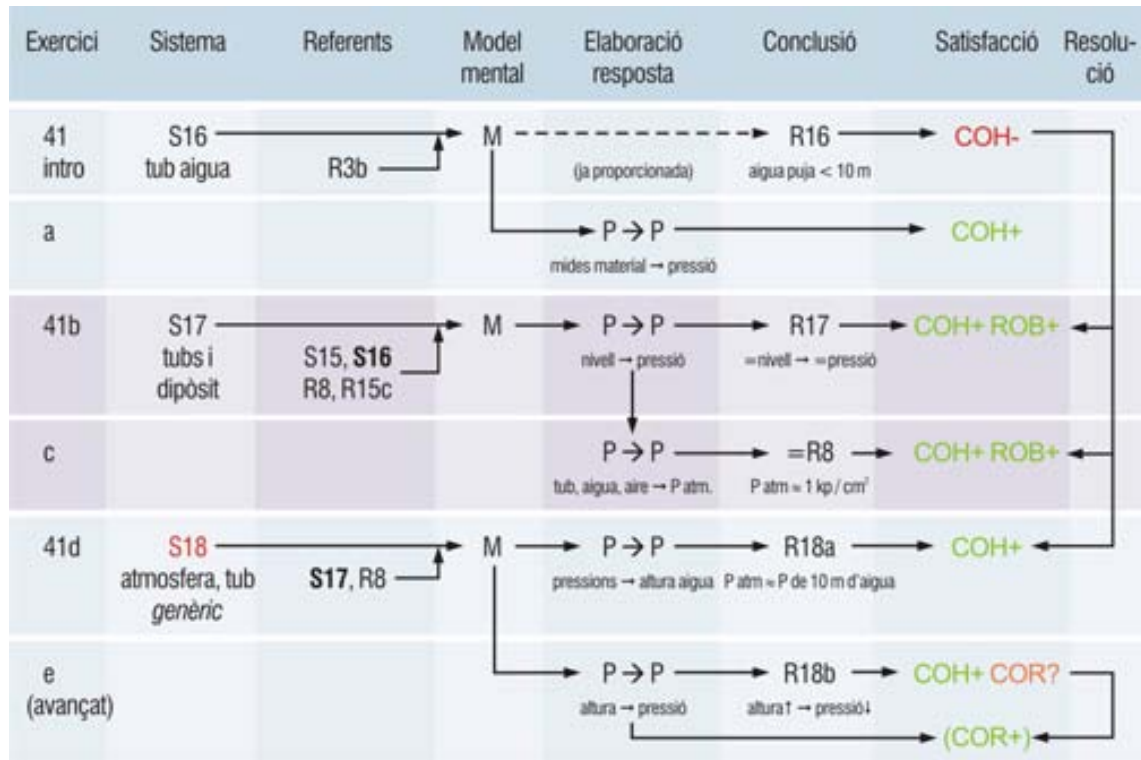
Utilitzant aquest instrument (S14) hem pogut investigar de què depèn la pressió de l'aigua dins del mar (S13), però utilitzant en comptes del mar un recipient prou profund. Hem predit que a més fondària hi hauria d'haver més pressió, perquè com més avall et capbusses al mar, més mal et fan les oïdes. Per comprovar si varia la pressió amb la fondària, hem pensat (38b) que només calia anar baixant l'embut i mirar com es va desnivellant l'aigua del tub (S15=S13+S14) [COH+]. Quan ho hem fet (38c,d) hem vist que, efectivament, com més avall baixava l'embut més pressió hi havia a l'aigua (R15a) [COR+ ROB+].

*[És interessant notar que encara que les preguntes fan referència al mar, es treballa amb un recipient amb un pam d'aigua com si es tractés del mar. El recipient fa, doncs, de **model** del sistema en estudi, al servir per pensar sobre un altre sistema sense cap mena de problema. La raó és que considerem que ambdós sistemes tenen un funcionament equivalent i, pel que fa als experiments, construïm un únic model mental per als dos sistemes, demostrant així la seva robustesa.]*

Després volíem saber si la pressió variaria amb la direcció (37b) cap a on mirés l'embut. Alguns deien que marcaria més mirant enlaire que cap avall, i altres que cap al costat no marcaria, però no ho teníem clar [COH? COR?]. Per això vam pensar (39a) que la manera de fer l'experiment era anar girant l'embut però mantenint el seu centre a la mateixa fondària, perquè la fondària no afectés el resultat [COH+]. Al fer-ho (39b,c) ens va sorprendre que realment la pressió no variava amb la direcció (R15b), ara ho tenim clar [COH+ COR+].

Ens quedava aclarir finalment si la pressió canviaria a l'entrar a una cova (37c), i hi havia qui deia que hi hauria menys pressió i qui n'hi esperava més; no estava clar [COH? COR?]. Hem preparat l'experiment (40a) posant un vas de precipitats ajagut al fons del dipòsit. Es tractava de moure l'embut horitzontalment sobre el fons, per evitar de canviar de fondària fins a entrar al vas. Al fer-ho vam veure que la pressió no variava, així que al final, sembla clar que la pressió només depèn de la fondària (R15c) [COH+ COR+].

d) Anàlisi (part 4 de 8): pressió atmosfèrica i aigua



Taula 3.4. Anàlisi de l'exercici 41.

Com en un cas anterior (36), també aquí (41 intro) (S16) comencem amb una informació difícil d'admetre: que l'alçada màxima que les bombes aspirants poden fer pujar l'aigua és d'uns 10 m (R16). Ens estranya perquè tots tenim clar que al beure un refresc amb palleta, com més fort es xucla, més amunt puja l'aigua [COR-]. Per fer pujar l'aigua més enllà dels 10 m simplement caldria xuclar més fort.

Tenint en compte que un centímetre cúbic d'aigua pesa un gram, calcular la força de 10 m d'aigua sobre un centímetre quadrat (41a), que és d'un quilo, no ha significat cap dificultat important [COH+]. Però al comparar (41b) tres punts en el mateix nivell de l'aigua (S17), hem recordat que la pressió a dins de l'aigua només depenia de la fondària (R15c), i això vol dir que si els punts són al mateix nivell dins de l'aigua, han de tenir la mateixa pressió (R17)

[COH+ ROB+]. Comparant-ho (41c) amb el càlcul que acabàvem de fer, hem vist que l'atmosfera i 10 m d'aigua fan la mateixa pressió: 1 kp / cm² (=R8) [COH+ ROB+]. La pressió atmosfèrica equival, doncs (41d), a la que fan 10 m d'aigua (R18a) [COH+]. (Amb aquest resultat ja hem pogut entendre per què, al xuclar al tub, l'aigua no pujava més de 10 metres: a la base del tub la pressió sempre és igual a l'atmosfèrica, i quan hi ha aire i aigua, la suma de les dues pressions serà 1 atmosfera, però al treure tot l'aire, tota la pressió l'ha de fer l'aigua, cosa que s'aconsegueix a l'arribar als 10 m. Si per algun motiu hagués pujat més, baixaria tot seguit fins als 10 m per compensar-se amb la pressió atmosfèrica.

Una companya ens ha explicat com ha resolt l'exercici voluntari sobre la pressió atmosfèrica (41e). Segons ella, a mida que augmenta l'altura la pressió de l'aire hauria d'anar disminuint, però cada vegada més lentament (R18b) [COH? COR?]. Diu que ho ha trobat comparant les capes de l'atmosfera amb un munt de bales de cotó, totes iguals i del mateix pes i mida: com més avall, més aixafades estan –l'aire també es comprimeix– i quan pugéssim 100 m a poca alçada trobaríem més bales (més comprimides) que a més alçada (menys comprimides), significant que la pressió varia més ràpid a poca alçada que a més alçada [COH+ COR?]. La nostra companya també ens ha ensenyat una gràfica que ha baixat de la xarxa, representant la pressió en funció de l'altura feta amb dades obtingudes amb un globus, i ha resultat ser tal com ens esperàvem [COR+].

e) Anàlisi (part 5 de 8): força ascensional i principi d'Arquimedes

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
42a	S19 embassament	S18, R18a	M	P → P altura → pressió		COH+	
b				P → P pressió → gruix		COR+	
43a	S20 cub submergit	S19, R18a	M	P → P mides → F superior		COH+	
b				P → P mides → F inferior		COH+	
c				P → P mides → F laterals		COH+	
d				P → P forces → direcció suma		COH+ (COR+)	
e				P → P material → suma F		COH+	
43f	S21 objecte submergit genèric	S20	M	P → P submergit → F asc	R21 F amunt > F avall → F asc	ROB+	
43g	S22 pedra submergida	S21, R21	M	P → P submergida → menor pes		ROB+	
43h	S23 globus aerostàtic	S22	M	P → P globus → vola		ROB+	
44a	S24 cub d'aigua submergit	S21, R21	M	P → P mides → pes		COH+	
b				F equilibri		COR?	
c				P → P equilibri → forces		COR+	
44d	S25 objecte submergit genèric	S21, S24, R21	M	P → P obj. subm. → F asc = pes...	R25 (Pt. d'Arquimedes) R ₁ 25 R25 = Pt. d'Arquimedes	ROB+	

Taula 3.5. Anàlisi de l'exercici 42 al 44.

[A partir d'aquí desapareix pràcticament la cerca de resultats insatisfactoris. Això és perquè hores d'ara ja hem construït els models més conflictius i elaborat les regles més contraintuïtives i toca anar-les aplicat a nous sistemes.]

Dins de l'aigua d'un embassament (42a) (S19), a més fondària hi ha d'haver més pressió (R15a) i concretament cada 10 m hauria d'augmentar una atmosfera (R18a) és per això que hem comptat que la pressió dibuixada havia de ser de 4 atm i, a partir d'ella hem anat escrivint i dibuixant les altres pressions sense problemes [COH+]. Que el mur (42b) sigui més gruixut com més avall és clar que és per compensar una pressió de l'aigua cada vegada més gran [COR+].

En l'estudi (43) del cub submergit (S20) ens ha estat útil pensar en els valors de pressió dins de l'embassament (S19). És fàcil trobar que la pressió que fa l'aigua sobre la cara superior del cub és de 2 atm, que són 2 kp sobre cada centímetre quadrat, i com que aquella cara té $1000 \times 1000 \text{ cm}^2$, deu estar rebent una força de 2 milions de quiloponds (43a) [COH+]. De manera semblant hem trobat que la força que rep per sota, a més fondària, és més gran: 3 milions de quiloponds (43b) [COH+]. Pel que fa a les forces laterals, com que la força sobre cada centímetre quadrat en un costat es compensa exactament amb la del costat oposat, hem pensat que el total de forces laterals havia de ser zero (43c) [COH+]. Per tant, sumar totes les forces que l'aigua fa contra el cub es redueix a restar la de sota menys la de damunt, donant una força d'un milió de quiloponds dirigida cap amunt (43d) [COH+]. Hem agafat una peça de ferro penjada d'un dinamòmetre i quan la submergíem en aigua, efectivament el dinamòmetre marcava menys ja que rebia més força de l'aigua per sota que per damunt [COR+]. I com que aquestes forces les fa l'aigua exterior sobre el cub, és clar que la força total no dependrà del material que estigui fet el cub (43e) [COH+]. De tot plegat hem après (43f) que qualsevol objecte submergit en un fluid

(S21) rebrà una força ascensional dirigida cap amunt degut a rebre més força de l'aigua per sota que per damunt (R21) [ROB+].

Aquesta idea ens ha servit (43g) per explicar que la pedra (S22) sembla pesar menys submergida a l'aigua que quan és a fora: a dins, l'aigua li farà més força per sota que per damunt [ROB+]. El cas (43h) del globus aerostàtic (S23) ens ha costat una mica més d'entendre, però passa el mateix: també rep més força de l'aire per sota que per damunt i així pot compensar el seu pes i volar. Ens ha costat fins que hem entès que la pressió de l'atmosfera també és més gran, com passa amb l'aigua, més avall que més enlaire [ROB+]: sinó, per què ens fan mal les oïdes al baixar ràpidament per una carretera? [COH+]

Al calcular (44a) el pes de l'aigua de l'interior del cub (S24), tenint en compte les seves mides, ens ha sortit un milió de quiloponds. És una pes molt gran, és clar que també la mida del cub és molt gran [COH+]. Llavors ens hem adonat que l'aigua dins de l'aigua havia d'estar en equilibri (44b) i que un pes tan gran no teníem gaire clar si realment es podria compensar [COR?]. Estàvem convençuts que aquella aigua del cub no podia caure (44c) i vam entendre per què quan vam repassar els càlculs que abans havíem fet per trobar la força ascensional: era d'un milió de quiloponds que compensaven exactament el pes de l'aigua! [COR+]

Aquest descobriment ens ha permès redactar (44d) una nova llei, anomenada "Principi d'Arquímedes" (R_L25): "la força ascensional sobre un objecte submergit (S25) és igual al pes del fluid desplaçat" (R25) [ROB+]. Hi hem posat la paraula "fluid" perquè no val només per líquids, sinó que també val per gasos, com hem vist en el cas del globus aerostàtic [ROB+].

f) Anàlisi (part 6 de 8): la flotació dels objectes

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
45a	S26 bloc a l'aigua	S25, R25	M	P → P posició → F asc.		COR? ROB?	
b				P → P volum → F asc.		COH+	
c				P → P densitat → pes		COH+	
d				P → P mides, pes → flotació		COH+ (COR+)	
45e	S27 objecte submergit genèric	S26	M	P → P densitat → flotació	R27 d obj < d liq → sura	ROB+	
45f	S28 proveta, materials	S27, R27	M	P → P densitat → ordre		ROB+ (COR+)	
46 (avançat)	S29 objecte submergit genèric	S25, R18a	M	P → P posició, fondària → F asc igual	R29 F asc independent	ROB+ (COR+)	

Taula 3.6. Anàlisi dels exercicis 45 i 46.

Al submergir en aigua un bloc de 500 cm^3 de volum (S26) la seva força ascensional en principi no hauria de dependre de la seva posició (45a) doncs l'aigua desplaçada tindrà el mateix volum que l'objecte en qualsevol posició. Hem calculat la força ascensional (45b) mitjançant el principi d'Arquímedes (R25): serà el pes de 500 cm^3 d'aigua, que és de $0,5 \text{ kp}$ [COH+]. Igualment podem calcular el pes del bloc (45c), que resulta ser de $0,4 \text{ kp}$ [COH+]. Per decidir si sura o no (45d) només hem de veure que la força ascensional és més gran que el pes, cosa que vol dir que surarà [COH+]. De fet, tractant-se de fusta a l'aigua, ja sabem per experiència que efectivament flotarà [COR+]. Això ens ha permès adonar-nos que el que resulta decisiu per decidir la flotació és comparar els valors de les dues densitats: un objecte surarà en un líquid (S27) si té

menys densitat que el líquid (R27) [ROB+]. Ho hem aplicat (45f) per resoldre el cas de diverses substàncies en una proveta (S28): les substàncies es col·locaran per ordre de densitats, quedant les menys denses a dalt i les més denses al fons, tant se val que siguin sòlids o líquids [ROB+]. És un resultat que hem pogut comprovar a classe fent l'experiment amb gairebé totes aquestes substàncies [COR+].

Finalment, un company ens ha ensenyat els seus càlculs (46) per trobar la força ascensional quan es submergeix en aigua un objecte de 10 x 10 x 20 m (S29) en diverses posicions i fondàries. Aplicant el principi d'Arquímedes (R25) és normal que sempre sortís el mateix, perquè el volum no canviava. Però calculant-ho a partir de les pressions, que porta més feina, també sortia sempre el mateix. Això vol dir que ni la posició de l'objecte submergit ni la seva fondària no afectaran la força ascensional que rep, que només depèn del volum que desplaça [ROB+], tal com hem vist en els experiments que hem fet utilitzant un dinamòmetre [COR+].

g) Anàlisi (part 7 de 8): la pressió de l'aigua dins de tubs

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
47a	S30 dipòsits connectats	S15, S18, R18a	M	P → P posició → pressió ↓ P explicitar		COH+	
b				P → P no flux → altura		COH+ (COR+)	
47c	S31 dipòsits connectats genèric	S30	M	P → P forma → pressió	=R15c P només depèn de fondària	ROB+	
48a	S32 sifó	S30, R18a	M	P → P posició → pressió		COH+	
b				P → P pressions → moviment		COH+ (COR+)	
c				P → P altura → pressió	R32 xuclar → > 10 m impossible!	ROB+ COR+	
49a	S33 sifó, cisterna	S30, S32	M	P → P nivell cisterna → nivell al tub		ROB+ (COR+)	
b				P → P nivell → moviment ↓ P → P altures → a. màxima		COH+ (COR+)	
c				P → P altures → a. mínima		COH+ (COR+)	
d				P → P altures → a. mínima		COH+ (COR+)	

Taula 3.7. Anàlisi de l'exercici 47 al 49.

A l'estudiar (47) els dos dipòsits connectats (S30) hem recordat de casos anteriors que cada 10 m de fondària la pressió de l'aigua augmentava una atmosfera. Per això ens ha estat fàcil dir (47a) la pressió de l'aigua: augmentant 0,1 atm cada metre cap avall [COH+], dona (47a) un valor d'1,5 atmosferes al punt C [COH+]. És fàcil deduir que si no volem que passi aigua quan s'obri l'aixeta (47b), la pressió haurà de ser la mateixa a totes dues bandes, i això no-

més serà quan el dipòsit gran s'ompli d'aigua fins al mateix nivell que el petit, independentment de la forma o amplada que tingui [COH+]. Ho hem pogut veure connectant dos embuts diferents amb un tub i posant-hi aigua [COR+]. Per això, queda clar (47c) que la pressió no depèn tampoc de la forma del recipient (S31), sinó –com ja havíem trobat (R15c)– només de la seva fondària [ROB+].

En el cas del sifó (S32) hem utilitzat la mateixa tècnica per trobar la pressió (48a) dins de l'aigua a diferents alçades [COH+]. Amb aquests valors hem vist que a l'extrem inferior del tub l'aigua feia una pressió d'1,4 atm contra la mà que l'aguanta, mentre que per fora l'aire només hi fa una atmosfera. Quan retirem la mà (48b), per tant, l'aigua segurament tendirà a sortir [COH+]. Ho hem pogut comprovar amb un vas de precipitats amb aigua i un tros de tub de goma [COR+]. Si anéssim alçant la corba del tub (48c), la pressió al capdamunt seria cada vegada menor, fins que arribés a 10 m, que llavors seria zero; si seguíssim aixecant-ho, l'aigua ja no pujaria més de 10 metres perquè l'atmosfera fa la mateixa pressió que 10 m d'aigua, però no en pot fer més, un resultat que ja hem vist abans (R16) [ROB+ COR+].

D'una manera similar hem pogut resoldre el problema de la cisterna (S33) (49). Així, mentre es va omplint el dipòsit (49a), l'aigua agafa el mateix nivell dins del tub i així estan en equilibri (R15c) [ROB+]. Ho hem pogut veure realment quan ho hem fet amb un embut i un tub de goma fent de sifó [COR+]. Quan arribés al nivell superior del sifó (49b), esperàvem que l'aigua ja comencés a caure per l'altra banda del sifó [COH+] i efectivament és el que hem vist que passava [COR+]. Per això el nivell màxim d'aigua a la cisterna (49c), suposant que hi afegim aigua molt més lentament que com es buida, hem pensat que serà només el nivell superior del sifó, perquè així que hi arriba es comença a buidar [COH+]. Mentre que el mínim (49d) serà el dipòsit pràcticament buit [COH+]. Al fer-ne l'experiment hem vist que tant en un cas [COR+] com en l'altre [COR+] el resultat era tal com havíem previst.

h) Anàlisi (part 8 de 8): moviment segons la pressió, el vent

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
50a	S34 dipòsits, pistó	S3, R3a	M	P → P pressions → forces		COH+	
b				P → P forces → moviment		COH+ (COR+)	
50c	S35 objecte mòbil genèric	S34	M	P → P pressions → moviment	R35 es mou cap a P1	ROB+	
51a	S36 tempesta	S35, R35	M	P → P moviments → pressions		COH+	
b				P → P pressions → vents		COH+ (COR+)	
51c	S37 mapa isobàric	S36, R35	M	P → P pressions → vents		COH+ (COR+)	
d	S38 aire superficial genèric	S35, S36, S37 R35	M	P → P pressions → vents	R38 vent cap a P1	ROB+	
52a	S39 aire, terra, mar	S38, R38	M	P → P temperatures → moviment		COH+ (COR+)	
b				P → P moviment aire → dif pressió		COH+	
c				P → P pressions → vent		COH+ (COR+)	
d				P → P moviment aire → vent alçada		COH+	
e				P → P origen vent → humitat, temperatura		COH+ (COR+)	
f				P → P temperatures → moviment		COH+ (COR+)	
g				P → P moviment aire → dif pressió		COH+	
h				P → P pressions → vent		COH+ (COR+)	
i				P → P moviment aire → vent alçada		COH+	
j				P → P origen vent → humitat, temperatura		COH+ (COR+)	

Taula 3.8. Anàlisi de l'exercici 50 al 52.

Tenim (50) un èmbol connectat a dos dipòsits amb gasos a diferent pressió (S34). La força sobre cada centímetre quadrat de cada cara del pistó ens la diu la pressió corresponent. Si cada cara té la mateixa superfície, rebrà més força (50a) qui rebi més pressió. Això farà que vagi cap a on hi hagi menys pressió [COH+]. Ho hem pogut comprovar amb dos embuts amb una membrana de goma cadascun, connectats a cada branca d'un tub en U que tenia una mica d'aigua [COR+]. Aquest és un resultat que es deu complir en casos semblants (S35) (R35) [ROB+].

Els moviments ascendent d'aire sobre un terra escalfat (S36) provocaran que la pressió a terra (51a) a sota del núvol, com que n'ha marxat aire, ara sigui menor que abans o que en algun lloc més allunyat [COH+]. Per això, l'aire col·locat entre un lloc on hi ha poca pressió i un altre que n'hi ha més, com l'èmbol d'abans (S34), anirà cap a on hi hagi menor pressió, és a dir que el vent (51b) hauria de bufar en superfície cap a sota del núvol de tempesta [COH+]. Hem encès un bec bunsen per generar un corrent ascendent d'aire calent i apropant-hi una cinta de paper hem comprovat que efectivament l'aire anava per sota cap al bunsen, cap al corrent ascendent [COR+]. De la mateixa manera, podem esperar que en el cas (51c) del mapa isobàric (S37) l'aire vagi de les altes a les baixes pressions, que en aquest cas és cap al centre, on deu estar marxant aire, segurament per un corrent ascendent [COH+]. En un mapa del temps previst per avui hem comprovat que a l'entorn d'una depressió, l'aire, tot girant, va entrant cap al centre [COR+]. En definitiva, hem acabat plenament d'acord que (51d) a la superfície de la terra l'aire (S38) va cap a on hi ha menor pressió (R38) [ROB+].

Aquest resultat ens ha servit per comprendre el moviment de l'aire (S39) prop del litoral (52). Si l'aigua és més freda que el terra, els corrents ascendent es produiran damunt de la ciutat costanera (52a) [COH+]. N'estem convençuts també perquè recordem l'experiment amb el bunsen, i també perquè quan hi ha la calefacció engegada es nota molta més calor just a sobre del radiador que

en qualsevol altre lloc *[COR+]*. El cas és que si marxa aire calent de la ciutat cap amunt, es produirà una petita disminució de la pressió per pèrdua d'aire (52b) mentre que a tocar de la superfície del mar hauria de quedar inalterada *[COH+]*. Això farà (52c) que el vent en superfície bufi cap a terra durant les hores de sol fort *[COH+]*. De fet, tenim experiència que a l'estiu, a Mataró, durant el dia sol fer força marinada, que de vegades és forta *[COR+]*. Arran de la superfície del mar, d'on està marxant aire cap a terra, deu baixar la pressió, i ben amunt sobre de la ciutat, a l'arribar-hi aire, s'hi deurà produir-hi un augment de la pressió. És per això que hem pensat que en altura (52d) hi deu haver vent de sobre la ciutat cap al mar, que després descendeix, tancant així el cercle, com hem pogut veure al dibuix que n'hem fet *[COH+]*. Hem considerat que la marinada, el vent en superfície, haurà de ser (52e) humit i fresc, ja que bufa de mar cap a terra *[COH+]*. I efectivament, sabem que els estius, de dia, a la costa el vent és més fresc que a l'interior, però també més humit *[COR+]*.

Durant la nit, quan el terra s'ha refredat i el mar no, la diferència de temperatura és menor que abans. Podem esperar llavors (52f) uns febles corrents ascendents sobre el mar i descendents a terra *[COH+]*. De fet, l'aire fred caient el podem veure –remarcant pel vapor– quan obrim la nevera amb molta humitat a l'ambient *[COR+]*. Aquests corrents, al treure aire de la superfície del mar hi faran disminuir la pressió respecte del terra (52g) *[COH+]* causant un vent superficial de terra cap a mar (52h) *[COH+]* i un vent en alçada en sentit contrari (52i) per les mateixes raons d'abans *[COH+]*. El vent superficial, provinent de la terra, haurà de ser fresc i sec, com el lloc d'on procedeix (52j). La nostra experiència ens diu que és veritat tant que al vespre baixa una brisa feble cap a mar *[COR+]* com que, efectivament, és relativament fresca i eixuta *[COR+]*.

Així doncs, en principi és possible redactar una narració prou clara de l'itinerari conceptual i emocional que es suposa que ha de recórrer l'alumnat al llarg de tota la

seqüència. Aquesta narració és la que esperariem que l'alumnat fos capaç de redactar durant el treball de la seqüència o posteriorment.

Com s'ha pogut veure, perquè això sigui possible la seqüència s'ha de dissenyar de manera que els problemes que les preguntes van generant, així com les dificultats amb els models, es puguin anar solucionant d'una forma ordenada mentre es van construint coneixements i anotant-los, tot mantenint sempre els reptes a l'abast de les capacitats dels nostres alumnes i vetllant per la seva implicació activa.

3.3.3 Altres resultats

L'important volum de dades recollides a les taules anteriors requereix algun tipus de reducció. Primer recollirem en xifres el més essencial del que apareix a les taules 3.1 a 3.8. Després intentarem condensar de forma gràfica les relacions entre els models mentals dels sistemes.

a) Recomptes

Una senzilla quantificació de les dades de taules anteriors ofereix els següents resultats (taula 3.9):

Exercicis	21
Sistemes	39
Específics	28
Genèrics	11
Preguntes	84
Comunes	82
Optatives avançades	2
Amb elaboració de la resposta	82
P → P	74
A	3
F	4
T	1
Sense elaboració	2
Regles	26
Explícites	24
De comportament	18
Repetides	2
De llenguatge	4

No explícites	2
Satisfacció esperada	105
Positiva	78
COH+	46
COR+	10
ROB+	22
Segons l'alumnat	23
COH?	7
COR?	10
ROB?	6
Negativa	4
COH-	1
COR-	2
ROB-	1
Satisfacció amb accions optatives	31
(COH+)	1
(COR+)	26
(ROB+)	4
Insatisfaccions resoltes	27
COH	8
COR	12
ROB	7

Taula 3.9. Recompte de resultats de les taules 3.1 a 3.8.

El conjunt de la seqüència analitzada comprèn, doncs, 21 exercicis que involucren 39 sistemes, 28 dels quals es poden considerar específics i 11 genèrics. S'hi realitzen 84 preguntes (comptant com una de sola demanar un resultat i la seva justificació) adreçades a tots els alumnes, excepte 2 que són optatives per a alumnes avançats.

L'elaboració de la resposta passa en 74 ocasions per relacionar una propietat o diverses amb una altra propietat o diverses amb inferències basades en el model mental corresponent. Es demana 3 vegades anticipar una acció, en 4 ocasions es recorre explícitament a un fenomen observat o recordat, i en una altra se li demana fer el dibuix d'un dispositiu perquè s'adoni de la seva *topologia*. En 2 casos es proporciona a l'alumnat una dada sense passar per la seva elaboració.

Es generen explícitament 24 regles, 4 de les quals són de llenguatge. Com que 2 de les 24 regles són repetició de resultats obtinguts per altres mitjans, són de fet 18 regles de comportament, diferents, les que s'han explicitat. Hi ha 2 regles més que po-

den aparèixer de forma optativa, si el professorat ho creu convenient, ja que no se'n demana explícitament la formulació.

L'avaluació d'accions es realitza un mínim de 105 vegades, de les quals 78 es preveuen positives (més de la meitat de les quals corresponen a models mentals amb *coherència*), 4 de negatives i en 23 ocasions dependrà de les respostes de l'alumnat. Tots aquests 27 aspectes problemàtics tenen prevista una resolució posterior, al llarg de la seqüència.

En 31 ocasions es pot millorar la satisfacció amb el model mental actiu mitjançant accions optatives no recollides en la seqüència: es tracta d'experiments senzills o bé de comparacions amb altres models, que el professorat pot decidir si fer o no.

b) Relacions entre els models

Ja hem vist que per elaborar el model mental de cada sistema fa falta, a més de prou informació sobre la seva topologia, incorporar-hi regles obtingudes anteriorment o la dinàmica d'altres sistemes amb una semblança suficient. Aquestes relacions hipotètiques més probables han quedat recollides a la columna "Referents" de les taules 3.1 a 3.8. Les utilitzarem per representar, en forma de mapa (fig. 3.2), aquestes relacions entre sistemes. Ho farem representant cada sistema pel seu símbol i mostrant amb fletxes la relació genètica que hem estimat més probable entre ells.

Totes les fletxes que hi apareixen indiquen la construcció del model mental d'un sistema prenent-ne un altre com a referència important (a part d'altres elements que també hi puguin intervenir). Quan en el procés es produeix una regla nova hem dibuixat la fletxa cap a la dreta, en cas contrari, cap avall. Hem dibuixat cada sistema a continuació de les regles que ha permès enunciar, per mostrar visualment que en el model del sistema hi ha incorporades les seves regles.

Amb aquesta representació esperem poder veure gràficament la contribució dels sistemes a l'elaboració de nou coneixement (dimensió horitzontal) o a la seva aplicació (vertical).

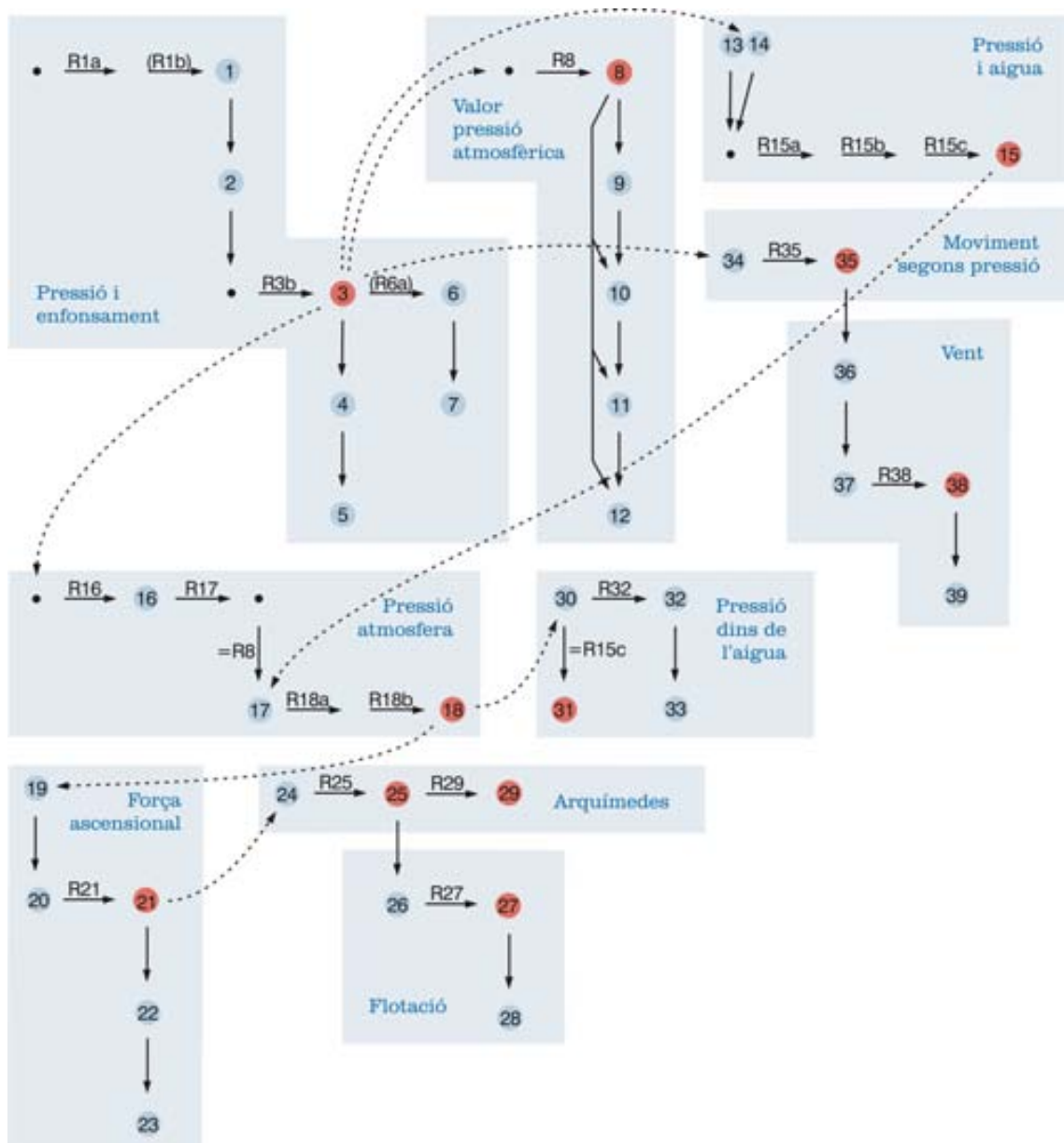


Figura 3.2. Mapa de relacions entre sistemes. (Els punts negres indiquen l'inici en la construcció del model quan no s'hi pot posar directament un altre sistema).

Quan els dos sistemes relacionats queden lluny entre si, s'ha representat la relació amb una fletxa corbada i puntejada. Com en altres llocs, els sistemes *específics* s'han representat de color blau i en els sistemes *genèrics* en vermell.

Per simplificar el dibuix, sempre que ha estat possible s'han dibuixat per separat els sistemes que es relacionen amb sistemes genèrics diferents. S'han situat els sistemes que es relacionen intensament amb un sistema genèric sobre un fons de color que s'ha etiquetat amb un rètol que fa referència a la naturalesa del sistema genèric.

Els sistemes apareixen amb aquesta tècnica formant *famílies* a l'entorn del model o models genèrics del grup. La seva amplada ve determinada per la quantitat de regles que hi sorgeixen mentre que l'alçada dóna idea de les relacions d'aplicació. D'aquesta manera, hi ha casos com l'anomenat "*Pressió i aigua*" o "*Pressió atmosfera*" amb recorregut fonamentalment horitzontal, indicant que estan encaminats preferentment a la generació de coneixement, mentre que altres com "*Valor pressió atmosfèrica*", "*Força ascensional*" o "*Vent*" són recorreguts més aviat verticals perquè no s'hi genera gaire coneixement nou i en canvi s'aplica el model mental d'un sistema als altres, augmentant així el seu camp d'aplicació i la seva robustesa.

A la fig. 3.3 es podrà visualitzar millor la relació entre un sistema i aquell a partir del qual principalment s'ha generat, al dibuixar-los en forma de genealogia. Un sistema ha permès la construcció dels models d'aquells altres sistemes que estan situats més avall, que hi estiguin connectats directament.

Com es pot veure, tots els models es poden considerar lligats. Les úniques excepcions són S1 (que era el primer de la sèrie) i S13 (que provenia d'una pregunta d'exploració feta abans de l'inici efectiu de la seqüència).

La línia blava deixa a la seva esquerra una estructura semblant a la d'un cicle d'aprenentatge: amb uns sistemes que serveixen d'exploració abans d'arribar a la introducció i estructuració, a S3 –un sistema genèric– per després aplicar-ho. Però en la tercera columna d'aplicacions apareix de nou una altra estructura semblant a un cicle d'aprenentatge, a l'entorn de S8.

Però a la dreta de la línia blava, l'estructura és força més confusa i difícilment es pot considerar un sol cicle d'aprenentatge; en tot cas n'hi hauria dos, centrats en S18 i S35 respectivament, però amb aplicacions que serien encara més cicles. L'estructura general s'assembla més a cicles dins de cicles, amb una estructura força complexa.

Tot això ens fa pensar que voler donar a una gran seqüència una estructura d'un sol cicle d'aprenentatge conduiria a reduir-ne les possibilitats, sobretot en la fase d'aplicació on la dinàmica dels models mentals sembla demanar un altre tipus d'organització.

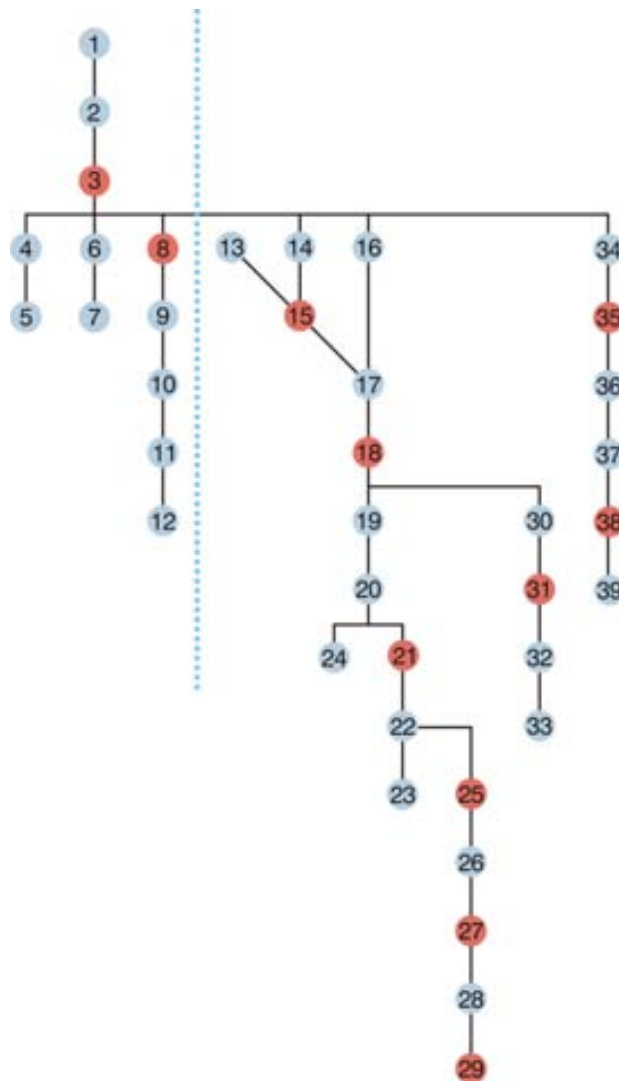


Figura 3.3. “Genealogia” dels models. Un model connectat directament amb un altre situat més amunt significa que aquest darrer ha servit de referència important durant la seva construcció. La línia discontinua vertical separa els dos cicles d’aprenentatge explícits que hi ha a la seqüència.

3.4 LA SEQÜÈNCIA SATISFÀ ELS REQUERIMENTS PSICOLOGICS I EPISTEMOLÒGICS DEL MARC TEORIC? (PR1)

Per determinar-ho estudiarem per separat si compleix primer amb els requeriments psicològics, d’acord amb el model *ONEPSI*, i a continuació farem el mateix amb els epistemològics del model d’activitat científica escolar.

3.4.1 La seqüència analitzada és coherent amb el model *ONEPSI*?

Tal com hem recollit a l'apartat 3.1.2a *Objectiu*, el model *ONEPSI*, estableix una sèrie de passos que una persona ha de fer per arribar a construir un model mental d'un sistema, de manera que resulti satisfactori per explicar i predir el seu funcionament. Anem a comprovar fins a quin punt les nostres dades (dels apartats 3.2.2 i 3.2.3) donen o no suport a l'afirmació que la seqüència analitzada és coherent amb el model esmentat, és a dir, si l'utilitza per generar dinàmiques de causa a efecte que es poden narrar després de forma racional.

a) Sistema, referents, inferir resposta

- Sistema:

A totes les preguntes (84) queda clara la referència a un sistema determinat, dels 39 que hi apareixen. Tots ells són a l'abast físic de l'alumnat o ho han estat (la ventosa, el sifó, el mar...), es tracta d'algun sistema equivalent (en comptes del mar, un recipient amb un pam d'aigua...) o d'un sistema genèric, relacionat per tant, amb diversos sistemes reals.

- Referents:

Per a cadascun dels sistemes se'n poden trobar d'altres que li serveixin de referència a l'hora de construir-lo, excepte en dos casos. Aquestes dues úniques excepcions són, com hem vist (fig. 3.3), S1 i S13, resultat de preguntes inicials d'exploració, sense més referents, que han servit de punts d'arrencada de la seqüència.

- Inferir resposta:

En la gran majoria de casos (74 de 84), amb el model mental que s'intenta construir es pot inferir correctament la resposta.

En 3 casos la resposta consisteix a anticipar l'acció abans de fer un experiment; dit d'una altra manera, es tracta d'elaborar un model mental predictiu del mètode de la intervenció empírica.

Hi ha dos casos (S8 i S16) que no hi ha pregunta explícita però es proporciona una dada que pot semblar absurda, amb la intenció que generi insatisfacció amb el

mateix mental que en construeix l'alumnat; les preguntes posteriors aniran dirigides a construir-ne un model mental satisfactori i solucionar el problema.

També hi ha 4 respostes que són resultats de fets –realitzats llavors o recordats– perquè posin a prova la correspondència dels respectius models mentals. En un sol cas es demana dibuixar l'estructura (*topologia*) d'un dispositiu, com a acció que ha d'ajudar a comprendre'n el funcionament.

En definitiva, podem dir que en tots els casos que requereixen raonament, el model mental és imprescindible per poder inferir la resposta adequada.

b) Construir i formular coneixement

- Construir coneixement. Sistemes genèrics:

Quan es comprèn el funcionament d'un sistema específic, aquells elements que hi resulten crucials potser es poden observar també en altres sistemes, que d'aquesta manera resulten més fàcilment explicats. Els elements crucials compartits formen el que hem anomenat un sistema genèric; la resta d'elements (entitats, propietats) no s'especifiquen, permetent que puguin adaptar-se a molts altres sistemes. Aquest seria el fonament de la generalització. A la seqüència han aparegut 11 models d'aquest tipus, un coneixement generalitzat que han servit per millorar la comprensió dels altres 28. Les taules de resultats ens permeten afirmar que la seqüència es pot descriure com un procés de creació i utilització de sistemes genèrics. (La distinció entre sistemes *específics* i *genèrics* prové de Nersessian, 2008).

- Formular coneixement. Regles de comportament del sistema:

En cadascun dels sistemes genèrics que hem trobat, les entitats i propietats crucials determinen un determinat comportament del sistema. La regla que es recull formalment per escrit té la finalitat de preservar aquesta relació, especificant les condicions que s'han de donar perquè es pugui aplicar i allò que succeirà previsiblement: són les dues parts d'una llei. Al fer el buidat de la seqüència apareixen totes les regles de comportament amb aquesta estructura comuna "*condició* → *afirmació*". Cadascuna d'aquestes regles ha d'anar associada al model genèric que ha permès d'inferir-la, ja que només amb el model és possible donar-hi explicació.

Algunes regles de comportament (per exemple R1a i R6a) estan associades, en les nostres taules, a un model específic i no genèric. Si aquest model pot produir una generalització és perquè, de fet, dóna origen a un model genèric, encara que no s'hagi explicitat en l'anàlisi. El motiu pot ser que s'incorpora al funcionament del sistema genèric següent (cas de R1a) o bé que és un resultat que no té continuïtat en la seqüència (com a R6a).

- Formular coneixement. Regles de llenguatge:

Les regles de llenguatge constitueixen un altre tipus de coneixement que es formula al llarg de la seqüència només en quatre ocasions (R_L3a, R_L3b, R_L3c, R_L25) però que resulten suficients. No aporten cap nou coneixement sobre el sistema, sinó convencions de llenguatge: una definició (es dóna nom, “*pressió*”, a una propietat que resulta de la relació entre dues altres propietats); una notació (“ $P = F / S$ ”, que representa de forma compacta un procés de càlcul); el nom i símbol d'una nova unitat (“*Pa*”, “*pascal*” per representar una combinació d'unitats, “ N / m^2 ”), i el nom que es dóna a una regla (“*principi d'Arquimedes*” per nomenar el seu enunciat, molt més llarg), respectivament. D'aquesta manera, a canvi de fer-lo més especialitzat, s'agilitza el llenguatge, que juntament amb altres coneixements especialitzats passen a formar part del que els membres de la comunitat d'aula –i la científica– comparteixen.

c) Satisfacció prevista, vies de solució

- Satisfacció prevista:

La seqüència també constitueix una hipòtesi sobre els efectes emocionals que es volen provocar en l'alumnat. Per això s'ha recollit a les taules l'efecte emocional que s'intenta generar amb la resolució de cadascuna de les preguntes. En molts casos (78 de 105) l'avaluació és positiva, indicant que no s'espera que generi problemes importants i que l'alumnat es trobarà confortablement amb els models mentals que construeixi. (Això no vol dir que es descartin dificultats, ja que molt sovint hi són, però en aquests casos estimem que són superables amb relativa facilitat, dedicant-hi l'atenció necessària).

- Vies de solució:

En canvi, en les 27 situacions que es pot generar insatisfacció, s'hi ha previst alguna via per solucionar-la com més aviat millor, com ho mostren les 10 fletxes descendents –simples o complexes– a la part dreta de les taules de resultats.

A l'anàlisi s'han detectat 31 ocasions en què la satisfacció es podria millorar i completar amb alguna acció més, no explicitada en la seqüència. En la gran majoria de vegades, 26, es tracta de comprovar el comportament real del sistema (experimentalment o rememorant-lo), per assegurar-ne la correspondència.

No s'ha d'interpretar com una feblesa de la seqüència, sinó resultat d'haver optat per un material que no resulti massa prolix i que deixi espai –un espai previst– a l'esperit crític i creatiu de l'alumnat i a la llibertat d'acció del professorat. La forma de trobar un equilibri entre allò que es proposa explícitament a la seqüència i allò que es deixa al marge, però que podria incorporar-s'hi, resta un tema a debatre.

d) Narració

Detectar problemes i solucionar-los és el procés clau per avançar en la construcció de coneixement. Però quina garantia tenim que una estructura tan complexa com la que hem descrit no queda convertida, per a l'alumnat, en un seguit de problemes fragmentaris i descoordinats, sense sentit de conjunt?

Per una banda hem demostrat la interrelació entre tots els sistemes, visualitzada en les figures 3.2, en forma de famílies, i 3.3, com a genealogia. Però potser la prova més evident seria que ha estat possible redactar (vegeu cadascuna de les vuit anàlisis de l'apartat 3.2.2) una narració racional que descriu les vicissituds conceptuals i emocionals que l'alumnat pot recórrer durant el seu treball de la seqüència. (Per tant, estimular en l'alumnat la redacció d'una narració d'aquest estil, combinant aspectes conceptuals i emocionals, possiblement l'ajudaria a construir-se'n una idea més exacta i completa).

En definitiva, encara que la seqüència va ser creada a partir de bases teòriques eclèctiques, l'anàlisi mostra que es pot utilitzar de forma *perfectament compatible amb el model ONEPSI*.

3.4.2 La seqüència analitzada és coherent amb el model d'activitat científica escolar?

Entendrem que hi serà *coherent* si podem descriure de forma versemblant, com a relacions de causa a efecte, la participació activa i determinant de l'alumnat en cadascuna de les dimensions de l'activitat científica al llarg de la seqüència, tenint en compte les capacitats dels alumnes i les possibilitats i limitacions de l'entorn escolar.

a) Sistemes i models

Com ha quedat prou palès a l'analitzar la seqüència el procés motor en l'aprenentatge de les ciències és la cerca permanent d'un ajust satisfactori entre els *models mentals* i els *sistemes físics*, un ajust on hi té un paper determinant l'aspecte *emocional* (el resultat, satisfactori o no, d'avaluar la coherència, correspondència i robustesa del model mental).

b) Percepció, acció i tecnologia

Els sistemes s'introdueixen, al llarg de la seqüència, a partir de descripcions o de dibuixos, de forma que és fàcil entendre a què es refereixen. Només en un cas (38a) es demana explícitament que es dibuixi un dispositiu experimental –que haurien de tenir a la vista– per detectar diferències de pressió dins de l'aigua; suposant que no l'han vist mai, es demana el dibuix perquè a l'establir-ne la topologia sigui més fàcil entendre'n el funcionament, sobretot si es manipula. Hem de parlar, doncs, de *percepció* en un sentit ample que inclou el que s'observa, el que es llegeix i el que es recorda. No s'ha previst que sorgeixin problemes perceptius rellevants per a l'alumnat en aquesta seqüència.

Una limitació aparent de la seqüència, que abans ja hem constatat, són les poques pràctiques que explícitament es demanen. Però ja hem comentat que la seqüèn-

cia està pensada perquè els sistemes proposats, o uns de percebuts com a equivalents, siguin fàcilment portats a classe per fer-hi experiments. Són necessaris perquè l'acció directa sobre el sistema hi tingui un pes prou important. Garantir-ho en aquest cas està perfectament a l'abast del professorat i resulta atractiu per a l'alumnat.

Pel que fa a la *tecnologia*, els instruments, molt senzills, utilitzats en aquesta seqüència no ofereixen cap problema important de comprensió. Ja hem comentat com es tracta amb cura el cas –més que complex, poc familiar– del dispositiu detector de diferències de pressió, per assegurar-ne una modelització correcta. És necessari garantir que el model mental de l'instrument s'integri correctament en el model mental del fenomen. Només llavors té sentit per a l'alumnat la manipulació dels instruments.

c) Emoció

Ja hem comentat el paper clau que s'ha previst per a l'emoció al llarg de tota la seqüència. Cal considerar que aquí hi ha diversos *plans emocionals*:

- *Primer*, les possibles insatisfaccions que sorgeixen personalment a mida que un alumne es va enfrontant amb la construcció del seu model mental: es poden esperar fins i tot en aquells models que semblen més evidents, però són necessàries per anar millorant el model i tenen, previsiblement, fàcil solució, centrada en el treball personal.
- *Segon*, els estats de satisfacció o insatisfacció que es pretenen aconseguir per consens com a resultat de cada pregunta de la seqüència, i que són els que apareixen a les taules 3.1 a 3.8. A diferència de les dificultats anteriors, aquestes requeriran més feina de resolució col·lectiva en un procés planificat en la seqüència per arribar a una solució final també consensuada.
- *I tercer*, però no menys important, l'estat de satisfacció que es vol que cada alumne construeixi, a la llarga, referit sobretot a la seva autoimatge: la seguretat en si mateix i en les pròpies capacitats que dona l'experiència reiterada d'èxit –o no– en aconseguir, amb els propis recursos, anar resolent dificultats i proporcionar respostes satisfactòries i

correctes. Aquest resultat emocional segurament és clau en el seu futur acadèmic i personal. Apostar, com fa la seqüència, per l'aspecte generatiu dels models mentals, segurament que hi contribueix positivament.

d) Objectius compartits, personals

La necessitat d'anar resolent preguntes sobre els sistemes –i d'anar construint models mentals satisfactoris que es van alimentant els uns als altres– constitueix l'objectiu més evident: poder explicar i predir el seu comportament. És un objectiu que ha de ser *compartit* per la comunitat de classe, assumint-lo com a finalitat de la tasca escolar d'aprendre ciències. El procés per arribar a assolir l'objectiu s'ha de poder descriure, com hem vist, en forma de narració conceptual i emocional. (Donades les dificultats que tenen els nostres alumnes per escriure correctament en tots els aspectes, caldrà trobar bones estratègies perquè puguin aconseguir-ho).

Assumits a nivell *personal*, aquests objectius més o menys immediats formen part fonamental de l'objectiu més general d'aprovar el curs i, anant més enllà, del projecte vital de l'alumne. La forma més clara de contribuir-hi és, com hem comentat, ajudant a augmentar la confiança en les capacitats pròpies. Fer-li fer inferències de forma autònoma pot ser una bona forma d'aconseguir-ho, sobretot si d'alguna manera se'n valora el mèrit.

(Però els objectius no només serveixen per posar-se en marxa, sinó que també ajuden a orientar-se quan cal trobar el camí. És per això que cal proposar, quan sigui convenient, activitats de regulació en els diversos nivells d'objectius).

e) Llenguatge

Cal disposar d'un *llenguatge* còmode, que no resulti feixuc, per parlar del sistema i del que l'envolta (instruments, accions, objectius, etc.). Ja hem vist més amunt (apartat 3.2.4b) la necessitat de simplificar el llenguatge introduint-ne un de més especialitzat només quan és necessari; i no de forma gratuïta.

Les *formes de llenguatge* utilitzades poden ser molt diverses, però per desenvolupar el tipus de tasca que volem fer a la classe, són importants alguns "gèneres" tex-

tuals. Ja hem comentat (apartat 3.2.4b) els casos, importants, de la definició d'una propietat, la fórmula, i la definició d'una unitat. La formulació de regles de comportament (o lleis científiques), que ha aparegut tantes vegades a la seqüència, és una tasca delicada que es pot realitzar mitjançant aportacions dels participants fins a arribar a un consens; entrar en discussions així ajuda a entendre la importància d'utilitzar els temes adequats. Escriure una narració coherent del procés que s'ha seguit en un tema, com hem fet per a cadascuna de les anàlisis de l'apartat 3.2.2, recollint-hi les diverses vicissituds sorgides, mostra que tot el que s'ha fet té un sentit. Si ho fes un alumne, seria una prova del seu bon nivell de comprensió del tema treballat.

Finalment, el diàleg entre tots és fonamental per establir el "to" emocional de la classe i de la comunitat. Dialogar significa que el professor utilitza la seva capacitat de fer preguntes que facin pensar, més que la de donar respostes. Aquí la seva tasca és veure fins a quin punt l'alumnat és capaç d'anar trobant les respostes correctes mitjançant els seus models mentals, i ajudar que els puguin anar millorant fins a arribar a un consens... sense donar-los les respostes, perquè llavors el procés s'hauria bloquejat. Es tracta que el diàleg no sigui amenaçador, que convidi a arriscar-se i a donar arguments, que exclogui radicalment la humiliació i que controli amb criteri (vegeu capítol 4) el punt sobre el qual centrar el debat. Si aquest to no s'aconsegueix, tota l'activitat quedaria llavors fortament desvirtuada.

f) Comunitat

El professor i l'alumnat comparteixen les tasques esmentades, uns objectius comuns, un vocabulari especialitzat, uns models mentals satisfactoris amb els quals es poden fer prediccions i explicacions encertades, unes regles que descriuen el funcionament de sistemes genèrics, unes tècniques instrumentals, un mètode basat en el diàleg i en la cerca de models satisfactoris, un to col·lectiu estimulants i respectuós, unes tipologies textuals, unes rutines de classe, unes normes i uns valors... Formen una *comunitat*, amb la seva pròpia organització social, on tots aquests elements estan al servei dels objectius compartits i faciliten l'assoliment dels personals.

Aquesta comunitat s'ha d'anar assemblant cada vegada més a l'entorn social general on s'aniran integrant, encara que sigui críticament, com a persones cada vegada més madures, i també a les comunitats científiques disciplinàries, en alguna de les quals pot ser que alguns alumnes acabin ingressant.

g) Valors

Amb el temps, la comunitat anirà precisant cada vegada millor les formes correctes de fer cadascuna de les tasques pròpies de l'activitat científica. Ho recollirà en forma de normes mitjançant les quals preservar determinats *valors*.

Però en un context educatiu és fonamental el cultiu de valors relacionats amb la convivència i el desenvolupament personal, dins i fora de l'aula. Buscar la qualitat de la convivència, actuar per preservar els drets humans i la dignitat de les persones, solidaritzar-se amb qui pateix, buscar l'excel·lència en el treball, la col·laboració, l'esperit crític i positiu... són valors que no necessàriament apareixeran al treballar amb la seqüència estudiada. Però els valors que potencia la seqüència faciliten el treball d'aquests altres valors més generals, educativament molt importants.

Epistemologia

Per altra banda, considerem que la seqüència estudiada també respon a les característiques epistemològiques (un determinat mètode, objectiu, racionalitat i realisme) que es persegueixen durant la construcció del coneixement en el marc de l'activitat científica escolar:

- El **mètode** no és una recepta que calgui aplicar mecànicament sinó que consisteix en recórrer reiteradament les relacions entre fets, models mentals, percepcions i accions fins que encaixin satisfactòriament (que és quan els models tenen coherència, correspondència i robustesa).
- L'**objectiu** no és només comprendre el món sinó també adquirir el domini d'eines conceptuals i tecnològiques per intervenir-hi amb responsabilitat i per canviar-les amb criteri quan sigui necessari.

- L'encaix entre fets i model mental no és *categòrica* (de *sí o no*) sinó que rau en la seva *semblança* en alguns aspectes i fins a cert grau (**racionalitat moderada**), una semblança basada en la simulació mental (execució del model) del *comportament* del sistema.
- Aquesta semblança entre fets reals i models mentals no afirma que els models siguin *la* realitat, sinó que només s'hi assemblen en alguns aspectes i graus, i és per això que es tracta d'un **realisme moderat**.

3.4.3 Conclusions: Responent PR1 i valor del mètode utilitzat

Responent PR1

En resum, la seqüència analitzada a nivell *meso* i *micro* sembla útil, en principi, per desenvolupar i educar en l'alumnat les diverses dimensions de l'activitat científica escolar, d'una manera integrada i natural, d'acord tant amb el model d'activitat científica escolar com amb el model *ONEPSI*. En termes d'aquesta darrera teoria podem dir que aquesta *primera representació* del que ha de passar a classe ha semblat **coherent**: per una banda s'hi preveu tot l'entorn escolar que ho ha de fer possible (llenguatge, acció, percepció, tecnologia, objectius, persones, comunitat, valors) en el marc d'una *activitat científica escolar*; i per l'altra, s'ha previst que l'alumne, amb el suport adequat, ha de poder construir els models mentals pertinents per a cada sistema i posar-los en funcionament per fer les inferències necessàries i anar-los millorant, mentre va resolent els exercicis previstos a la seqüència.

L'anàlisi que n'hem fet en aquest capítol ens ha mostrat –i narrat– el recorregut conceptual i emocional esperat de l'alumnat durant el seu treball de la seqüència, coherentment amb les bases teòriques esmentades, tot enllaçat per relacions de causa a efecte.

Vist tot plegat podem afirmar, en resposta a la **primera pregunta de recerca, PR1**, que *la seqüència estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat: el model d'activitat científica escolar i el model ONEPSI*.

Valor del mètode utilitzat

Per altra banda, el **mètode d'anàlisi** –creat a partir del marc teòric d'aquest treball– de la seqüència s'ha mostrat útil per mostrar el recorregut cognitiu i emocional que la seqüència proposa.

Aquest mètode, creat expressament per a les finalitats d'aquest treball, ha utilitzat categories d'anàlisi provinents del marc teòric escollit i, introduint diversos codis, colors i altres recursos gràfics, ha significat la creació d'un **nou llenguatge simbòlic**. Un llenguatge i un mètode que han permès no només fer l'anàlisi de la seqüència considerada fins a nivells molt detallats i posar de relleu la informació pertinent, sinó també reduir i comprimir les dades fins a aconseguir representacions molt compactes dels processos que s'espera produir en l'alumnat.

Això ens fa pensar que aquesta metodologia, amb el seu llenguatge simbòlic, pot ser aplicable a altres seqüències didàctiques, de manera que podria resultar útil tant en recerca didàctica com per a ús del professorat. Constitueix una *aportació inesperada* d'aquesta recerca.

Veurem a continuació, amb més detall, el que passa realment a nivell *micro* i *nano* quan un alumne s'enfronta a una part de la seqüència, i comprovarem si efectivament es produeixen els efectes buscats.

4

Anàlisi d'una conversa: metodologia i resultats

Una vegada comprovada la compatibilitat de la seqüència dissenyada amb els dos models que componen el nostre marc teòric (és a dir, la *coherència* de la nostra seqüència en relació a ells, primera pregunta de recerca, PR1), en aquest capítol intentarem comprovar fins a quin punt els processos cognitius i emocionals que s'esperava desencadenar en l'alumnat coincideixen amb els que realment succeeixen (mostrant, doncs, que hi ha *correspondència* amb el que s'esdevé amb l'alumnat).

Per saber-ho analitzarem una conversa amb un alumne durant la qual recorriem una part de la mateixa seqüència sobre la pressió que acabem d'analitzar. Es tracta de veure si efectivament l'ajudava a construir coneixents vàlids. Amb aquesta nova anàlisi esperem poder establir si *la conversa es desenvolupa seguint els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat*, responent la **segona pregunta de recerca, PR2**.

4.1 METODOLOGIA

Per respondre la *segona pregunta de recerca* caldrà comprovar que al llarg de la conversa l'alumne *reconstrueix els seus models mentals* de la manera que preveu el model ONEPSI, millorant així els seus coneixements de ciències de forma efectiva; i també que l'alumne realment realitza *accions en totes les dimensions de l'activitat científica escolar*. Per comprovar-ho caldrà establir prèviament uns criteris per estudiar després si efectivament es compleixen.

Pel que fa a la *tercera pregunta de recerca*, caldrà comparar les previsions de la seqüència amb el camí efectivament seguit per l'alumne al llarg de la conversa.

4.1.1 La conversa

Hem realitzat una entrevista amb un alumne sobre el procés de construcció del que en l'anàlisi anterior hem anomenat els sistemes genèrics S15 (sobre la variació de la pressió dins de l'aigua) i S21 (sobre els motius que fan aparèixer la força ascensional en un objecte submergit). Corresponen respectivament a les preguntes 37 a 40 de la seqüència i a una adaptació de la 43 a un sistema diferent (modificant-la per agilitzar el procés i fer que resulti més curt). La conversa tracta, doncs, de sistemes relacionats amb la pressió a l'interior d'un líquid.

S'ha seleccionat aquesta part perquè els experiments hi tenen un pes important, perquè resulta central en la seqüència i perquè la dinàmica cognitiva i escolar que es genera és força representativa del que passa amb la resta de la seqüència.

S'ha triat un alumne de l'optativa de Física i Química de quart d'ESO, de 15 anys, amb rendiment mitjà i bona capacitat expressiva.

La conversa, que es realitzà davant de material de laboratori i d'un full per escriure-hi, es va enregistrar i transcriure. Es produí d'una tirada, sense interrupcions, amb una durada de 18 minuts i mig i constà d'un total de 308 intervencions, 154 per interlocutor.

4.1.2 Mètode d'anàlisi

a) Objectius

Per respondre la *segona pregunta de recerca, PR2*, es tracta de determinar fins a quin punt al llarg de la conversa es posen en marxa els mecanismes de reelaboració del model mental previstos al model ONEPSI per anar millorant els seus coneixements d'hidrostàtica, i si l'alumne mentrestant realitza accions en totes les dimensions del model d'activitat científica escolar.

Per respondre la *tercera pregunta de recerca, PR3*, es compararan les previsions fetes en l'elaboració de la seqüència (capítol anterior) amb els resultats realment obtinguts en la conversa.

b) Criteris

Pel que fa a **PR2**, el que esperem determinar és fins a quin punt l'alumne:

1. **detecta insatisfacció** (manca de coherència, correspondència o robustesa) envers els models mentals propis, mitjançant els quals raona sobre els sistemes en estudi,
2. **reconstrueix** el seu model quan el considera insatisfactori,
3. la seqüència li **ofereix oportunitats** per revisar i reconstruir els seus models mentals insatisfactoris,

(Aquests tres primers punts s'han de poder recollir en un text de **resum** que l'alumne podria redactar descrivint ordenadament els passos més rellevants seguits en la construcció i reconstrucció del seu model mental per a cada sistema, per arribar a conclusions que li resultin plenament satisfactòries al mateix temps que coincideixen amb el coneixement científic)

4. realitza **accions en totes les dimensions** del model d'activitat científica escolar,
5. i construeix coneixement d'acord amb les **condicions epistemològiques** que estableix el model d'activitat científica escolar (sobre mètode, objectius, racionalitat i realisme).

En relació a **PR3**, compararem els resultats cognitius i emocionals previstos en l'elaboració de la seqüència amb els que s'han produït efectivament en l'alumne al llarg de la conversa.

c) Unitat d'anàlisi

Com en l'anàlisi de la seqüència també aquí prendrem com a unitat d'anàlisi cada sistema que es proposa, així com el **model mental** que l'alumne en va construir i reconstruir. Així, de cada sistema analitzarem les intervencions que fa l'alumne, a partir

de les quals mirarem d'obtenir informació sobre l'estat del seu model mental a cada moment, per intentar observar-ne l'evolució i preparar les nostres intervencions amb el suport de la teoria.

d) Procediment

Per més comoditat hem descompost la conversa en onze trams, cadascun corresponent a la discussió sobre un sistema concret, recollint-los en les taules 4.2 a 4.12 (apartat 4.2.2). Per a cada sistema es recull tant el diàleg entre professor i alumne com l'anàlisi de cadascuna de les intervencions de l'alumne, de la següent manera: a partir de les seves explicacions sobre el sistema que tracti, intentem fer-nos idea del model mental que està utilitzant a cada moment, de les insatisfaccions que li deu generar i de la forma com reconstrueix el model fins a arribar a solucionar-les, així com de les ambigüitats que hi percebem, que ens serveixen per focalitzar-hi les nostres preguntes.

Dins del mateix apartat intentem recollir el resultat del procés en un resum que l'alumne podria haver escrit després de l'entrevista, mostrant el seu progrés cap a unes concepcions més properes a les de la ciència que les inicials.

Posteriorment es presenten els resultats de les anàlisis de les intervencions de forma més resumida i compacta (apartat 4.2.3) per millorar-ne la visió de conjunt.

Un cop recollides i analitzades les dades respondrem la segona pregunta de recerca, PR2, comprovant fins a quin punt es compleixen els criteris establerts més amunt (a l'apartat 4.1.2b) i també a la tercera, PR3, establint si el procés previst a la seqüència es *correspon* o no amb la conversa analitzada (secció 4.3).

Per respondre a PR2 comprovarem (apartat 4.3.1) si es compleixen els criteris referits al raonament de l'alumne mitjançant models mentals (criteris 1, 2 i 3). A continuació (apartat 4.3.2) ens fixarem en cadascuna de les dimensions de l'activitat científica escolar per veure fins a quin punt l'alumne les ha posat en marxa (criteri 4) i revisarem (apartat 4.3.3) les opcions epistemològiques de l'*activitat científica escolar* (criteri 5) per veure en quin grau s'han materialitzat en el treball de l'alumne.

4.2 ANÀLISI DE LA CONVERSA

4.2.1 Elaboració de la taula i presentació de les dades

Cadascuna de les taules 4.2 a 4.12 té les següents columnes:

a) Intervenció

Numeració de les intervencions del professor (P) i de l'alumne (A). Així, 3A és la tercera intervenció de l'alumne i 4P la quarta del professor.

b) Conversa

Transcripció de tota la conversa enregistrada, esmenant algunes incorreccions de llenguatge –no totes– i suprimint algunes reiteracions que no hi afegeixen res de significatiu. Entre parèntesis i en cursiva s'expliciten elements implícits de la conversa que no queden ben reflectits en l'enregistrament: els exercicis i sistemes a què es fa referència, així com determinats aspectes no textuals que apareixen en la gravació, com implícits poc evidents, èmfasis, riures, accions, interrupció de la frase per part de l'interlocutor (representada per /), referències a objectes...

c) Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats

i preparació de la rèplica

Excepte la primera, cadascuna de les cel·les d'aquesta columna n'abraça dues de la seva esquerra; això és perquè per una banda s'hi tracta d'analitzar la darrera resposta de l'alumne entrevistat (i d'aquí l'excepció del primer cas) i per altra, i en funció d'aquesta anàlisi, preparar la següent resposta de l'entrevistador.

Per fer-ho, l'entrevistador intenta sobretot fer progressar la conversa per aconseguir de conèixer el pensament de l'alumne. El patró general consisteix, primer, en analitzar la darrera intervenció de l'alumne, i en funció d'aquesta anàlisi preparar la seva rèplica de manera que l'entrevista pugui avançar. Això requereix anar prenent determinades decisions adreçades a mantenir la fluïdesa de la conversa, unes decisions que es podran agrupar en diverses categories, unes categories (taula 4.1) sorgides de

l'anàlisi de les dades, i que apareixen a les taules de dades identificades amb el seu color corresponent:

Necessitat d'aclarir <u>ambigüitats</u> percebudes en el model mental de l'alumne	
sobre les causes	C
sobre els efectes	E
sobre la relació entre causes i efectes	CE
sobre el que realment pensa i volem que verbalitzi	V
Necessitat d'intervenir sobre el <u>sistema real</u> i de planificar-hi l'acció	
Necessitat de col·laborar en el progrés de la conversa mitjançant el <u>llençatge</u>	
Necessitat d'avaluar el <u>курс del diàleg</u> i prendre decisions per reconduir-lo quan calgui	
Necessitat d'assumir i avaluar les possibles <u>conseqüències socials</u> de la conversa	

Taula 4.1. Categories per a la classificació de les anàlisis i decisions de l'entrevistador, adreçades a detectar i resoldre necessitats de regulació de l'entrevista. Els colors són els que s'utilitzen per identificar cada categoria en l'anàlisi de l'entrevista (taules 4.2 a 4.12). Es mostren els codis específics utilitzats en la primera categoria i el seu significat.

Quan en una conversa es tracta de comprendre el model mental de l'alumne que sembla haver fet servir per generar la seva resposta, habitualment apareixen aspectes que no hi queden del tot clars, que resten ambigus; per això l'entrevistador prepara la resposta centrant-la en les *ambigüitats* que ha detectat en les idees de l'alumne, per intentar aclarir-les. Es basa en la tècnica *teachback* d'entrevista i és l'estratègia principal utilitzada en aquesta conversa per fer-la avançar. Com hem vist a la taula 4.1, les ambigüitats que fonamenten la següent intervenció de l'entrevistador s'indiquen amb color **granat**, indicant entre parèntesi de quin tipus d'ambigüitat es tracta; per exemple, (C) indicaria que no queda clara alguna causa.

d) Resultat emocional i raonament (acció)

Es tracta de representar de forma compacta el raonament que sembla realitzar l'alumne, indicant també, amb el mateix codi que en el capítol 3, les seves característiques pel que fa a si mostra (en verd, +) o no (en vermell, -) coherència (**COH+**, **COH-**),

correspondència (**COR+**, **COR-**) i robustesa (**ROB+**, **ROB-**). Com es pot veure, tot allò que està indicat en **vermell** indica el seu caràcter conflictiu *tal com sembla percebre-ho l'alumne*, mentre que el color **verd** indica que sembla haver completat la inferència sense haver-hi detectat cap problema. En cap moment es jutja aquí si el model és o no científicament correcte.

Les connexions “→” indiquen que l'element que hi ha a la seva esquerra condiciona d'alguna manera que s'acabi produint el resultat de la dreta; es pot tractar d'una relació causal o d'algun altre tipus.

La indicació “id” atribueix a la intervenció de l'alumne la mateixa explicació que a l'anterior.

Un fons de color blau cel assenyalava una resposta emocional de l'alumne (que en tots els casos ha consistit en riure a l'arribar a aquell punt de la conversa).

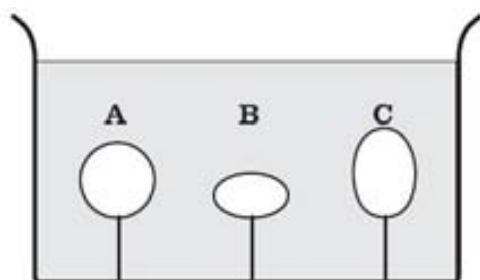
Quan no queda clara la inferència o aparentment no n'hi ha, s'indica entre parèntesis el tipus de resposta. Per exemple, “(predicció sense justificació)” indicaria que la resposta de l'alumne sobre el comportament que espera del sistema sembla basar-se en una inferència, però que no en tenim prou informació. També s'indiquen d'aquesta forma dels accions realitzades (observacions, accions, interrupcions, manifestar dubte o acord, etc.)

4.2.2 Descripció i anàlisi de la conversa. Resums

Després de la numeració de cada taula s'indica a quin exercici o pregunta de la seqüència fa referència i se'n recorda el tema tractat, numerant els sistemes correlativament, utilitzant el prefix “s” en minúscula (per diferenciar-la de la “S” majúscula utilitzada en la numeració de sistemes de la seqüència). Finalment s'informa sobre el punt de l'enregistrament digital on es situa el començament de cada fragment, expressat en minuts i segons.

A continuació de cada taula hi ha el resum que l'alumne en podria haver fet i que no se li va demanar.

a) Cas 1. Pilota submergida



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
1P	En aquest cas (32a: pilota submergida), aquest globus que està enganxat aquí a terra, tu què pensaves: que acabaria com la A, com la B o com la C?	(L'entrevistador planteja la situació a resoldre i demana a l'alumne la seva predicció).	
2A	Amb la B	Eco. Hauria de concretar el motiu de la tria de B (pilota aixafada per damunt i per sota)(C).	(predicció sense justificació)
2P	Amb la B. Per què?		
3A	Perquè... fa força, la pressió cap avall, i també al fer força la pressió cap avall arriba un moment que xocava aquí (a sota de la pilota) i també fa força cap amunt i l'única manera/...	La pressió apareix com una entitat, amb la propietat de fer força. La força avall i la força amunt serien les causes de la doble deformació de la pilota en el cas B. No ha concretat d'on provenen les forces (C).	COH+ F avall i F amunt → doble aixafament
3P	Qui fa força cap amunt?		
4A	És que això no ho vam dir bé. Sabíem que era.../	Resulta que està explicant el que van dir a classe, sense compartir-ho ni entendre-ho. Cal centrar la conversa en la seva pròpia opinió.	COH- a classe: ? ell: diferent
4P	No, però digue'm el que tu (amb èmfasi) penses.		
5A	Jo vaig pensar que feia força la pressió cap avall i al fer força la pressió cap avall no podia ser la A perquè en cap moment no havia canviat de forma, i la C tampoc perquè si la pressió de l'aigua feia pressió cap avall no podia ser de costat perquè en aquest dibuix el C feia la pressió cap al costat. Llavors jo vaig optar per la B.	De nou la pressió és una entitat amb la propietat de fer força. Però relaciona la deformació amb la força (o pressió, ja que després semblen sinònims). Eco. Sembla que té clar que la pressió actua cap avall i que la deformació hauria de ser també cap avall, però abans ha esmentat una força amunt i ara no. No queda clar si realment hi veu més forces (C).	COH+ força avall → deformació avall COH+ no força costat → no deformació al costat
5P	Per la B. Llavors l'aigua, tu què creus, que "apreta" el globus aquest per quina banda?		
6A	Per dalt.	Eco. Només fa força per damunt. Queda sense explicació la deformació inferior, però sembla que no se n'adona.	COH+ força per damunt → deformació superior
6P	Per dalt.		
7A	I per baix perquè sinó no estaria deformat així.	Rectifica: considera que la deformació de sota ha de tenir una causa: la pressió per sota. Així que n'hi ha per damunt i per sota. A confirmar.	COH+ pressió per dalt i per sota → deformació superior i inferior
7P	Per dalt i per baix...		

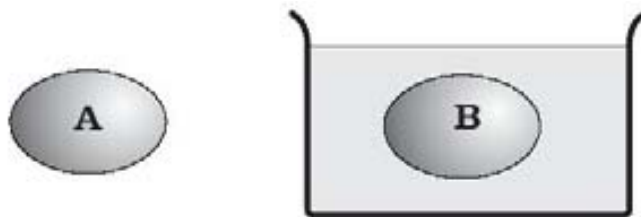
8A	Sí.	No queda del tot clar si realment ho relaciona amb la deformació (E). A confirmar.	id
8P	I per això queda així (opció B), no?		
9A	Sí.	Queda clar.	(acord)

Taula 4.2. Cas 1, corresponent a la pregunta 32a (= 37b) sobre una pilota submergida (s1). Temps inicial: 0 min 0 s

El resum de l'alumne podia haver estat:

El professor m'ha ensenyat uns dibuixos que representaven una pilota submergida i lligada al fons. De les diverses formes que tenien jo he triat la que estava aixafada per dalt i per baix perquè creia que l'aigua li fa força per damunt i per sota. He dubtat de què havia de respondre perquè la professora va donar un resultat diferent del que jo pensava.

b) Cas 2. Pedra submergida



Inter- venció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
9P	En el segon (32b pedra que submergim) quan pregunten... quan pesa més aquesta pedra. O sigui quan hem de sostenir aquesta pedra, quan hem de fer més força: fora de l'aigua o dins de l'aigua?	Passem a analitzar la pedra dins de l'aigua. La formulació intentarà evitar de dir que el pes canvia. Volem saber si hi ha diferència de força quan és dins o a fora de l'aigua (E).	
10A	Dins de l'aigua hem de fer menys força i a fora més. Perquè la pressió de l'aigua que també fa cap amunt ens fa que aquest material pesi menys.	L'afirmació que cal menys força sembla indicar que coneix el fenomen i ho fa sevir d'inici per buscar-hi la causa. Eco.	COR+ P amunt → disminució del pes
10P	Que pesi menys.		
11A	Esclar, no és el mateix agafar una pedra a fora que agafar-la a dins perquè a dins també fa força cap amunt.	La resposta segurament és corresponent, però l'explicació és ambigua: ara la pressió va amunt i no esmenta la que va avall, ni qui fa força cap	id

11P	Sí, abans ja m'ho has dit que feia força cap amunt, però també m'has dit que feia força cap avall.	amunt, però segurament és l'aigua, tal com havia afirmat abans (intervenció 7A). Centrarem l'atenció en la força cap avall (C).	
12A	Ja (<i>riu</i>), això sí. És que.../	S'adona que no li quadra i riu. La força cap amunt fa que pesi menys, però la força cap avall l'hauria de fer pesar més, un resultat ambigu: pesarà més o menys? (E)	COH- F amunt → disminució del pes F avall → augment del pes
12P	Llavors...		
13A	Bé, és que cap avall fa menys força que cap amunt.	Ho resol fent que una força sigui més gran que l'altra, segurament perquè coneix el fenomen. Ara torna a ser coherent i ha resol't la incoherència. Frase a completar.	COR+ F petita avall i F gran amunt → menys pes
13P	Cap amunt...?		COH+ Hi pot haver F amunt i avall i perdre pes
14A	Fa més força...	Ho completa de forma coherent. A	id
14P	Que cap avall.	confirmar.	
15A	O és que... O sigui... No sé com explicar-ho. A veure...	La falta de resposta la interpretem com a confirmació. Dubtes sobre el motiu d'aquesta diferència de forces (C).	COH- causa? → F petita avall i F gran amunt
15P	Intenta-ho...		
16A	Perquè vam dir que.../	Vista la dificultat per explicar-se se li recorda que pot dibuixar.	(interrupció)
16P	Si vols dibuixar, tu mateix, eh?		
17A	No... (<i>no dibuixa</i>) ...A fora feia pressió també cap avall... la... la gravetat, o sigui la gravetat feia força cap avall també. Llavors aquí també, dins de l'aigua també fa força cap avall. I no és el mateix agafar una pedra a fora que agafar-la a dins de l'aigua. Perquè és que... No sé com dir-ho ja.../	Esmenta indistintament gravetat, força i pressió. Busca la solució en la gravetat (aquí és una <i>entitat</i> amb la <i>propietat</i> de fer força), però la veu igual a dins de l'aigua que a fora. No troba la causa de la diferència de forces dins de l'aigua. Caldrà ajudar-lo a precisar interaccions i aclarir qui fa força contra qui (C).	COH- <i>a fora</i> : gravetat → F avall <i>a dins</i> : gravetat → F avall però pesa menys
17P	Perquè a dins de l'aigua hi ha algú que l'estiri cap avall?		
18A	No, ella mateixa, la seva força.	"La seva força" es deu referir al seu propi pes, cosa habitual. S'entén que per això se'n va avall. Mirem si passa el mateix quan és a fora de l'aigua (C).	COR+ <i>a dins</i> : F gravetat avall → s'enfonsa
18P	I a fora, hi ha algú que l'estiri cap avall?		
19A	Sí, la seva força i...	De nou, "la seva força", deu ser el seu pes? Demanda d'aclariment.	COR+ F gravetat avall → cau
19P	La seva força l'estira cap avall?		ROB+ <i>a dins de l'aigua</i> : F gravetat avall → s'enfonsa <i>a fora de l'aigua</i> : F gravetat avall → cau
20A	Sí, però a dins també fa força cap amunt, llavors.../	Recorda que necessitava una força cap amunt. Sembla que parla de la força cap amunt que fa l'aigua (C) (o "la pressió") contra l'objecte, que ha esmentat abans (7A) i que era més gran que cap avall (13A). Caldrà comprovar-ho.	COR+ F amunt → objecte pesa menys
20P	Qui fa força cap amunt?		

21A	L'aigua, la pressió de l'aigua. I aquí (<i>a fora</i>) com que no hi ha la pressió de l'aigua costa més, perquè... Aquí (<i>fora de l'aigua</i>) tenim la pressió cap avall i no tenim la pressió cap amunt.	L'aigua –o la “pressió de l'aigua”– empeny amunt, cosa que no pot fer quan la pedra és a fora. De la força cap avall ara no en diu “gravetat” (17A) sinó “pressió”. Però en el cas del globus submergit hi havia una força de l'aigua cap avall (C) (13A) que ara no surt. Caldrà preguntar si encara hi és.	COR+ <i>a dins</i> : P aigua amunt → menys pes COR+ <i>a fora</i> : no P aigua amunt → no disminueix el pes
21P	Ja ho entenc. Llavors el que no entenc, tornant al primer cas... (<i>32a, pilota submergida</i>) És clar, tu m'has dit que també “apretava” cap avall l'aigua, no? contra el globus?		
22A	Sí.	S'ha adonat que li cal reconstruir el model per a la pedra submergida per incorporar-hi tres forces (o “pressions”) en comptes de dues (C). Caldrà demanar-li com ho resol.	(acord)
22P	Llavors com ho resollem, això?		
23A	(<i>riu</i>)	El riure sembla mostrar que s'adona de la manca de robustesa de la seva explicació per la pilota i per la pedra. Tornem a plantejar el problema de les forces (C).	ROB- <i>cas pilota</i> : aigua F amunt i F avall <i>cas pedra</i> : aigua F amunt
23P	Tu què deies? Que també “apreta” cap avall? O sigui, aquesta pedra (32b, pedra a l'aigua) “l'apreta” cap avall i també “l'apreta” cap amunt?		
24A	Sí.../	Caldrà ajudar-lo a aclarir el paper de cada força (E).	id
24P	Deixant de banda el pes, no? l'aigua fa una força amunt i una força avall?		
25A	Sí, perquè... Sí perquè si fem alguna cosa sobre la... És que si...	Però no sap resoldre la contradicció. Esbrinem si té experiència del fenomen.	(dubte)
25P	Tu això ho tens experimentat? Ho has vist alguna vegada que t'hagi passat això, que les coses pesin menys a dins de l'aigua?		
26A	Sí, per exemple si jo agafo una caixa de dins de l'aigua em costa més d'agafar-la fora de l'aigua.	En posa un cas pràctic, sembla una experiència personal. Ho podem fer en directe i comprovar què passa. Proposarem de mesurar el pes d'un objecte a fora de l'aigua com a primer pas per constatar si realment hi ha disminució aparent del pes al submergir-lo.	(observació)
26P	Per exemple, aquí tenim aquest pes. I aquí tenim un dinamòmetre, no? Si ho pengem, aquí ens diu quant pesa. Té. Quant pesa?		
27A	Setanta... cinc. Una mica més.	Demanem una predicció del que hauria de passar per comprovar si efectivament és així (E).	(observació)
27P	Llavors, digue'm què passarà si el fem a dins de l'aigua.		
28A	En teoria pesaria menys.	Fa una predicció basada en la seva experiència. Aquest “en teoria” sembla indicar certa desconfiança. No queda clar si s'ho creu (E).	ROB+ <i>caixa</i> : pesa menys a l'aigua <i>el pes</i> : pesarà menys
28P	Pesaria menys?		
29A	Sí. (<i>Ho submergeix</i>) Pesa una mica menys.	Sembla que ho creu, però ho ha de comprovar. Al fer-ho, s'ha acomplert la predicció. Eco.	COR+ <i>predicció</i> : pesarà menys <i>resultat</i> : pesa menys ROB+ <i>caixa</i> : pesa menys <i>objecte</i> : pesa menys
29P	Pesa una mica menys.		

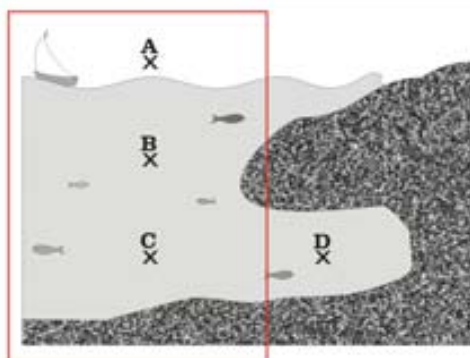
30A	Sí, ha baixat una mica.	Confirmem que es nota l'allargament (hi havia poca diferència). Proposem comprovació. Precaució en la manera de dir-ho. A confirmar.	(observació)
30P	Sí. Per tant, sembla que pesi menys, oi? Quan el treus, s'estira més, no?		
31A	Sí, bé ha sortit una mica menys de setanta-cinc. Més o menys.	Costa una mica d'apreciar.	(observació)
31P	No es veu gaire diferència oi?		
32A	No, però quan el fem a l'aigua, puja.	Però es nota que ha variat la força del dinamòmetre. A confirmar.	(observació)
32P	Sembla que pesi una mica menys, oi?		
33A	Sí.	El fenomen és clar, però l'explicació queda pendent. Deixem-ho per més endavant.	(acord)

Taula 4.3. Cas 2, corresponent a la pregunta 32b (= 43g) sobre una pedra submergida (s2). Temps inicial: 1 min 14 s

Possible resum:

En el cas de la pedra submergida sabia que dins de l'aigua s'ha de fer menys força per sostenir-la que a dins. Vam fer un experiment, mesurant la força per sostenir un pes a fora i a dins de l'aigua, i ens va confirmar aquest resultat. Però no he aclarit per què passa això. Si la pilota submergida es deformava per damunt i per sota perquè rebia força per sobre i per sota, el pes també deu rebre les dues forces i això no hauria de canviar el seu pes.

c) Cas 3. Pressió dins del mar



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
33P	Doncs l'altra pregunta seria això del mar (32d, pressió dins del mar). Com ho has respost tu això?	Passem a analitzar la pressió dins del mar.	

34A	Amb això sí que vam estar estona.	Sembla que es torna a referir al que va passar a classe. De moment no en fem cas. Centrem-nos en la pregunta.	(referència a una altra persona)
34P	Per exemple, A, B, C, aquests punts que estan en vertical.		
35A	Jo vaig ficar el D (<i>punt dins de la cova</i>).	No queda clar, però sembla que en el punt D hi veu més pressió que en els altres. Deixarem la cova per més endavant.	(predicció sense justificació)
35P	Deixem la D. D'aquestes tres, A, B, C?		
36A	La que fa més pressió és a la C.	Ha triat el punt més enfonsat. Cal esbrinar per quin motiu (C).	(predicció sense justificació)
36P	Per què?		
37A	Uf! Ara no sé si era la C o la A.	De nou, cal deixar el que van parlar a classe per conèixer la seva opinió personal.	(referència a una altra persona)
37P	Això m'ho has de dir tu. No el que va dir a classe, sinó el que tu penses.		
38A	La... la C té més pressió perquè com més avall més pressió de l'aigua té cap avall.	Sembla establir una regla general: a més fondària més pressió, que considera dirigida cap avall. Cal aclarir quin és el raonament (CE).	COH+ més avall → més pressió avall
38P	Per què té més pressió?		
39A	Perquè està més enfonsat. És que... Jo sé que l'Estel va dir que la D també era igual que la C. Jo vaig dir que la D tenia menys pressió que la C per la roca, però van explicar que no, que com més avall, més pressió tenia. El per què? (<i>riu</i>) Van dir que tenia més pressió.	Repeteix la regla que relaciona fondària i pressió. Considera que la roca produeix una disminució de la pressió al punt D. Compara la seva opinió amb la de la professora, que no comprèn. Segurament que aquesta divergència entre els dos professors li genera incomoditat. Cal que parli del seu parer.	COH+ més avall → més pressió COH+ amb roca → menor pressió COH- ell: $P(C) > P(D)$ professora: $P(C) = P(D)$
39P	No, no em diguis el que va dir a classe, digue'm el que tu penses.		
40A	Doncs que la C tenia més pressió.	Se suposa que té més pressió respecte d'A i B, sense tenir en compte el punt D. És així?	(predicció sense justificació)
40P	Entre la A, la B i la C?		$P(C) > P(A), P(B)$
41A	La C té més pressió.	Queda clar que és en comparació amb els punts que li queden al damunt. Es tracta de precisar-ne la causa (C).	id
41P	La C, però per què? Quina causa li veuries tu?		
42A	És que.../	Si concreta la relació de pressions entre A i B (C) li podria servir de base a una generalització de la causa.	(interrupció)
42P	Per exemple entre la A i la B quina té més pressió?		
43A	La B perquè està.../	També la relació entre les pressions de B i C (C).	(predicció sense justificació)
43P	I entre la B i la C?		$P(B) > P(A)$
44A	La C perquè esta més.. (<i>indica avall</i>)	Sembla aplicar una regla: com més fondària, més pressió. Li falta la paraula: és "fondària"? A confirmar.	COH+ més fondària → més pressió
44P	A més fondària?		
45A	Sí, té més fondària.	És la fondària. Ara cal aclarir la relació entre la fondària i la pressió (CE).	id
45P	Però què té a veure la fondària amb la pressió?		
46A	Perquè...	Ja sabem que augmenta amb la fondària, però no en sabem el motiu (CE).	(interrupció)
46P	Per què creus que augmenta amb la fondària?		
47A	Doncs l'aigua i tot, o sigui.../	Intentarem veure si s'adona de la importància de l'aigua (CE), comparant-ho amb quan no n'hi ha.	(interrupció)
47P	Per exemple, nosaltres estem aquí (a fora de l'aigua), però si baixem un metre, no sé si es notarà res...		

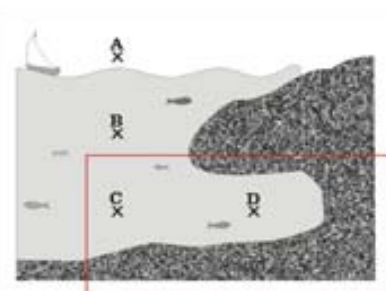
48A	No, no es nota.../	Baixar un metre a l'aire no es nota en la pressió. A veure si aclareix el paper de l'aigua (CE).	(observació) <i>fora de l'aigua</i> : més avall → igual pressió
48P	I per què dins de l'aigua sí?		
49A	...no ho sé, un exemple seria quan fas submarinisme les oïdes se't tapen, no?, per exemple. O quan pugues molt amunt a una muntanya també.../	Mostra robustesa a l'adonar-se que succeeixen coses semblants a l'aigua i a l'aire, encara que en aquest cas, ha de ser "molt amunt". Sembla que coneix bé el fenomen: és així?	ROB+ <i>muntanya</i> : molta alçada → les oïdes es tapen <i>submarinisme</i> : més fondària → les oïdes es tapen
49P	Tu has fet submarinisme?		
50A	Jo sí.	A veure si descriu el fenomen (V). Frase a completar.	(observació)
50P	I llavors què passa quan vas anant avall? Com més avall...?		
51A	Vas notant més pressió a les oïdes. I se't van taponant.	Es veu que el coneix bé , relaciona la pressió amb la fondària. Preguntem per una altra possible evidència (E). A confirmar.	(observació) més fondària → més tapament d'oïdes
51P	I et fan més mal?		
52A	Sí, et fan més mal i llavors has d'anar bufant i això... Jo sé que com més avall hi ha molta més pressió que a dalt... Segur que és.../	Mostra la seva experiència i el convenciment que la pressió augmenta amb la fondària, però sembla que no en pot trobar la causa (C). A confirmar.	(observació) més fondària → més dolor bufar → menys dolor més fondària → més pressió
52P	Però no saps per què és ben bé.		
53A	Sí, no, sé que hi és, perquè contra més avall...	Efectivament, sembla que per aquí ja no es pot avançar més.	(dubte)

Taula 4.4. Cas 3, corresponent a l'exercici 32d (= 37a) sobre la pressió dins del mar (s3). Temps inicial: 4 min 56 s

Possible resum:

Ens van donar un dibuix que representava l'interior del mar. Vaig contestar que a mida que augmentava la fondària també augmentava la pressió de l'aigua, perquè al fer submarinisme com més avall més mal et fan les oïdes. Però no sé per què passa, això.

d) Cas 4. Pressió dins de la cova



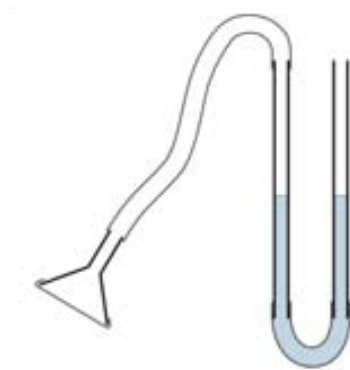
Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
53P	Però en canvi tenies una idea (35A) per dir que en el D (dins de la cova) hi havia menys pressió que en el C (a fora, al mateix nivell).	Anem, doncs, a una altra cosa: analitzar l'efecte de la cova , connectant amb el que ja havia apuntat abans (39A). Busquem la causa de la menor pressió (C).	
54A	Sí, però no.../	Sembla repensar-s'ho. Anem a aclarir per què ha dit que hi ha menys pressió (C).	(interrupció)
54P	Per què dius que a la cova hi ha menys pressió?		
55A	Perquè no hi havia...	Intentem evitar que es torni a referir a la opinió de la professora (39A: "jo sé que l'Estel va dir...")	(interrupció)
55P	Vull que parlis tu, eh?		
56A	Ja, perquè hi havia aquest tros de terreny.	"Terreny" es deu referir a la roca? A confirmar.	COH+ "terreny" → menor pressió a sota
56P	Hi havia aquesta roca a sobre, oi?		
57A	Sí, perquè pensava que feia... la pressió de l'aigua cap avall no seria tanta.	Parla de la roca. La roca fa disminuir la pressió... (però sembla dubtar-ne potser perquè li han explicat una altra cosa). N'avancem una possible explicació. A confirmar.	COH- ell: roca → P menor professora: roca → P inalterada
57P	Protegeix una mica de la pressió?		
58A	Sí, però... no és així. Perquè m'ho han explicat i no és així.	Confirmat, ho compara amb el que va dir la professora. A veure si troba la causa d'aquest comportament (C).	id
58P	No és així?		
59A	No.	Sembla que ja no podem avançar.	id

Taula 4.5. Cas 4, corresponent a la pregunta 32d (= 37c) sobre la pressió dins de la cova submarina (s4). Temps inicial: 7 min 15 s

Possible resum:

Dins d'una cova submarina jo esperava que hi hagués menys pressió perquè la roca del damunt faria que no hi hagués tanta pressió. Però això no concordava amb el que van explicar a classe.

e) Cas 5. Detector de pressió



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
59P	Bé, ja ho veurem si és així o no. Mira, farem uns experiments per aclarir aquestes coses: a veure per on fa pressió l'aigua, si fa pressió per dalt o per baix, si fa pressió pels costats... o què passa aquí. També farem un altre experiment per veure si realment augmenta amb la fondària o no, i també veurem si a la cova hi ha menys pressió que a fora. Manera de fer-ho? Tenim aquest instrument. Tu has vist com està fet, això?	Proposarem aclarir mitjançant experiments els dubtes que ens han anat sortint. Comprovarem si entén com funciona el dispositiu detector de pressions.	
60A	Sí, és un globus, això?	S'ha fixat en un component clau del sistema. Cal que en vegi el comportament per poder entendre com funciona.	(atenció a un component)
60P	Sí, és la membrana d'un globus. Apreta una mica el globus i mira allà (<i>als dos tubs verticals</i>).		
61A	(<i>Ho fa</i>) Ah, vale, vale.	Observa la relació entre la força contra el globus i desnivell de l'aigua en els tubs. Comprovarem si ho relaciona (CE).	COR+ més F → més desnivell
61P	Entens què passa?		
62A	Sí, sí.	Sembla que s'adona de la relació, ara cal que l'expliciti. Començarem la possible cadena causal (E).	id
62P	Quan "apretes", què passa?		
63A	Que un s'omple més i l'altre.../	Només es refereix al desnivell. No ho acaba de relacionar amb el motiu (C). Intentarem que ho faci.	COR+ F → l'aigua puja en un tub
63P	Quin és el que baixa?		
64A	Aquest baixa (<i>l'aigua d'un dels tubs</i>), que és el que està connectat a això (<i>l'embut</i>)	De moment relaciona l'acció de l'embut, mitjançant la connexió, contra el tub que sofreix el descens de l'aigua. Eco.	COR+ F embut → l'aigua baixa en un tub
64P	El que està connectat baixa.		
65A	Sí.	Entenent que és evident, ens avancem en la formulació de la relació, però caldrà que la confirmi. A confirmar.	id
65P	I com més "apretes", més es desequilibra.		
66A	Sí, és com si jo bufés una mica cap allà i llavors... puja per l'altre costat.	Sembla que confirma la relació proposada. Fa una comparació: prémer el globus equival a bufar (semblança: fer circular aire). Sembla que ha comprès la relació entre prémer, pujar per un tub i baixar per l'altre. A confirmar.	COR+ més F → més desnivell ROB+ <i>prémer globus</i> → desnivell <i>bufar</i> → desnivell
66P	Exacte, el que marxa d'aquí se'n va cap allà.		
67A	Sí, sí, sí.	Ho confirma. Sembla que ens hem entès. Podem continuar.	id
67P	D'acord?		
68A	Vale.	Introduïm vocabulari: pressió, no força; l'aparell detecta pressió. Anticipem un resum del funcionament, a confirmar.	(acord)
68P	Doncs això és un detector de pressió. Eh? Com més pressió fas, més es desnivella allò.		
69A	Sí, sí.	Hi està d'acord. Anem a fer-ho servir.	COR+ més P → més desnivell
69P	I amb això podem aclarir totes aquestes coses de la pressió. Què et sembla?		

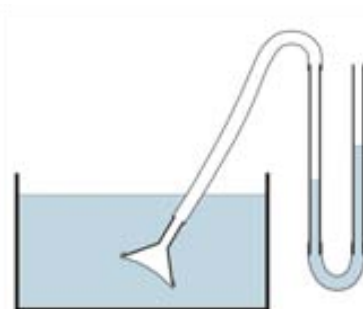
70A	Sí, sí, sí.	Sembla que entén que amb l'aparell podem visualitzar la pressió.	(acord)
-----	-------------	---	---------

Taula 4.6. Cas 5, corresponent a la pregunta 38a sobre el detector de pressió (s5).
Temps inicial: 7 min 50 s

Possible resum:

Per comprovar tot això hem fet servir un instrument que acabava en un embut amb la membrana d'un globus, de manera que al prémer el globus l'aigua de dos tubs es desnivellava, i com més fort es premia, més gran era el desnivell.

f) Cas 6. El detector i la pressió al mar



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
70P	Primera cosa. Ara agafarem aquest embut i el posarem així vertical (<i>mirant amunt</i>) i anirem baixant allà dins de l'aigua. Què creus que passarà?	Comencem per estudiar l'efecte de la fondària, demanant una predicció.	
71A	Doncs que hi haurà pressió per aquí baix i llavors aquí (<i>en un tub</i>) baixarà i aquí (<i>a l'altre tub</i>) augmentarà.	Deu recordar la relació que ja havia dit abans diverses vegades (la darrera, 53A). Eco.	COH+ embut enfonsat → desnivell a l'instrument
71P	S'anirà desnivellant.		
72A	Sí.	Intentarem recuperar la forma semi-quantitativa de la relació, per aclarir com varia (E).	id
72P	I com més avall?		
73A	Més, més...	Fa una predicció però li falta una paraula. Es refereix al desnivell? A confirmar.	?
73P	Més desnivell?		
74A	Sí, en teoria sí.	Ho confirma. Aquest "en teoria, sí" no semblava expressar reserves envers la predicció sinó que havia de posar-se a prova experimentalment.	COH+ embut a més fondària → més desnivell a l'instrument
74P	Provem-ho?		
75A	Sí.	id	(acord)
75P	A veure.		
76A	(<i>Ho fa</i>)	A veure si considera que es compleix	(acció)

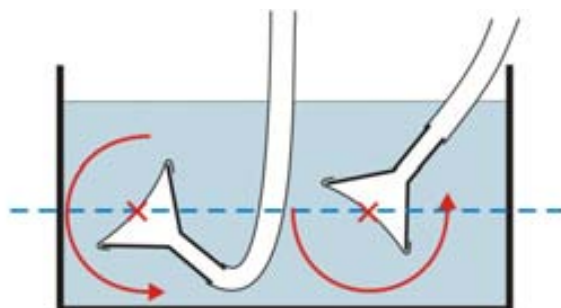
76P	És això?	la predicció (V).	
77A	Sí.	Hem de confirmar que ell realment n'és conscient (V).	COR+ més fondària → més desnivell
77P	És això el que ens esperàvem?		
78A	Sí.	Sembla que tot li quadra.	(acord)

Taula 4.7. Cas 6, corresponent a les preguntes 38b, c i d sobre el detector i la pressió al mar (s6). Temps inicial: 9 min 0 s

Possible resum:

Al submergir l'embut en un recipient amb aigua, esperava que el desnivell anés augmentant amb la fondària a mida que la pressió augmenta. És precisament el que ens ha sortit quan ho hem fet.

g) Cas 7. La pressió al mar en diferents direccions



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
78P	Segon experiment. Hauríem d'aclarir si la pressió ve de dalt, ve de baix, ve dels costats... Bé, com creus que ho podríem esbrinar, això?	Anem a veure si la direcció afecta la pressió. Primer mirarem com fer l'experiment.	
79A	Ficant-lo cap aquí... (canvia d'orientació dins de l'aigua)	Girant l'embut entorn d'un eix horitzontal podem veure si varia la pressió segons la direcció. Però la poca aigua ens limita els moviments.	COH+ canvi d'orientació → diferent pressió?
79P	Aquí pensa que això no ens dona prou per posar-lo de cap per avall. Però sí que el podem anar girant i anar canviant de direcció.		
80A	Si el fem cap allà o cap aquí... (indicant a dreta i a esquerra)	Vol comparar cap a un costat i cap a l'oposat. Hauria de pensar també a mirar avall (amunt no es pot).	COH+ canvi d'orientació → diferent pressió?
80P	O mirant avall...		

81A	Mirant avall ja ho hem mirat. Això d'aquí (<i>tubs</i>) augmenta, això vol dir que hi ha pressió. Si ho posem així (<i>girant</i>), si augmenta o disminueix veurem si hi ha pressió o no. I si hi ha pressió podem mirar quina fa més pressió, cap amunt, cap avall o cap als costats.	Una explicació del mètode, que sembla que té força clar, excepte pel que fa a controlar la influència de la fondària (C) .	COH+ canvi d'orientació → diferent pressió?
81P	I llavors, com que ja sabem que depèn de la fondària, com ho farem perquè això (<i>l'embut</i>) no canviï de fondària? Perquè, esclar, si ho girem i canvia la fondària, llavors potser la culpa és de la fondària, no? Com ens podem assegurar que no canviem la fondària?		
82A	Doncs mirant a l'aigua (<i>dels dos tubs</i>), no?	Es refereix a mirar el desnivell en els dos tubs?	COH+ canvi d'orientació → nivell tubs → diferent pressió?
82P	Mirant a què...?		
83A	És que no ho entenc ben bé.	Sembla que s'ha fet un embolic amb el procediment. Amb un dibuix, intentem fer-li entendre que al girar pot estar canviant la fondària, que ja sabem que influeix.	COH- procediment?
83P	Mira, jo t'ho dibuixo. Si tenim l'aigua i aquí tenim l'embut, si l'embut el posem mirant cap allà (<i>cap a la dreta</i>), però estem en aquesta fondària, no? La meitat de l'embut estaria a aquesta fondària. I llavors dius: ara vull que miri avall. Si jo ho giro, i el poso mirant així (<i>la part ampla de l'embut mira avall, però ara és força més avall</i>), és molt més avall.		
84A	Sí.	Aparentment s'adona del problema de com variar la direcció sense canviar la fondària.	COH+ canvi direcció o canvi fondària → més desnivell
84P	I si ens surt "ostres, més desnivell", què voldria dir, això? Que està apretant més quan mires avall? Potser està apretant més perquè està més avall.../		
85A	Sí/	id	id
85P	...no necessàriament per la direcció.		
86A	Podem mirar.../	De quina manera evitarem efectes pel canvi de fondària (C)?	(interrupció)
86P	Per tant, com ho farem perquè no canviem de fondària?		
87A	Podem mirar un més amunt... (<i>l'embut mira avall</i>) O sigui el mateix sentit, però una més amunt i una més avall (<i>gira l'embut de costat procurant mantenir el nivell</i>) o fent una cap aquí (<i>el gira cap a l'altre costat</i>) i això (<i>el tub de l'embut</i>) cap avall (<i>l'embut mira amunt</i>) farà el mateix...	Intenta girar l'embut mantenint el nivell, encara que no s'expressa amb claredat. Per acabar li falta el terme adequat (nivell), que li proporcionem. A confirmar.	COH+ mateix nivell → mateixa P girant al mateix nivell → varia P?

87P	Al mateix nivell.		
88A	Al mateix nivell.	Accepta el terme. Però costa mantenir el nivell. Caldrà ajudar-lo: es tracta de fer girar la boca de l'embut mantenint fix el diàmetre horitzontal.	(acció)
88P	I per assegurar el mateix nivell una cosa que podríem fer, saps què és? Agafar-ho així (<i>agafem la boca ampla de l'embut entre dos dits</i>). Agafar-ho així dins de l'aigua i llavors girar-ho amunt i avall (<i>gira l'embut verticalment mantenint els dos dits immòbils</i>), saps?		
89A	Sí.	Sembla que entén la proposta. Insistim en l'aspecte clau.	COH+ procediment
89P	Amb una mà posar-ho a una fondària i amb l'altra mà girar-ho, saps?		
90A	Sí, sí, sí.	Sembla que ja ha entès la condició clau de l'experiment, ja el podem començar.	(acord)
90P	Ho fas tu?		
91A	Sí. (<i>Ho fa. El desnivell varia una mica, li costa mantenir la fondària estable</i>).	Com que li costa mantenir la fondària, insistim en la seva importància i li recomanem una postura més estable.	(acció)
91P	Tu assegura't que no canviï la fondària perquè això sí que és delicat. (<i>Ho fa</i>) Fes-ho amb l'altra mà.		
92A	Sí, perquè sinó... (<i>Ho fa</i>).	Per garantir que no varia la fondària caldrà tenir ben repenjat el braç que aguanta l'embut.	(acció)
92P	Això. Ara ho enfonses, que quedi tot submergit. I ara repenja aquesta mà (<i>que aguanta l'embut</i>) perquè no es pugui moure. I ara tu gira (<i>l'embut</i>) i ves mirant el desnivell.		
93A	(<i>Ho fa</i>) Hi ha més pressió.	Els canvis que veu deuen ser perquè no manté la fondària.	(observació) girar embut → més desnivell → més pressió
93P	Vols dir?		
94A	...no, no, hi ha més o menys la mateixa.	Ara li sembla que no hi ha canvis; caldrà ajudar-lo.	(observació) girar embut → igual desnivell
94P	És difícil mantenir la fondària. Vols que t'ajudi a fer això?		
95A	Sí, es que...	Accepta l'ajut.	(acció)
95P	Perquè això és massa... Jo intento mantenir la fondària sense moure la mà (<i>agantem per un diàmetre l'embut entre dos dits</i>). A veure.		
96A	(<i>Gira l'embut</i>) Ara continua (<i>riu</i>).	Riu perquè ara veu que el desnivell es manté estable ("continua"), la pressió no depèn de la direcció, i això contraduï el que havia dit abans (per exemple, 7A). La seva idea no es correspon amb la realitat. Seguim l'experiment mantenint les condicions.	ROB- <i>previst pilota</i> : P només per dalt i per sota <i>aquí</i> : P igual en totes direccions
96P	Jo procuro no moure la mà, eh?		
97A	(<i>Va girant l'embut</i>) Continua.	Per veure si pensem el mateix, intentarem que verbalitzi el que veu (V).	id
97P	I què veus?		
98A	Doncs que hi ha la mateixa pressió.	Anem bé. Frase a completar.	id

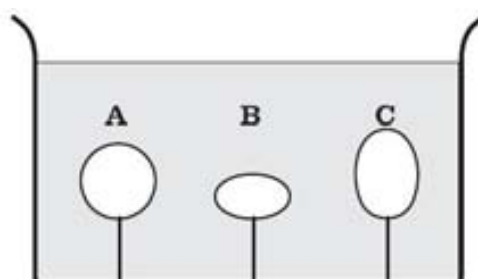
98P	...mirant avall que mirant...		
99A	...que mirant de costat. És igual que miri cap aquí o cap allà.	Ha vist el fenomen. Cal buscar-hi interpretació, fer-li explicitar el model o regla (CE).	id
99P	Llavors pensem una mica sobre això. <i>(Li passem un drap).</i>		
100A	Gràcies <i>(s'eixuga).</i>	id	(acció)
100P	Què creus que hem descobert amb això?		
101A	Que fa la mateixa pressió... de la dreta... O sigui... així <i>(horitzontalment)</i> que en vertical.	Sembla que la pressió no depèn de la direcció. Li falta una paraula, que li proporcionem. A confirmar.	COR+ diferent direcció → mateixa P
101P	En horitzontal que en vertical.		
102A	Sí.	Accepta aquests termes. Busquem que verbalitzi la conclusió (CE). Frase a completar.	id
102P	O sigui: si mira cap a un costat o mira cap amunt...		
103A	...li està fent la mateixa pressió.	Eco. Queda clar.	(acord)
103P	Li està fent la mateixa pressió.		

Taula 4.8. Cas 7, corresponent a l'exercici 39 sobre la pressió al mar en diferents direccions (s6). Temps inicial: 9 min 32 s

Possible resum:

Per investigar en quina direcció hi ha més pressió havíem de girar l'embut, però procurant que no canviés de fondària. Com que en el cas de la pilota creia que hi hauria més pressió cap avall i cap amunt, em va sorprendre veure que la pressió fos igual en totes direccions. Ha estat una mica complicat mantenir la fondària mentre giràvem l'embut, però ho hem aconseguit i el resultat és clar.

h) Cas 8. Pilota submergida



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
104A	El que passa que no entenc com és que la B (32a, pilota dins del mar, aixafada per sobre i per sota) està d'aquesta manera. Perquè si...	Ara torna espontàniament a la manca de robustesa de la seva primera predicció (7A). Un canvi interessant. Repassem la causa proposada (C). A confirmar.	ROB- pilota: pressió per dalt i per baix embut: pressió en totes direccions
104P	Llavors tornem a la B. L'aigua l'"apreta" per dalt.		
105A	I per ba... Sí.	Ja fa estona que semblava clar. La pressió per damunt fa una de les deformacions. I la que es fa per sota (C) produeix l'altra deformació. A confirmar.	COR+ P per dalt → deformació per dalt
105P	I l'"apreta" per baix.		
106A	Sí.	Però amb l'experiment semblava haver quedat clar que també hi havia pressió pels costats (C). A veure si ho introduïm en la seva explicació.	COR+ P per sota → deformació per sota
106P	I pels costats?		
107A	També.	Segurament que ho diu pel resultat de l'experiment. És així? (C) Frase a completar.	COR+ P pels costats → mateix desnivell
107P	Aquí (l'aigua i el detector de pressió) hem vist...		
108A	Aquí hem vist que també.	Eco. Efectivament, si pensa que hi ha pressió pels costats és per l'experiment. Ara tenim una causa (pressió lateral) sense efecte (deformació lateral) (E). Vejam si ho veu així i com ho resol.	id
108P	Que també. Per tant, què passaria (32a)? També s'hauria d'aixafar, de costat, o no?		
109A	Sí, home, si s'aixafa així (<i>en vertical</i>) també s'hauria d'aixafar (<i>en horitzontal</i>).	Resol la falta de coherència proposant un efecte per a la nova causa evidenciada en l'experiment. Aquest "s'hauria d'aixafar" sembla indicar desconfiança que el que hauria de passar sigui el que passa de debò. Hem d'aclarir quina seria la forma de la pilota (E) i l'opció correcta a l'ex. 32a.	COH+ P en totes direccions → deformació en totes direccions
109P	I llavors com quedaria la pilota?		
110A	(Pensa) Rodona, però més petita.	La pressió per totes bandes la deforma igual en totes direccions. A confirmar.	COH+ P en totes direccions → deformació en totes direccions
110P	S'aixafaria per totes bandes i quedaria rodona però més petita...		
111A	Sí, en teoria.	Eco. Ho confirma però sembla dubtar del resultat, potser perquè al renunciar a l'opció B (de l'ex. 32a) no té clar quina de les tres opcions serà la bona (E). A confirmar.	(dubte)
111P	En teoria. Per tant, la correcta no seria ni la A, ni la B ni la C...		
112A	(Pensa). Segons l'experiment aquest, no (<i>riu</i>).	Ho confirma. Potser riure és senyal que s'adona que cap de les opcions ofertes era la correcta. Eco. Intentarem que s'adoni de la possibilitat de reinterpretar-ne una (E). Frase a completar.	COH- opcions ofertes → cap opció correcta
112P	Segons l'experiment, no... excepte que la A ja sigui.../		
113A	ja sigui més petita/	Efectivament. Pot recuperar la coherència pensant que la pilota original era més gran que la del dibuix A. Eco. A confirmar.	COH+ P en totes direccions → rodona però més petita
113P	...més petita del que era abans, no?		

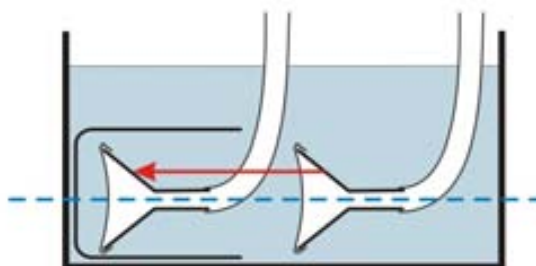
114A	(riu) Vaja cosa!	Interpretem que la manca de resposta és afirmativa. De nou, riure sembla mostrar la sorpresa per una solució imprevista. És per això? (C)	COH+ opcions ofertes → una opció correcta
114P	Ho veus complicat, això?		
115A	No, és que a mi l'Estel m'ha dit que demà ho he d'explicar. Vull dir és...	(Conseqüències socials)	(socials)
115P	Que demà ho has d'explicar?		
116A	Sí.	(Conseqüències socials)	id
116P	T'hi veus en cor, d'explicar-ho?		
117A	Jo no tinc problema. El que passa que, esclar...		
117P	Falta que et creguin, no?	Sembla tenir clar el que ha après. (Conseqüències socials)	id
118A	Sí.		
118P	Però tu els hi has de fer l'experiment, eh? Tu tindràs tot això (<i>el material experimental</i>), ho portaràs a classe i els ho faràs.	(Conseqüències socials)	id
119A	Sí.		

Taula 4.9. Cas 8, corresponent a la pregunta 32a sobre la pilota submergida (s1).
Temps inicial: 13 min 13 s

Possible resum:

Al veure que la pressió no depenia de la direcció em vaig adonar que la meua resposta al cas de la pilota no podia ser correcta. Si l'aigua li fa la mateixa força per tots costats, llavors la forma que agafarà serà igualment rodona, però més petita. En el dibuix, la pilota rodona s'hauria d'entendre que és d'una mida menor que l'inicial; no se m'havia acudit. Ara ja tinc clar el que he d'explicar a classe, però no sé si m'entendran tots.

i) Cas 9. Pressió dins de la cova



Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
119P	Doncs molt bé, Oriol. Parlem de la cova?	Finalment abordarem el problema de la cova.	
120A	Sí.	Li presentem el sistema i li demanem una predicció (E).	
120P	Ara farem un experiment amb una cova. La cova és això: un vas de precipitats. L'ajaiem aquí, en el fons, i ja tenim la cova. Que passarà quan hi fiquem això (<i>l'embut amb el globus</i>) a dintre?		
121A	Segons jo hi haurà menys pressió que estant a fora.	Amb l'expressió "segons jo" ens avisa que ara ja no dirà l'opinió de la professora, sinó la pròpia, que és el que volem. La predicció és la que ja havia fet abans (56A), relacionant la menor pressió esperada amb la presència del "terreny" (interpretàvem que es referia a la roca de damunt de la cova del dibuix). Ara cal fer-lo pensar sobre com fer l'experiment sense variar la fondària (C).	(predicció sense justificació) cova → menor pressió a dins
121P	Llavors, precaucions que hem de prendre? Igual que abans havíem de mirar la fondària, perquè ja sabem que la fondària és delicat, aquí com ho farem perquè la fondària no ens interfereixi?		
122A	Doncs tocant en el terra o.../	Tocant sempre el terra pla de la cubeta no variarà la fondària. Eco. Frase a completar.	COH+ tocant el fons → fondària invariable → P invariable per aquest factor
122P	Tocant a terra. Si anem tocant a terra...		
123A	...sabrem més o menys... Bé, aquí fa una mica d'esglaó...	La primera part de la resposta, tot i que és incompleta, sembla suggerir pel context que amb aquesta tècnica podrem comprovar si la cova afecta la pressió. Després s'adona que hi sorgeix un problema: un petit esglaó dificulta aclarir quina serà la causa d'un possible canvi de pressió. Se li suggereix que en el moment d'arribar-hi ja descomptarem el seu possible efecte. Se li demana una predicció del que observarem (E). Frase a completar.	COH+ tocant el fons → no canvia P COH+ cova → pot canviar P COH+ graó → pot canviar P
123P	Però ja ho tindrem en compte, això. Provem-ho? O sigui que segons això, a mida que anem entrant a la cova, l'aigua hauria de...?		
124A	...anar pujant aquí (<i>tub connectat a l'embut</i>) i anar baixant per l'altre.	Preveure que l'aigua pugi en el primer tub és compatible amb la seva idea que la pressió serà menor. Demanem que concreti el que espera veure (E). Frase a completar.	COH+ cova → menys P → aigua puja al primer tub
124P	És a dir, que el desnivell hauria de fer-se...?		
125A	Més petit.	Eco. A l'haver-hi menys pressió que a fora, el desnivell es farà més petit. La predicció sembla clara. Anem a comprovar-la experimentalment.	COH+ cova → menys P → menor desnivell entre tubs
125P	Més petit. Provem-ho.		
126A	(<i>Ho fa</i>)	A l'arribar al fons les dues columnes d'aigua estan força desnivellades. A l'entrar a la cova, a veure si minva el desnivell, com preveu, però mantenint la fondària.	(acció)
126P	Ara que toqui a terra, eh? Tenim el desnivell. Bé. I ara anem entrant.		
127A	Es queda igual (<i>riu</i>)	Li falla la predicció. De nou, el riure	COR-

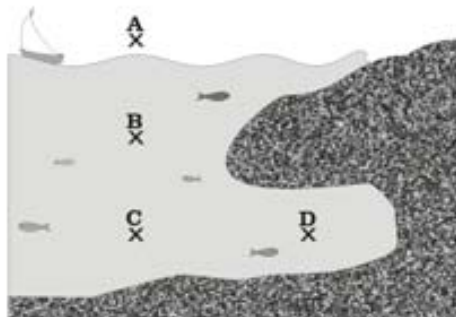
127P	Jo et marco fins a on ha arribat (<i>posant un dit en el nivell d'aigua d'un tub</i>) i tu ves-ho traient a poc a poc.	indica que s'adona d'un problema: falta de correspondència. Per comprovació, ho tornarem a observar mentre desfà el camí.	<i>previst</i> : cova -> desnivell menor <i>observat</i> : cova -> desnivell no canvia
128A	(<i>Ho fa</i>) Es queden igual.	Assegurem que compartim el resultat de l'experiment: el nivell no ha canviat apreciablement. Volem que verbalitzi el resultat (V). A confirmar.	id
128P	Està igual, no?		
129A	Sí.	Entesos. Ara cal veure si refà el seu model, fent-lo interpretar el resultat (CE).	id
129P	I això, què vol dir?		
130A	Que hi ha la mateixa pressió a fora que dintre la cova.	La cova no afecta a la pressió. No és el que ell esperava, però sí el que la professora li havia dit. Volem saber com ho veu ara.	COR- <i>previst</i> : cova -> P menor <i>observat</i> : cova -> P no canvia
130P	No te la creies l'Estel quan t'ho deia?		
131A	No, sí que me la vaig creure, però...	Segurament se la va creure per confiança en la professora, no per entendre'n els motius. Ara potser els té. Frase a completar.	COH- <i>ell</i> : cova -> P menor <i>professora</i> : cova -> P no canvia
131P	Però ara...		
132A	Però ara sí que ho crec millor.	Sembla confirmar que en té, encara que no els explicita, però han quedat prou clars. Es cert? A confirmar.	COH+ <i>ell</i> i <i>professora</i> : cova -> P no canvia COR+ cova -> P no canvia
132P	Ara tens motius per creure-la, no?		
133A	Sí.	Mirarem de fer verbalitzar els resultats finals, començant pel més recent, la cova (E). Frase a completar.	(acord)
133P	Així et sembla que la cova no hi fa...		
134A	No hi fa res.	És el resultat que acabem d'arribar (130A). Tenim el que buscàvem.	COR+ cova → no varia P

Taula 4.10. Cas 9, corresponent a la pregunta 32d (= 34c) sobre la pressió dins de la cova (s7). Temps inicial: 14 min 30 s

Possible resum:

Per aclarir el cas d'una cova vam simular-ne una amb un vas de precipitats ajagut al fons del dipòsit d'aigua. Per evitar canviar de profunditat vam arrossegar l'embut pel fons cap a dins del vas. Jo esperava que dins de la cova hi hagués menys pressió i que a les dues branques d'aigua disminuís el desnivell. Però curiosament es va mantenir igual, no m'ho esperava: la cova no afecta a la pressió.

j) Cas 10. Pressió dins d'un líquid



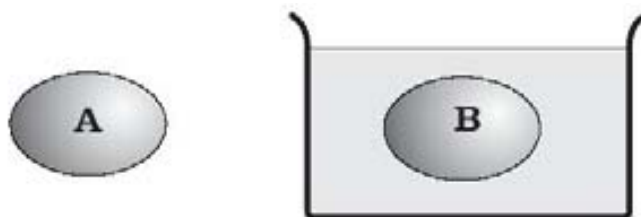
Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
134P	Per tant, de què depèn la pressió?	Ja podem anar per la síntesi.	
135A	De la fondària, no de si hi ha alguna cosa a sobre. Depèn de la fondària.	Que la fondària és determinant és el resultat que ja havia arribat aviat (71A - 77A). Ara ho formula en termes genèrics. Mirem si té clar l'efecte de la direcció (C).	ROB+ més fondària → més P cova → no varia P
135P	Depèn de la direcció, també?		
136A	No.	Eco.	ROB+
136P	Tampoc.		canvi direcció → igual P
137A	Perquè... ja hem vist abans que amb la direcció (<i>la pressió</i>) és la mateixa, el que importa és la fondària. Com més fondària, més pressió hi ha.	Queda clar. Intentarem arribar a una formulació més general (CE). Frase a completar.	ROB+ canvi direcció → igual P més fondària → més P
137P	Per tant, l'únic factor que compta...		
138A	És la fondària.	Eco. La fondària, l'únic factor. Hem arribat a on volíem i li ho fem saber.	ROB+ més fondària → més P
138P	És la fondària. Perfecte. Està molt bé.		direcció i cova → no canvien P
139A	(riu)	Possiblement riu del resultat sorprenentment simple i de com tot ha anat encaixant.	(acord)

Taula 4.11. Cas 10, corresponent a la pregunta 40c sobre la pressió dins d'un líquid (s3). Temps inicial: 16 min 32 s

Possible resum:

Amb tot això ha quedat clar que la pressió dins d'un líquid depèn només de la fondària, no de la direcció ni de si hi ha alguna cosa al damunt. No m'ho creia fins que ho he pogut comprovar amb els experiments. M'ha resultat sorprenent.

k) Cas 11. Pedra submergida



Inter- venció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
139P	I llavors, com explicariem això, per acabar, el tema aquest de la pedra (32b)? Pensa que això (un pes) l'hem ficat a l'aigua i semblava que pesava una miqueta menys.	Ens queda per explicar la pèrdua de pes dels objectes dins de l'aigua (C). A veure si ho podem explicar amb el que sabem sobre la pressió de l'aigua.	
140A	Sí.	Cal concretar-ne les causes (C).	(acord)
140P	Per què?		
141A	...	El tema havia quedat encallat des de 33A per falta de robustesa (23A) en relació al cas de la pilota submergida, al veure que rebia pressió tant per damunt com per sota. A veure si hi va concretant relacions d'acord amb el que ha anat aprenent (C).	(dubte)
141P	Quines forces... L'aigua quina força li fa a això (aquest pes)? Cap amunt, cap avall, cap a la dreta, cap a l'esquerra...?		
142A	(riu) Cap a tots els costats	Segurament riu perquè ha canviat la seva explicació del sistema introduint-hi forces laterals. A diferència del començament, ara té clar que la pressió actua en totes direccions. De moment no explica l'aparent pèrdua de pes. Caldrà recordar-li que l'efecte no era igual en totes direccions i demanar-li'n la causa (C).	ROB+ <i>embut:</i> igual P en totes direccions <i>pedra:</i> igual P en totes direccions
142P	Cap a totes bandes. Però hem vist que aquesta força no era igual a tot arreu, depenia d'una cosa...		
143A	La fondària.	Eco. Anem bé. Té clar l'efecte de la fondària sobre la pressió. A veure si ho pot aplicar a les forces sobre la pedra submergida (C).	COH+ més fondària → més P
143P	La fondària. Llavors, totes les forces que rep són iguals?		
144A	Sí.	Hi aplica que la pressió no depèn de la direcció, però no s'adona de la diversa fondària. A veure si s'adona de si es compensen o no per parelles (C).	COH+ diferent direcció → igual P
144P	Les de la dreta i les de l'esquerra són iguals? Les des dalt i les de baix són iguals?		
145A	Sí, iguals	Ens sorprèn que no s'adoni que canvia la profunditat (C). Caldrà insistir-hi.	id
145P	Són iguals?		
146A	Sí.	Considera que hi ha efectes iguals.	id
146P	Estan a la mateixa fondària?	Caldrà interrogar-lo a veure si les causes també ho són (C)	
147A	A la mateixa fondària no!	Ara s'adona que hi ha diverses fondàries. Cal intentar que verbalitzi en què es fixa per dir que la fondària és diferent (C).	(atenció a una propietat)
147P	Ah, no?		

148A	No, perquè la de baix està a més fondària que la de dalt.	S'ha fixat en una diferència. Vejam si ens en pot dir l'efecte (E).	id
148P	I...?		
149A	Llavors vol dir que les de baix fan més força que les de dalt.	Per fi ha explicat per què les forces per dalt i per sota són diferents. Ho pot relacionar amb el menor pes aparent de la pedra (CE)?	COH+ superfície inferior → més fondària → més força
149P	I...?		
150A	Llavors vol dir que fan més pressió cap amunt que cap avall. Llavors per això... aquest pes (<i>el de l'experiment</i>)... pesa menys a dins (<i>de l'aigua</i>) que a fora.	Ara completa la cadena d'inferències de forma satisfactòria. S'adonarà que el pes no ha variat? A confirmar. Compte amb la forma de dir-ho.	COH+ superfície inferior → més fondària → més pressió amunt que avall → menor pes aparent
150P	Sembla... que pesi menys, no?		COR+ <i>teoria</i> : ha de pesar menys <i>fet</i> : pesa menys ROB+ <i>embut</i> : més avall → més pressió <i>pedra</i> : més pressió per sota que per damunt → pesa menys
151A	Sembla que pesi menys, però pesa el mateix.	Efectivament, rectifica la seva formulació. El canvi de pes no és real sinó aparent. Sembla que entén per què, però no acaba de concretar la causa de la disminució del pes aparent (C). Frase a completar.	COH+ dins de l'aigua: igual pes i diferència de pressió → sembla que pesi menys
151P	Perquè de fet el pes (fora de l'aigua) l'aguantas tu però quan el fiques dins de l'aigua...		
152A	L'aigua t'ajuda, fa pressió cap amunt.	Ja en tenim la causa. A confirmar.	COH+ l'aigua l'empeny amunt → sembla que pesi menys
152P	L'aigua també t'ajuda una mica a aguantar-ho. Oi que és això?		
153A	(riu)	Interpretem positivament la manca de resposta explícita. Aquest riure sembla que torna a ser per veure que finalment les coses van lligant.	(acord)
153P	Què?		
154A	Que quan faci l'examen o alguna cosa...	Sembla que indica que a l'explicar-ho a classe apareixeran sorpreses com les que ell ha anat trobant, però llavors haurà de convèncer els seus companys. Amb tot el que ha aconseguit en aquesta conversa, és segur que ho farà bé i tindrà bona nota.	(social)
154P	Pots treure un deu, no?		
155A	Sí (riu)	Mostra satisfacció. Amb això donem per acabada la conversa.	id

Taula 4.12. Cas 11, corresponent a la pregunta 32b (= 43g) sobre la pedra submergida (s2). Temps inicial: 17:00

Possible resum:

Un objecte submergit sembla que hagi de rebre la mateixa força de l'aigua en totes direccions, però cal adonar-se que la seva part inferior és més profunda que la superior i que per això rep més força per sota que per damunt. D'aquesta manera l'aigua ens ajuda a aguantar l'objecte i per això sembla que pesi menys.

4.2.3 Visió general

Una vegada analitzada l'entrevista podem constatar que

- la conversa ha anat avançant de forma força ordenada, fluïda i productiva.

Ha estat *ordenada* perquè s'ha anat aprofundint de forma sistemàtica en l'anàlisi de cada sistema fins que ja no ha estat possible avançar més, almenys de moment. Ha estat *fluïda* perquè s'ha desenvolupat amb molta naturalitat i la gran majoria de respostes de l'alumne han estat ràpides i clares (excepcions: les intervencions 15, 16, 17, 25 i 83, que són 5 de les 154 que ha fet l'alumne, un 3,2 %); ambdós interlocutors s'han sentit còmodes en el transcurs de la conversa, tot i l'inevitable esforç cognitiu. I finalment, ha estat *productiva* perquè l'alumne ha acabat resolent tots els dubtes que li han anat sorgint durant l'entrevista, així com els que ja li havien sorgit durant la classe amb la seva professora.

4.2.4 Sobre les intervencions del professor

Com ja hem indicat abans (taula 4.1), analitzant l'entrevista ens hem adonat que

- el professor hi realitza diferents classes d'anàlisi per a la presa de decisions.

Cadascuna d'aquestes decisions, organitzades en cinc categories, queden recollides a la taula següent (4.13), així com els criteris per a cadascuna. Tot ha estat elaborat a partir dels resultats de la nostra anàlisi de la conversa.

Descripció	Codis	Intervencions	n	%
Necessitat d'aclarir ambigüitats percebudes en el model mental de l'alumne			74	47,7
Volem aclarir quina és la causa que li atribueix, o no té en compte una causa que abans ha considerat	C	2, 3, 5, 11, 15, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 36, 41, 42, 43, 52, 53, 54, 58, 63, 81, 86, 104, 105, 106, 107, 114, 121, 135, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 151	39	52,7
Es tracta d'aclarir quin és l' efecte que li atribueix, no té en compte un efecte que abans ha considerat, o es produeix un efecte imprevist	E	8, 9, 12, 24, 27, 28, 51, 62, 72, 108, 109, 111, 112, 120, 123, 124, 133, 148	18	24,3
Hem d'aclarir la relació qualitativa entre la causa i l'efecte, o bé el mecanisme d'acció	CE	38, 45, 46, 47, 48, 61, 99, 100, 102, 129, 137, 149	12	16,2
Volem que verbalitzi alguna cosa que de moment només és implícita	V	50, 76, 77, 97, 128	5	6,8
Necessitat d'intervenir sobre el sistema real i de planificar-hi l'acció			26	16,8
Volem esbrinar si coneix el fenomen		25, 49, 51	3	11,5
Es tracta de determinar el comportament del sistema		26, 30, 31, 60, 74, 75, 125, 126, 127	9	34,6
Cal aclarir la forma d'intervenir sobre el sistema		78, 79, 80, 83, 84, 85, 88, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96,	14	53,8
Necessitat de col·laborar en el progrés de la conversa mitjançant el llenguatge			62	40,0
Repetim el que acaba de dir per fer-li notar que hi estem atents, o per guanyar temps per pensar	Eco	2, 5, 6, 10, 29, 64, 71, 103, 108, 111, 112, 113, 122, 136, 138, 143	16	25,8
L'ajudem començant una afirmació perquè ell la completi.	Frase a completar	13, 50, 98, 102, 107, 112, 122, 123, 124, 131, 133, 137, 151	13	21,0
Com que no queda clara alguna cosa, volem aclarir si la formulació que li avancem correspon al que pensa	A confirmar	7, 8, 14, 30, 32, 51, 52, 44, 56, 57, 65, 66, 68, 73, 87, 101, 104, 105, 110, 111, 113, 128, 132, 150, 152	25	40,3
Cal aclarir a què es refereix (entitat, propietat, relació...?)		19, 40, 56, 82	4	6,5

Intentem parlar amb cura per no introduir idees conflictives	9, 30, 68, 150	4	6,5
Necessitat d'avaluar el curs del diàleg i prendre decisions per reconduir-lo quan calgui		34	21,9
Si no li queda clara la finalitat de la conversa, caldrà aclarir-li	4, 37, 39, 55	4	11,8
Si no queda clar com fer alguna cosa (no experimental) caldrà concretar-ho	16	1	2,9
Si constatem que anem bé, podem seguir pel mateix camí	67, 69, 121	3	8,8
Establint prioritats en la conversa	33, 34, 35, 130	4	11,8
Ens convencem que ja no es pot continuar, o hem arribat on volíem	9, 33, 53, 59, 70, 78, 103, 119, 134, 138, 155	11	32,4
Decidim començar a explorar un altre sistema	1, 9, 33, 53, 59, 70, 78, 104, 119, 134, 139	11	32,4
L'alumne explora les possibles conseqüències socials de la conversa		7	4,5
Detecta la incomoditat que li provoca manifestar la seva opinió contrària a la de la seva professora	39, 131	2	28,6
S'adona de les conseqüències del seu aprenentatge a la seva classe	115, 116, 117, 118, 154	5	71,4

Taula 4.13. Categories per a la classificació de les anàlisis i decisions de l'entrevistador, adreçades a detectar i resoldre diferents tipus de necessitats de regulació de l'entrevista. Els colors són els mateixos que s'han utilitzat per identificar-los en l'anterior anàlisi de l'entrevista. En algunes de les categories apareixen els codis específics que s'hi han utilitzat. De cada categoria s'ofereix la llista d'intervencions on s'han produït, així com el seu recompte. Els percentatges generals de cada secció són en relació al total d'intervencions, mentre que els interns a una secció, indicats en cursiva sense negreta, s'han calculat en relació al total de la secció.

La seva distribució al llarg de la conversa, recollida a la fig. 4.1, mostra en quins moments cadascun dels cinc tipus d'intervenció adquireix protagonisme.

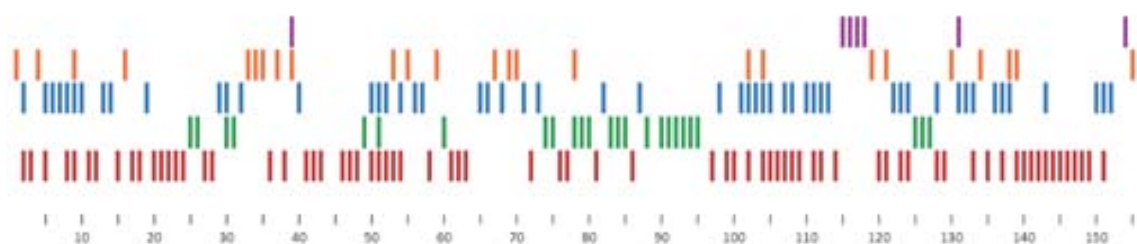


Figura 4.1. Distribució dels diferents tipus d'intervencions del professor al llarg de la conversa. Per representar-los s'ha utilitzat el mateix codi de colors que a la taula anterior.

Cal dir que no sempre ha estat fàcil determinar quina funció està realitzant l'entrevistador, ja que sovint en fa diverses. Per això, les quantitats recollides a la taula 4.13 tenen només un caràcter aproximat. Tot i així, aquests resultats semblen mostrar amb prou claredat que:

- L'estratègia més utilitzada per conduir l'entrevista ha estat centrar l'atenció de l'alumne en aquells aspectes del seu model mental del sistema que per a l'entrevistador resulten ambigus, seguint a consciència la tècnica *teachback*. Per tant, era una presència esperada. Constatem que ha calgut aclarir més vegades causes (C) que no efectes (E) o la seva relació (CE).
- Les actuacions lingüístiques hi tenen una presència sorprenentment elevada. Utilitzant la tècnica *teachback*, s'han començat frases perquè l'alumne les completés, i també s'han formulat frases afirmatives perquè l'alumne les confirmés o no, en un nombre més elevat del que semblava. Cal dir que no es tractava d'endevinalles sinó de posar a la seva consideració la nostra interpretació del seu model mental.
- En un sorprenent tercer lloc es situa l'avaluació constant del curs del diàleg per decidir quan cal reconduir-lo i cap a on. Podem pensar que actua sobretot quan aplicant el *teachback* arribem a un punt sense sortida clara o ja s'ha aclarit el que buscàvem.
- Ha estat molt sorprenent veure les vegades que s'utilitzava el recurs que hem anomenat *eco*: repetir el que l'alumne acaba de dir, ja sigui literalment o en forma de sinònim. Interpretem que per una banda és una forma de dir-li que estem al cas del que diu, i per l'altra una forma de guanyar temps per generar la rèplica.
- Hem introduït una altra categoria que ens ha semblat que no quedava prou reflectida en les anteriors: la de conèixer el sistema i el seu comportament o d'intervenir-hi físicament.

- Una altra categoria inesperada ha estat la d'explorar les conseqüències socials de la conversa, en tots els casos pensant que ho havia d'explicar a la seva classe i que no havia entès el que n'havia explicat la professora.

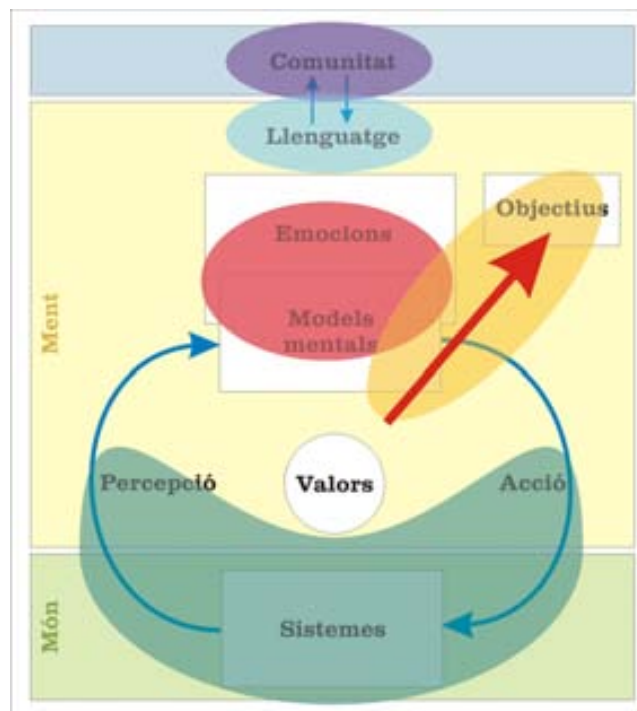


Figura 4.2. Les diverses dimensions de l'activitat científica escolar, amb els codis de color utilitzats en l'anàlisi de la seqüència.

- Vistes en conjunt, aquestes categories van explorant les diverses dimensions de l'activitat científica escolar (fig. 4.2): conèixer el sistema i intervenir-hi es situa en la nostra **interacció amb el sistema**; aclarir **ambigüitats** fa referència als models mentals i les emocions que s'hi relacionen; monitoritzar el diàleg consisteix en fixar **objectius** i vetllar per assegurar que ens hi anem apropant; el **llenguatge** permet parlar de tot això i fins i tot ajudar l'alumne a dir coses complexes; finalment, la **comunitat**, que ara és de dues persones, l'alumne l'haurà d'ampliar a tota la seva classe, amb les conseqüències socials que pugui significar. (Naturalment, totes aquestes operacions no es poden fer de qualsevol manera sinó que perquè siguin útils s'han de fer bé, és adir, conforme a uns **valors**, uns valors que evidentment

han anat actuant sobre cadascuna de les dimensions, encara que no quedí recollit explícitament).

4.2.5 Sobre les intervencions de l'alumne

Per part de l'alumne, algunes intervencions han estat formulades sense realitzar una inferència prou clara per al professor, mentre que moltes altres implicaven una inferència a l'abast de l'entrevistador. Quan n'hi havia evidència, s'ha trobat –com estava previst– que unes situacions resultaven satisfactòries i en algunes altres no, *als ulls de l'alumne*, per manca de coherència, correspondència o robustesa.

Les taules 4.2 a 4.12 contenen una gran quantitat de dades que caldrà reduir per fer més assequible una visió de conjunt.

Així a la taula següent (taula 4.14) es recullen de forma simplificada els resultats de totes les intervencions de l'alumne. A la columna "Tipus de necessitat" apareix una fletxa granat (➔) si respon a una intervenció del professor adreçada a la resolució d'alguna ambigüitat. A les tres columnes següents s'indica si la intervenció conté o no inferències assequibles a l'entrevistador. Si sembla haver-hi inferència accessible, se'n recull el resultat emocional; en cas contrari, s'indica el tipus d'intervenció. Les cometes indiquen la repetició de la darrera interpretació.

A la columna "Pendent de solució" apareixen numerats els problemes sorgits durant la conversa (inferències que semblen insatisfactòries per a l'alumne), numeració que es manté al llarg de l'entrevista per permetre seguir el tractament de cada problema fins arribar a trobar-hi alguna solució plenament satisfactòria. Un quadrat vermell al costat del número de problema indica que es tracta de l'inici del problema, una fletxa assenyala que forma part del procés de resolució, i un quadrat verd assenyalaria la seva resolució final.

Quan es tracta d'intervenció sense inferència aparent, s'utilitzen els següents codis, amb aquest significat:

?	expressa dubte
acció	conversa centrada en l'acció que es fa o es pot fer
acord	manifesta que l'entrevistador l'ha entès
altra	ho relaciona amb el parer d'una altra persona
comp	atenció a un component del sistema
int	interromput per l'entrevistador
obs	conversa centrada en el fenomen observat
pred	prediu un resultat sense justificar-lo
prop	atenció a una propietat d'un component
social	comentari de les conseqüències socials de la conversa

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüïtat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactòria	Inferència insatisfactòria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)		2	pred				
	→	3		COH+			
	→	4			COH-	1 ■■	La seva opinió / La de classe
		5		COH+			
		5		COH+			
	→	6		COH+			
		7		COH+			
		8		"			
	→	9	acord				
2 (s2)	→	10		COR+			
		11		"			
	→	12			COH-	2 ■	L'agua fa força cap amunt però també cap avall
	→	13		COR+		2 ↓	L'agua fa més força cap amunt que cap avall
		13		COH+			
		14		"			
		15			COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
	→	16	int				
		17			COH-	3 ↓	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua
	→	18		COR+			
	→	19		COR+			
		19		ROB+			
		20		COR+			
→	21		COR+				
	21		COR+				

	→	22	acord					
	→	23			ROB-	3 ↓	Pilota: força amunt i avall / Pedra: força amunt	
	→	24			"			
	→	25	?					
		26	obs					
		27	obs					
	→	28		COH+				
	→	29		COR+				
		29		ROB+				
		30	obs					
		31	obs					
		32	obs					
		33	acord					
3 (s3)		34	altra					
		35	pred					
		36	pred					
		→	37	altra				
			38		COH+			
		→	39		COH+			
			39		COH+			
			39			COH-	4 ■	Alum: A la cova, P menor / Prof: P igual
			40	pred				
			41	"				
		→	42	int				
		→	43	pred				
		→	44		COH+			
			45		"			
		→	46	int				
		→	47	int				
		→	48	obs				
	→	49		ROB+				
		50	obs					
	→	51	obs					
	→	52	obs					
	→	53	?					
4 (s4)	→	54	int					
	→	55	int					
		56		COH+				
		57			COH-	4 ↓	Alum: P menor a la cova / Prof: P igual a la cova	
		58			"			
	→	59			"			
5 (s5)		60	comp					
		61		COR+				
		→	62		"			
		→	63		COR+			
		→	64		COR+			
		65		"				

		66		COR+			
		66		ROB+			
		67		"			
		68	acord				
		69		COR+			
		70	acord				
6 (s6)		71		COH+			
		72		"			
	→	73	?				
		74		COH+			
		75	acord				
		76	acció				
	→	77		COR+			
	→	78	acord				
7 (s6)		79		COH+			
		80		COH+			
		81		COH+			
	→	82		COH+			
		83			COH-	5 ■	Desnivell degut a canvi de fondària o de direcció?
		84		COH+		5 ■	Fixar fondària. Desnivell degut a canvi de direcció
		85		"			
		86	int				
	→	87		COH+			
		88	acció				
		89		COH+			
		90	acord				
		91	acció				
		92	acció				
		93	obs				
		94	obs				
		95	acció				
		96			ROB-	2 ↓	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
		97			"		
	→	98			"		
	99			"			
→	100	acció					
→	101		COR+		2 ↓	Mateixa pressió en totes direccions	
	102		"				
→	103	acord					
8 (s1)		104			ROB-	2 ↓	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
	→	105		COR+			
	→	106		COR+			
	→	107		COR+			
	→	108		"			
	→	109		COH+		2 ↓	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
	→	110		COH+			
	111	?					

	→	112			COH-	2 ↓	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
	→	113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes
		114		COH+			
	→	115	social				
		116	“				
		117	“				
		118	“				
		119	“				
9 (s7)		120					
		121	pred				
	→	122		COH+			
		123		COH+			
		123		COH+			
		123		COH+			
	→	124		COH+			
	→	125		COH+			
		126	acció				
		127			COR-	4 ↓	Preveia desnivell menor / Desnivell no canvia
		128			“		
	→	129			“		
	→	130			COR-	4 ↓	Es preveia P menor / S'observa que P no canvia
		131			COH-	4 ↓	Alumne: P menor / Professora: P no canvia
		132		COH+		4 ↓	Dins i fora de la cova, la mateixa P
		132		COR+		4 ↓	Alumne i la professora: dins i fora de la cova igual P
		133	acord				
→	134		ROB+				
10 (s3)		135		ROB+			
	→	136		ROB+			
		137		ROB+			
	→	138		ROB+			
		139	acord				
11 (s2)	→	140	acord				
	→	141	?				
	→	142		ROB+			
	→	143		COH+			
	→	144		COH+			
	→	145		“			
	→	146		“			
	→	147	prop				
	→	148	prop				
	→	149		COH+			
	→	150		COH+		3 ↓	Superfície de sota, més pressió que a la de sobre
		150		COR+		3 ↓	Hauria de pesar menys / Hem mesurat menys pes
		150		ROB+		3 ↓	Cas embut / Cas pedra
		151		COH+		3 ↓	Pesa igual, sembla que pesi menys
→	152		COH+		3 ■	L'aigua t'ajuda fent pressió cap amunt	
	153	acord					

	154	social			
	155	"			

Taula 4.14. Síntesi de la conversa anterior i anàlisi dels resultats.

Com es pot veure, la taula anterior, mitjançant la utilització d'un llenguatge simbòlic creat per a l'ocasió, recull de forma sintètica el curs de la conversa, fent-la molt més manejable. A partir d'ella hem pogut fer un recompte dels diversos tipus d'intervencions de l'alumne (taula 4.15).

	Tipus i codi	Intervencions de l'alumne	n	Totals	
Sense inferència 56 40,6 %	- (res)	120	1	56 40,6 %	138
	acció	76, 88, 91, 92, 95, 100, 126	7		
	acord	9, 22, 33, 68, 70, 75, 78, 90, 103, 133, 139, 140, 153	13		
	altra persona	34, 37	2		
	component	60	1		
	? (dubte)	25, 53, 73, 111, 141	5		
	interrupció	16, 42, 46, 47, 54, 55, 86	7		
	observació	26, 27, 30, 31, 32, 48, 50, 51, 52, 93, 94	11		
	predicció	2, 35, 36, 40, 43, 121	6		
	propietat	147	1		
	conseq. socials	115, 154	2		
Amb inferència 82 59,4 %	COH+	3, 5, 5, 6, 7, 13, 28, 38, 39, 39, 44, 56, 71, 74, 79, 80, 81, 82, 84, 87, 89, 109, 110, 113, 114, 122, 123, 123, 123, 124, 125, 132, 143, 144, 149, 150, 151, 152	38	69 50,0 %	13 9,4 %
	COR+	10, 13, 18, 19, 20, 21, 21, 29, 61, 63, 64, 66, 69, 77, 101, 105, 106, 107, 132, 150	20		
	ROB+	19, 29, 49, 66, 134, 135, 136, 137, 138, 142, 150	11		
	COH-	4, 12, 15, 17, 39, 57, 83, 112, 131	9		
	COR-	127, 130	2		
	ROB-	23, 96, 104	3		
Resposta emocional explícita		12, 23, 39, 96, 112, 114, 127, 139, 142, 153, 155	11	11 6,5 %	

Taula 4.15. Recompte dels tipus d'intervencions de l'alumne d'un total de 138 resultats de les 154 intervencions. (No es mostren aquells que corresponen a resultats immediatament anteriors que mantenen la seva vigència sense canvis).

Els resultats d'aquesta taula els sintetitzem encara més en la fig. 4.3.

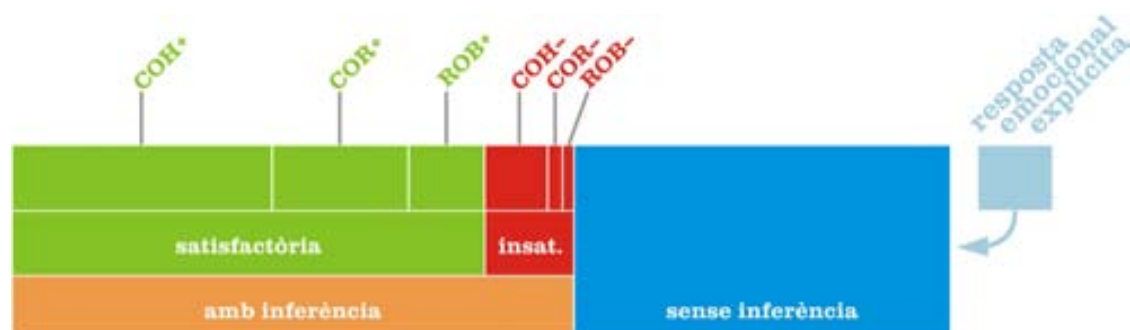


Figura 4.3. Resum gràfic dels tipus de respostes efectuades per l'alumne.

De totes aquestes dades trobem rellevant destacar els següents punts:

- Hi destaca una quantitat important d'intervencions (la meitat de totes) amb inferència de caràcter satisfactori.
- En contrast, les no satisfactòries són força més reduïdes, però amb l'important paper de desencadenar els processos de reconstrucció del model mental i, per tant, d'aprenentatge.

Reacció	Intervencions de l'alumne	Total
dubte, confusió	15, 17, 25, 83	4
relació amb professora	4, 39, 57, 131	4
riure	12, 23, 96, 112, 127	5
serenitat	104, 130	2

Total: **15**

Taula 4.16. Reaccions de l'alumne a les 15 situacions insatisfactòries a les quals ha donat resposta.

- D'aquestes inferències insatisfactòries (taula 4.16), la reacció de l'alumne ha consistit, en unes ocasions, a expressar rient la seva sorpresa per un resultat, en unes altres sembla mostrar-se contrariat perquè les seves creences no coincidien amb el que deia la professora, altres cops mostra confusió o dubte, mentre que finalment en algunes altres encaixa el problema amb naturalitat, sense alteració aparent. Constatem, en definiti-

va, una varietat de respostes emocionals davant situacions insatisfactòries. Cal dir que davant les contradiccions més contundents ha reaccionat rient.

- Pel que fa a les intervencions sense inferència aparent, força nombroses, podem comprovar que també realitzen un paper en la conversa. Per una banda, indicades a la taula 4.15 apareixen l'**acció** sobre un sistema i l'**observació** del seu comportament, dues operacions imprescindibles en la nostra interacció amb el món que apareixen diverses vegades de forma explícita i força d'altres de manera implícita.
- Per altra banda destaca un tipus d'intervenció inesperat, la **interrupció** de la conversa per part l'entrevistador, i que interpretem com a interferències normals durant una conversa viva.
- Finalment, la resta d'intervencions sense inferència poden considerar-se part normal d'un procés de construcció de coneixement: mostrar dubtes, fixar l'atenció en un component o una propietat, fer prediccions sense explicitar encara el raonament, mostrar l'acord o el discord amb altres persones...

En definitiva, ens trobem davant d'una conversa on la gran majoria d'intervencions contribueixen al progrés de la conversa i a l'aclariment del comportament dels sistemes proposats i només unes poques intervencions no hi contribueixen directament, tot i realitzar altres funcions necessàries (o tractar-se simplement d'interferències explicables per la implicació dels interlocutors en la conversa).

Per continuar fent la reducció de les dades, a la taula 4.17 inclourem només aquelles intervencions de la taula 4.14 que aporten o bé una inferència insatisfactòria –generant un problema per resoldre, o sense aconseguir-ho– o bé algun progrés satisfactori, – complet o parcial – en la seva resolució.

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüitat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactòria	Inferència insatisfactòria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)	➔	4			COH-	1 ■■	La seva opinió / La de classe
2 (s2)	➔	12			COH-	2 ■	L'aigua fa força cap amunt però també cap avall
	➔	13		COH+		2 ▼	L'aigua fa més força cap amunt que cap avall
		15			COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
		17			COH-	3 ▼	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua
	➔	23			ROB-	3 ▼	Pilota: força amunt i avall / Pedra: força amunt
3 (s3)		39			COH-	4 ■	Alum: A la cova, P menor / Prof: P igual
4 (s4)		57			COH-	4 ▼	Alum: P menor a la cova / Prof: P igual a la cova
7 (s6)		83			COH-	5 ■	Desnivell degut a canvi de fondària o de direcció?
		84		COH+		5 ■	Fixar fondària. Desnivell degut a canvi de direcció
		96			ROB-	2 ▼	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
	➔	101		COH+		2 ▼	Mateixa pressió en totes direccions
8 (s1)		104			ROB-	2 ▼	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
	➔	109		COH+		2 ▼	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
	➔	112			COH-	2 ▼	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
	➔	113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes
9 (s7)		127			COR-	4 ▼	Preveia desnivell menor / Desnivell no canvia
	➔	130			COR-	4 ▼	Es preveia P menor / S'observa que P no canvia
		131			COH-	4 ▼	Alumne: P menor / Professora: P no canvia
		132		COH+		4 ▼	Dins i fora de la cova, la mateixa P
		132		COH+		4 ■	Alumne i la professora: dins i fora de la cova igual P
11 (s2)	➔	150		COH+		3 ▼	Superfície de sota, més pressió que a la de sobre
		150		COH+		3 ▼	Hauria de pesar menys / Hem mesurat menys pes
		150		ROB+		3 ▼	Cas embut / Cas pedra
		151		COH+		3 ▼	Pesa igual, sembla que pesi menys
	➔	152		COH+		3 ■	L'aigua t'ajuda fent pressió cap amunt

Taula 4.17. Recull d'intervencions relacionades amb l'aparició de problemes i la seva resolució.

D'aquesta manera, les 154 intervencions de l'alumne han quedat reduïdes a 26 en la quals o bé es constata el problema o bé es fa un pas endavant en la seva solució. Però com que ara els problemes queden encavalcats, tot seguit ordenarem les mateixes intervencions (taula 4.18) per veure millor, i de forma independent, el procés d'aparició, tractament i resolució de cadascun dels cinc problemes que han aparegut durant la conversa.

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüitat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactòria	Inferència insatisfactòria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)	➔	4			COH-	1 ■	La seva opinió / La de classe
2 (s2)	➔	12			COH-	2 ■	L'agua fa força cap amunt però també cap avall
	➔	13		COR+		2 ↓	L'agua fa més força cap amunt que cap avall
7 (s6)		96			ROB-	2 ↓	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
	➔	101		COR+		2 ↓	Mateixa pressió en totes direccions
8 (s1)		104			ROB-	2 ↓	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
	➔	109		COH+		2 ↓	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
	➔	112			COH-	2 ↓	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
	➔	113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes
2 (s2)		15			COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
		17			COH-	3 ↓	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua
	➔	23			ROB-	3 ↓	Pilota: força amunt i avall / Pedra: força amunt
11 (s2)	➔	150		COH+		3 ↓	Superfície de sota, més pressió que a la de sobre
		150		COR+		3 ↓	Hauria de pesar menys / Hem mesurat menys pes
		150		ROB+		3 ↓	Cas embut / Cas pedra
		151		COH+		3 ↓	Pesa igual, sembla que pesi menys
	➔	152		COH+		3 ■	L'aigua t'ajuda fent pressió cap amunt
3 (s3)		39			COH-	4 ■	Alum: A la cova, P menor / Prof: P igual
4 (s4)		57			COH-	4 ↓	Alum: P menor a la cova / Prof: P igual a la cova
9 (s7)		127			COR-	4 ↓	Preveia desnivell menor / Desnivell no canvia
	➔	130			COR-	4 ↓	Es preveia P menor / S'observa que P no canvia
		131			COH-	4 ↓	Alumne: P menor / Professora: P no canvia
		132		COH+		4 ↓	Dins i fora de la cova, la mateixa P
		132		COR+		4 ■	Alumne i la professora: dins i fora de la cova igual P
7 (s6)		83			COH-	5 ■	Desnivell degut a canvi de fondària o de direcció?
		84		COH+		5 ■	Fixar fondària. Desnivell degut a canvi de direcció

Taula 4.18. Recull d'intervencions relacionades amb l'aparició de problemes i la seva resolució, agrupades per problemes.

Com es pot veure,

- els problemes 1 (contradicció amb el que es va dir a classe) i 5 (com canviar de direcció sense canviar de fondària?) es resolen amb facilitat a la mateixa intervenció que han aparegut o en la següent; en podríem dir problemes de *recorregut curt*. En canvi, els altres tres problemes (2, 3 i 4) requereixen molt més de temps i de treball per arribar a solucionar-los, cosa que potser indicaria que impliquen dificultats considerables per a l'alumne; són de *recorregut llarg*.
- També ens crida l'atenció la diferent forma com s'han solucionat: mentre que en el problema 2 (cap a on fa força l'agua sobre un objecte submergit) va alternant-se èxits parcials amb nous aspectes per resoldre –visualitzada en l'alternança de vermells i verds– en els problemes 3 (per què sembla pesar menys una pedra submergida?) i 4 (efecte de la cova en la pressió) després d'una sèrie de resultats problemàtics apareix la solució capaç de resoldre totes les dificultats aparegudes.

Finalitzarem la reducció de dades donant a les de la taula 4.18 un format més gràfic (fig. 4.4). En vertical s'hi representen els cinc problemes detectats, numerats seguint l'ordre d'aparició. En horitzontal, a sota hi ha la numeració de les intervencions, i al damunt, els sistemes sobre els quals es conversa, que apareixen amb un fons de color i estan identificats pel mateix número que a les taules anteriors, i amb el prefix "s". Els punts vermells representen cada intervenció de l'alumne que inclou una inferència que per a ell és insatisfactòria. Els punts verds indiquen intervencions que per a l'alumne suposen la resolució satisfactòria total o parcial de les dificultats. Cada línia blava dona continuïtat al treball de resolució de cadascun dels problemes.

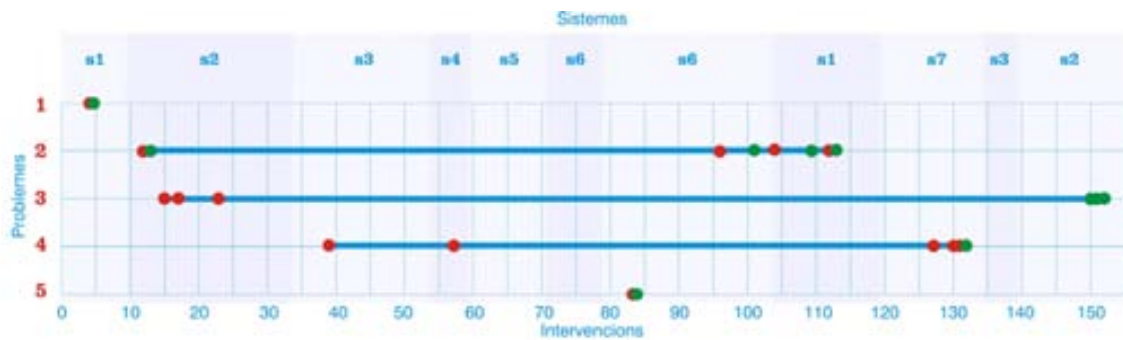


Figura 4.4. Resum gràfic de l'evolució dels cinc problemes apareguts durant la conversa: 1-Contradicció amb la professora. 2-Direcció de la pressió dins de l'aigua? 3-Per què sembla pesar menys dins de l'aigua? 4-Com afecta la cova a la pressió? 5-Com canviar de direcció l'aparell sense canviar de fondària?

A més de representar de forma gràfica el que ja apareixia a la taula anterior, la figura anterior ens mostra algunes coses més:

- Fa evident la sorprenent distància que hi ha entre el sorgiment de tres dels problemes i la seva resolució. Això indicaria que malgrat que pel mig han sorgit diverses qüestions problemàtiques (o potser gràcies a elles, si hi estaven relacionades) els problemes s'han mantingut vius mentre no s'han pogut resoldre.
- Tot i que el problema 4 es reprèn sense èxit una estona després de plantejar-lo, en els altres casos el problema de llarg abast es manté congelat en un estat, insatisfactori o no, fins que en algun moment és abordat i solucionat definitivament.
- Això mostraria que no només és possible deixar un problema sense tancar, sinó que possiblement això incentiva el treball en aspectes propers, que poden ajudar a resoldre'l finalment. D'aquesta manera, els problemes oberts actuarien com a element de motivació.

4.2.6 La seqüència i la conversa

En aquesta secció ens proposem comparar el que en el disseny de la seqüència s'havia previst que passaria amb el que realment ha succeït al llarg de l'entrevista. Comprovar un encaix sòlid entre previsions i realitat és la clau de vola d'aquest treball.

El gruix de la conversa analitzada correspon a la part de la seqüència que va de l'exercici 37 al 40. S'hi ha afegit també el 43g, que resol el que s'havia introduït en l'exercici d'exploració 32b. Per això prendrem per referència les previsions de la taula 3.3, que recollia l'estratègia cognitiva central de la seqüència, complementada amb el que s'havia previst per a l'exercici 43g (taula 3.5). Ho utilitzarem per comparar-la amb el que ha succeït durant l'entrevista.

Dubte a resoldre	Seqüència		Conversa	
	Exercici	Satisfacció esperada	Intervenció de l'alumne	Satisfacció detectada durant el procés / al final
P varia amb la fondària?	32d = 37a	COH? COR?	34-53	COH-
Funcionament del dispositiu	38a	(COH+ COR+)	60-70	COR+ ROB+
Disseny de l'experiment	b	COH+	71-75	COH+
Què succeeix?	c	COR+	76-78	COR+
Conclusió?	d	COR+ ROB+	"	"
Direcció P?	32a = 37b	COH? COR?	2-9	*COH+
Disseny de l'experiment	39a	COH+	79-92	COH- / COH+
Què succeeix?	b	COR+	93-100	COR- / COR+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	101-103	COR+
Deformació de la pilota?		ROB+	104-119	ROB- COH- / COH+
Efecte cova?	32d = 37c	COH? COR?	54-59	COH-
Disseny de l'experiment	40a	COH+	120-125	COH+
Què succeeix?	b	COR+	126-134	COR- COH- / COR+ COH+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	135-139	ROB+
...				
Menor pes submergit?	32b	COH-	10-33	COH- ROB-
Menor pes submergit?	43g	ROB+	140-153	ROB+ COH+ COR+

Taula 4.19. Comparació entre els exercicis 37, 38, 39, 40 i 43g de la seqüència amb les intervencions de l'entrevista i els seus resultats a l'entrevista. S'indiquen amb fons de color els exercicis o intervencions pensades per constatar un problema, i amb fons blanc els que corresponen al procés de resolució. L'única resposta que resulta satisfactòria per a l'alumne però que no és admissible des del punt de vista científic s'ha assenyalat amb un *asterisc vermell. Les cometes indiquen que és el mateix resultat anterior.

Amb aquesta finalitat s'ha recollit a la taula 4.19 (més amunt) la correspondència entre les preguntes de la guia de l'alumne amb les parts de la conversa on s'han tractat, comparant els resultats esperats amb els aconseguits pel que fa a la satisfacció de l'alumne amb els seus propis models.

L'anàlisi d'aquesta taula de resultats permetrà respondre parcialment la *segona pregunta de recerca*, que veurem a continuació, així com la *tercera pregunta de recerca* (PR3) al capítol 5.

4.3 LA CONVERSA ESTUDIADA SATISFÀ ELS REQUERIMENTS EPISTEMOLÒGICS I PSICOLÒGICS DEL MARC TEORIC? (PR2)

Comprovarem fins a quin punt es compleixen els cinc criteris establerts a l'apartat 4.1.2b que garanteixen que efectivament la conversa estudiada s'ha desenvolupat seguint els requeriments psicològics (criteris 1, 2 i 3) i epistemològics (criteris 4 i 5) del marc teòric escollit.

4.3.1 Pel que fa a insatisfacció amb els models, la seva reconstrucció i oportunitats per fer-ho (criteris 1,2,3)

Criteri 1. "Detecta insatisfacció (manca de coherència, correspondència o robustesa) envers els models mentals propis, mitjançant els quals raona sobre els sistemes en estudi"

L'alumne ha anat enfrontant-se als diversos sistemes amb els seus propis models mentals (taules 4.2 a 4.12). El professor ha pogut fer un seguiment del procés prou aproximat, adreçant les preguntes a aclarir-ne les ambigüitats, seguint la tècnica *teach-back*, mitjançant les 74 intervencions (taula 4.13) indicades amb color granat en les taules esmentades. Al llarg del procés s'ha detectat algun tipus d'insatisfacció en 13 ocasions, un nombre reduït si el comparem amb les 69 vegades que el model mental ha resultat satisfactori (taula 4.15) d'un total de 154 intervencions de l'alumne.

L'alumne, doncs, ha estat conscient de les dificultats del seus models mentals en totes aquelles ocasions que, des del punt de vista de l'entrevistador, li han fallat. Per tant, podem considerar que aquest criteri s'ha complert.

Criteri 2. "Reconstrueix el seu model quan el considera insatisfactori"

La seqüència estava pensada per generar dubtes en determinats moments (37a, 37b, 37c, 32b) (taula 4.19) sobre alguns sistemes. Els resultats de la taula 4.19 mostren que això ha succeït en tots els casos –ja sigui de forma immediata o diferida– donant sempre peu a la cerca de solucions, procés que també ha produït els seus moments insatisfactoris fins que tard o d'hora sempre s'ha aconseguit una solució satisfactòria.

Així, doncs, podem dir que aquest criteri s'ha complert en tots els casos.

Criteri 3. "La seqüència li ofereix oportunitats per revisar i reconstruir els seus models mentals insatisfactoris"

La taula 4.19 mostra que la part de seqüència que segueix l'entrevista gira a l'entorn de quatre problemes, mentre que a la fig. 4.3 es pot observar que al llarg de l'entrevista han sorgit, i s'han solucionat, cinc problemes.

El primer de la seqüència (taula 4.19) és la dependència de la pressió amb la fondària. L'alumne utilitza un model mental sobre l'efecte de la cova en la pressió que sap que no és correcte (problema 4 de l'entrevista, fig. 4.3) perquè li ho ha dit la professora, però considera correctament i sense problema que la pressió augmenta amb la fondària. La seqüència li ofereix l'oportunitat de fer un experiment per comprovar-ho, però el problema de la cova resta, de moment, sense resoldre.

El segon problema és la direcció de la pressió dins de l'aigua (problema 2 de l'entrevista). Pensant sobre la pilota submergida considera que la pressió actua per damunt i per sota, aixafant-la per dalt i per baix; una resposta no acceptable científicament però que per a l'alumne és satisfactòria. Llavors la seqüència preveu aclarir-ho experimentalment i el resultat, al mostrar que el seu model no és corresponent, l'impulsa a modificar-lo en la direcció correcta. L'alumne espontàniament resol de forma correcta el problema de la pilota, plantejant un centenar d'intervencions enrere.

El tercer problema a resoldre era el de la cova (de nou el problema 4 de l'entrevista), pendent de resoldre des del principi. La seqüència aposta també per resoldre-ho experimentalment, cosa que efectivament s'aconsegueix.

El darrer problema a resoldre era el del pes aparent d'un objecte dins de l'aigua (problema 3 de l'entrevista). La seqüència no demana explícitament que es comprovi experimentalment, però durant l'entrevista es va fer per assegurar que el fenomen existia i no era cap il·lusió. Però quedava per explicar-ne els motius, i això succeeix (exercici 43g), de forma satisfactòria, després d'aclarir experimentalment que la pressió només depèn de la fondària.

Els problemes 1 i 5, que han aparegut a l'entrevista, no hi estaven previstos, però s'han solucionat amb facilitat.

En definitiva, podem afirmar efectivament, que la seqüència ofereix els recursos necessaris per anar trobant solucions a totes les característiques insatisfactòries dels models mentals de l'alumne sobre els sistemes estudiats, de manera que el criteri els complex amb claredat.

Criteri 4. "Realitza accions en totes les dimensions del model d'activitat científica escolar"

Repassem-les una per una:

- a) **Sistemes i models mentals.** Discutint els criteris 1, 2 i 3 ha quedat ja documentat de quina manera l'alumne ha utilitzat els seus models mentals per preveure i explicar el funcionament dels sistemes en estudi, ha detectat la insatisfacció quan es produïa. I com això l'empenyia a buscar-hi solucions reconstruint adequadament el seu model. I també com la seqüència ha aportat els sistemes i els recursos necessaris perquè li resulti viable.
- b) **Percepció, acció i tecnologia.** La percepció dels sistemes estudiats ha estat ajudada per l'instrument detector de pressió i pel dinamòmetre utilitzat per comprovar la variació del pes aparent d'un objecte al submergir-lo. L'alumne ha pogut actuar tant sobre l'aigua a diferents profundi-

tats com sobre un objecte per submergir. Tot plegat li ha servit per interaccionar amb els sistemes per estudiar-ne algun comportament i obtenir-ne informació.

- c) **Emoció.** Hem detectat 13 situacions diferents (taula 4.15) d'insatisfacció de l'alumne amb els seus propis models, algunes de les quals s'han mantingut actives durant algunes intervencions posteriors. Hem detectat 11 respostes emocionals explícites (taula 4.15), que en tots els casos ha consistit en riure. La confusió o dubte (taula 4.16) que l'alumne evidencia en 4 casos, així com el malestar perquè el que pensa sobre algun sistema també en 4 vegades no coincideix amb el que en deia la professora, són indicis de viure la situació amb un contingut emocional relativament intens, clarament negatiu en tots els casos que acabem d'esmentar. Aquestes puntes emocionals no les hem detectat quan la conversa discorre sense problemes, quan, al contrari, s'ha mostrat confortable amb el seu model mental del sistema, apart de si és o no científicament correcte.
- d) **Objectius compartits i personals.** Els objectius compartits s'han presentat al començament de l'activitat mitjançant les preguntes sobre els sistemes inicials, i han condicionat totalment la resta de la conversa: es tractava de predir o explicar el comportament d'aquests sistemes, un objectiu que s'ha perseguit de forma activa durant tota la conversa. Finalment l'alumne, a partir de la interacció amb el professor que l'entrevistava, ha resolt, com hem vist, tots els problemes que li han anat sorgint, de forma compatible amb les explicacions acceptades científicament. Això ha satisfet els objectius comuns, doncs el comportament de tots els sistemes proposats ha rebut explicacions satisfactòries per a tots dos interlocutors.
- Pel que fa a objectius personals, l'alumne ha avançat envers el seu objectiu d'aprovar el curs (ho expressa en les intervencions finals) i de fer un bon paper quan –complint la demanda de la professora– ho exposi a

classe. L'entrevistador també ha avançat en el seu objectiu d'aconseguir una entrevista útil per a la recerca, en el desenvolupament de la qual l'alumne ha anat aprenent clarament, tot millorant els seus models mentals. (Com a educadors, tenim la sensació –que no podem demostrar de forma adequada– que l'alumne també ha avançat en la millora de la seva autoestima, veient la implicació i satisfacció que mostra durant la conversa i sobretot al final).

- e) **Llenguatge.** A part del corporal, el llenguatge utilitzat ha estat pràcticament tot en forma oral (l'excepció és el diagrama que dibuixa el professor a la intervenció 83P), fent referència a entitats, propietats i comportaments adequats al nivell d'anàlisi. Hem detectat ambigüitats en el llenguatge utilitzat per l'alumne, per exemple respecte a què és el que fa l'aigua: “*pressió*”? “*força*”? la “*força de la pressió*”? Per la dinàmica de la conversa no ens ha interessat entrar-hi, però és evident que en una classe caldria haver entrat en aquestes ambigüitats i tractar de resoldre-les, per aclarir i diferenciar el significat de força i de pressió, que ja s'ha treballat abans. (En el context escolar també seria bo que els alumnes redactin la descripció del procés seguit per aclarir els dubtes. Es podia haver demanat a l'entrevista, però l'acord semblava prou clar).

Finalment és destacable com el sistema format per l'aigua d'un recipient s'identifica amb el mar: el primer fa de model del segon o, encara millor, en realitat es parla d'un sistema genèric que es refereix indistintament a un i altre casos concrets.

- f) **Comunitat.** La petita comunitat formada per dues persones ha anat avançant cap a la consecució dels objectius comuns, explicats més amunt, amb implicació comuna i buscant arribar a acords per consens. (En el context de l'aula, una conversa d'aquestes característiques, realitzat entre el professor i un alumne que fa els experiments o amb tot el grup classe de forma oberta, és molt semblant al descrit aquí, i sol produir-se amb bona participació i mostres d'interès de l'alumnat).

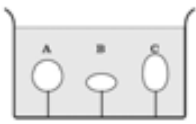

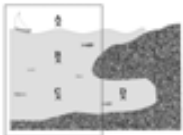

L'experiència sembla indicar que és més fàcil que la comunitat de l'aula s'impliqui en aquesta mena de converses en cerca de consens, si es fa, com en l'entrevista analitzada, partint de problemes relacionats amb la seva experiència, utilitzant entitats i propietats al seu abast, buscant situacions que els creïn insatisfacció amb els seus propis models i creant així la motivació per a la seva reconstrucció; en tot cas, tot això són aspectes que caldria estudiar en altres recerques).




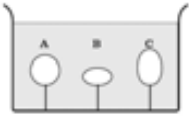
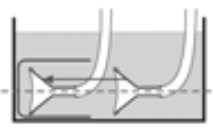
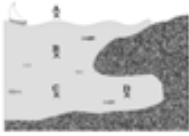

- g) **Valors.** Durant tot el procés han estat vigents un munt de valors per regular els processos i assegurar que es fan correctament per poder arribar a l'objectiu de aclarir (predir o explicar) el comportament dels sistemes. Però, com passa sovint, només s'apela als valors quan són vulnerats, posant llavors en perill l'assoliment dels objectius. En alguns casos, quan la dificultat s'ha fet evident, s'han hagut de discutir explícitament: entre altres, seria el cas de plantejar la forma correcta d'investigar si la pressió a dins de l'aigua depèn de la direcció, anant en compte de mantenir la fondària quan inclinem l'embut, per evitar arribar a conclusions incorrectes; o els esforços de l'entrevistador per centrar la conversa en el pensament de l'alumne i no el d'altres persones, per evitar així d'allunyar-se del seu objectiu d'obtenir dades sobre el seu raonament, els intents per llegir correctament les mesures del dinamòmetre per evitar que doni la mateixa lectura quan l'objecte està submergit i quan no, etc.

Criteri 5. "Construeix coneixement d'acord amb les condicions epistemològiques que estableix el model d'activitat científica escolar (sobre mètode, objectius, racionalitat i realisme)"

Vegem si la construcció de coneixement per part de l'alumne durant l'entrevista s'ha realitzat d'acord amb les opcions epistemològiques triades:

a) **Mètode.** Conduir la conversa amb la tècnica *teachback*, de manera que l'entrevistador elabora la seva rèplica adreçant l'atenció a les ambigüïtats detectades en el model mental de l'alumne, ha conduït repetidament l'alumne o bé a concretar millor el seu model mental o bé a evidenciar que en aquell moment necessitava revisió. En aquest cas, o bé ho resol amb certa immediatesa o bé s'aparca el problema fins a disposar de més elements. Tots els problemes plantejats han estat resolts, en el sentit que tots els sistemes han acabat trobant una explicació satisfactòria, és a dir un model mental *coherent, corresponent i robust*. El mètode de construcció de coneixement s'ha basat, per tant, en la preservació en tot moment del Principi Causal, que ha actuat com a força impulsora dels aprenentatges i com a fonament epistemològic per a l'alumne. Per aconseguir-ho s'ha recorregut en un moment o altre, per a la gran majoria de sistemes, a l'experimentació directa, concretament en 6 dels 7 sistemes estudiats (taula 4.20). Al final de l'entrevista, només el sistema de la pilota submergida (s1) no s'ha investigat experimentalment.

	Sistema	S'ha investigat experimentalment en el moment de parlar-ne?	S'ha investigat experimentalment en un altre moment?
cas 1 s1		no	no
cas 2 s2		sí	
cas 3 s3		no	sí, posteriorment
cas 4 s4		no	sí, posteriorment

cas 5 s5		sí	
cas 6 s6		sí	
cas 7 s6		sí	
cas 8 s1		no	
cas 9 s7		sí	
cas 10 s3		no	sí, anteriorment
cas 11 s2		no	sí, anteriorment

Taula 4.20. Sistemes estudiats durant l'entrevista, indicant quan s'han investigat experimentalment. Només el sistema s1 ha quedat sense experimentar.

En definitiva, el mètode utilitzat per l'alumne en la construcció de coneixement ha estat vetllar pel compliment del *principi causal*, amb la participació no només de la dimensió cognitiva sinó també de tota la resta de dimensions, com hem vist a l'apartat 4.2.4 i recollit gràficament en la figura 4.1.

b) **Objectiu.** En tot el procés de l'entrevista l'objectiu de l'alumne ha estat encaixar el seu model mental amb el comportament del sistema d'una forma que li resulti satisfactòria: coherent, corresponent i robusta. Per

aconseguir-ho ha realitzat diversos ajustos fins a aconseguir de resoldre els cinc problemes (fig. 4.2) que li han anat sorgint. Per això podem dir que ha aconseguït l'objectiu de *predir* i *explicar* el comportament dels diversos sistemes que se li han presentat.

Aquest objectiu es pot considerar subordinat a un altre, que apareix a la intervenció 115A: poder explicar-ho a la resta de la classe, un objectiu que sembla que acaba veient clar (117A). I al seu torn, aquest pot estar subordinat a un altre objectiu més general de l'alumne: aprovar amb bona nota (154A). Per tant, els diferents nivells d'objectius van encaixant i apunten a fites successives.

- c) **Racionalitat moderada.** Al llarg de tot el procés l'alumne no ha actuat pas com si estigués compromès amb els seus models mentals d'una forma categòrica, doncs no les considera veritats exactes ni definitives, ja que no té cap problema per posar-los en revisió indefectiblement cada vegada que li resulten insatisfactoris. Llavors, intentant de preservar el Principi Causal, aconsegueix reconstruir els models mentals fins que els consideri satisfactoris. Amb aquest comportament demostra estar utilitzant una racionalitat moderada, no categòrica.

(Si en la nostra entrevista l'alumne va buscant pel seu compte fins que troba solució als problemes, en un context d'aula la conversa entre els participants es desenvolupa d'una forma molt semblant fins arribar a un consens de tot el grup i el professor).

- d) **Realisme moderat.** L'alumne ha mostrat que considera que els seus models mentals es corresponen amb el comportament del món, i sap que de vegades els haurà de millorar; és per això que, a la pràctica, el seu realisme no és absolut, sinó sempre provisional i revisable quan no resulta satisfactori. Per aquest motiu podem afirmar que es tracta d'un realisme moderat.

4.3.2 Conclusions: Responent PR2 i valor del mètode utilitzat

Responent PR2

Vist l'anterior, podem afirmar, en resposta a la **segona pregunta de recerca, PR2**, que *la conversa estudiada es desenvolupa seguint de manera molt propera els requeriments tant epistemològics com psicològics del marc teòric triat.*

Constatar-ho és important per poder formular correctament resultats de recerca generalitzables.

Valor del mètode utilitzat

Per altra banda, tant el **mètode d'anàlisi** com el **llenguatge** que hem creat i utilitzat, s'han completat per poder realitzar l'anàlisi de la conversa, sobretot per posar de relleu les diverses interaccions i les reaccions emocionals.

Mètode i llenguatge, degudament completats, també aquí s'han mostrat útils per observar el recorregut cognitiu i emocional realitzat.

De forma semblant al que hem constatat amb l'anàlisi de la seqüència (apartat 3.4.3), la utilitat del mètode en aquest treball i la possibilitat de ser aplicat a l'anàlisi d'altres converses constitueix un *resultat inesperat* de la nostra recerca.

5

Conclusions i discussió

En aquest capítol de conclusions començarem recopilant les respostes a **PR1** i **PR2**, que mostren que tant la seqüència dissenyada com la conversa analitzada són **coherents** amb el marc teòric escollit (el model d'*activitat científica escolar* i el model *ONEPSI*). També farem una valoració del **mètode** que ens ha permès analitzar la seqüència i la conversa, tot plegat a l'apartat 5.1.

Seguidament intentarem determinar si el que preveu la seqüència estudiada es **correspon** amb el que succeeix quan un alumne s'involucra en un diàleg sobre el seu coneixement dels sistemes proposats (apartat 5.2, **PR3**).

I també ens proposem establir allò que ha estat necessari per aconseguir l'èxit, tant pel que fa a la seqüència (apartat 5.3, **PR4**) com a la conversa (apartat 5.4, **PR5**). D'aquesta manera intentarem aconseguir resultats generalitzables, que puguin resultar útils en altres situacions semblants, cosa que demostraria que els principis utilitzats en l'elaboració de la nostra seqüència també són **robustos**.

Aquests quatre apartats (de 5.1 a 5.4) componen les nostres **conclusions**, i finalment (5.5) en farem una **discussió** centrada en alguns dels seus aspectes.

(Per facilitar-ne la lectura, les referències a taules o figures de capítols anteriors les acompanyarem de les seves reproduccions).

5.1 LA COHERÈNCIA AMB EL MARC TEORIC (PR1 I PR2) I EL VALOR DEL MÈTODE D'ANÀLISI

Amb la finalitat de recollir totes les conclusions en aquest capítol, recordarem les respostes a PR1 i PR2 –ja formulades als apartats 3.4.3 i 4.3.2 respectivament– i la manera com hi hem arribat. També comentarem la utilitat del mètode utilitzat.

5.1.1 La coherència amb el marc teòric (PR1 i PR2)

a) Coherència de la seqüència amb el marc teòric, PR1

PR1: *La seqüència estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat?*

Per respondre-ho hem analitzat la seqüència, de manera que per a cada pregunta de cada exercici hem pogut establir: el sistema que es presenta, els referents dels que l'alumnat disposa per comprendre el funcionament del sistema, el model mental que permetrà inferir la resposta a la pregunta, el coneixement generat (si és el cas), l'estat emocional que es preveu generar en l'alumnat, i finalment les rutes que, connectant les respostes a diverses preguntes, permetran resoldre les insatisfaccions amb el model mental. Tots aquests processos s'han pogut descriure amb narracions racionals. A continuació hem analitzat una per una les dimensions de *l'activitat científica escolar* i hem comprovat que la seqüència permet que l'alumnat les pugui recórrer totes de forma activa i determinant. Per acabar hem comprovat que la seqüència compleix els requeriments epistemològics de mètode, objectiu, racionalitat i realisme.

Resposta: *La seqüència estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat: el model d'activitat científica escolar i el model ONEPSI.*

b) Coherència de la marxa de la conversa amb el marc teòric, PR2

PR2: *La conversa estudiada satisfà els requeriments epistemològics i psicològics del marc teòric triat?*

Quan hem analitzat la conversa hem observat que l'alumne, al construir i executar els seus models mentals dels sistemes en estudi, recorre un seguit d'estats emocionals que poden ser de satisfacció amb els seus models mentals o d'insatisfacció. En aquest darrer cas, emprèn la reconstrucció dels models mentals ajudat eficaçment pels recursos que li ofereix la mateixa seqüència.

També hem mostrat que l'alumne realitza accions rellevants en totes les dimensions de *l'activitat científica escolar*: sistemes i models mentals; percepció, acció i tecnologia; emoció; objectius compartits i personals; llenguatge, comunitat i valors. Fi-

nalment hem comprovat que la conversa compleix els requisits establerts de mètode, objectius, racionalitat i realisme.

Resposta: *La conversa estudiada es desenvolupa seguint de manera molt propera els requeriments tant epistemològics com psicològics del marc teòric triat.*

5.1.2 El valor del mètode d'anàlisi

Les anàlisis de la seqüència i de la conversa han estat possibles perquè a partir del marc teòric d'aquest treball hem pogut utilitzar unes categories d'anàlisi i crear unes noves formes de representació –un llenguatge simbòlic– que ens han ajudat eficaçment a completar les anàlisis i a presentar-ne els resultats.

Aquestes categories i aquest llenguatge ens han permès entrar en detalls de la seqüència i –sobretot– de la conversa, que han fet possible evidenciar-ne aspectes cognitius, socials i emocionals que fins ara no havien estat gaire assequibles a altres mètodes d'anàlisi o de representació. Aquest llenguatge és un resultat inesperat que, més enllà del seu valor instrumental per a aquest treball, pot resultar útil per seguir aprofundint en aquest camp d'estudi.

5.2 LES PREDICCIONS COGNITIVES I EMOCIONALS PREVISTES A LA SEQÜÈNCIA ES COMPLEIXEN EN LA CONVERSA? (PR3)

Els resultats exposats a la taula 4.19 (reproduïda a la fig. 5.1) –on comparàvem l'itinerari previst a la seqüència amb els resultats de la conversa– presenten algunes característiques interessants que exposem tot seguit.

Dubte a resoldre	Exercici	Satisfacció esperada	Intervenció de l'alumne	Satisfacció detectada durant el procés / al final
P varia amb la fondària?	32d = 37a	COH? COR?	34-53	COH-
Funcionament del dispositiu	38a	(COH+ COR+)	60-70	COR+ ROB+
Disseny de l'experiment	b	COH+	71-75	COH+
Què succeeix?	c	COR+	76-78	COR+
Conclusió?	d	COR+ ROB+	"	"
Direcció P?	32a = 37b	COH? COR?	2-9	*COH+
Disseny de l'experiment	39a	COH+	79-92	COH- / COH+
Què succeeix?	b	COR+	93-100	COR- / COR+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	101-103	COR+
Deformació de la pilota?		ROB+	104-119	ROB- COH- / COH+
Efecte cova?	32d = 37c	COH? COR?	54-59	COH-
Disseny de l'experiment	40a	COH+	120-125	COH+
Què succeeix?	b	COR+	126-134	COR- COH- / COR+ COH+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	135-139	ROB+
...				
Menor pes submergit?	32b	COH-	10-33	COH- ROB-
Menor pes submergit?	43g	ROB+	140-153	ROB+ COH+ COR+

Figura 5.1. Taula 4.19.

Aquests resultats els hem reproduït, de forma encara més condensada, a la fig.

5.2.



Figura 5.2. Síntesi dels resultats de la taula 4.19 (fig. 5.1), amb els mateixos codis de color, comparant els resultats efectivament obtinguts a la conversa (fons blau) amb els esperats (sense color de fons). El cercle verd amb asterisc indica satisfacció tot i que la inferència era científicament incorrecta.

Tots menys un dels exercicis (o intervencions) pensats com a primer contacte amb el problema amb la intenció de generar-hi dubtes, han complert la seva funció de forma immediata.

En el cas indicat amb l'asterisc no s'hi ha generat dubte immediat. És degut al fet que en aquell moment l'alumne no hi veu conflicte, tot i contradir la postura científica. Això no impedeix que més endavant efectivament s'adoni del problema i trobi la manera de resoldre'l, amb el consegüent aprenentatge. Aquí l'efecte s'ha produït igualment, però de forma diferida.

En definitiva, tots els exercicis d'exploració han complert la seva funció, sigui de forma immediata o diferida.

També és visible que alguns processos de resolució no són lineals fins a l'èxit sinó que s'entrebanquen en diverses qüestions conflictives fins que finalment, sense excepció, acaben per resoldre's satisfactòriament amb el model mental previst.

El curs de la conversa segueix molt de prop el guió de la seqüència. Això evidenciaria que es tracta d'una seqüència madura, prou adaptada a les característiques d'un alumne de nivell mitjà.

L'única excepció en aquest estret seguiment és la part de conversa que comença a la intervenció 104, iniciada pel mateix alumne a l'adonar-se que el que acaba d'aprendre sobre la direcció de la pressió resol el problema de la pilota submergida (problema 2 a la fig. 5.3), tractat a l'inici de la conversa (intervencions 10 a 33). Mostra que ha mantingut el problema obert durant desenes d'intervencions fins que ha trobat la manera de resoldre'l.

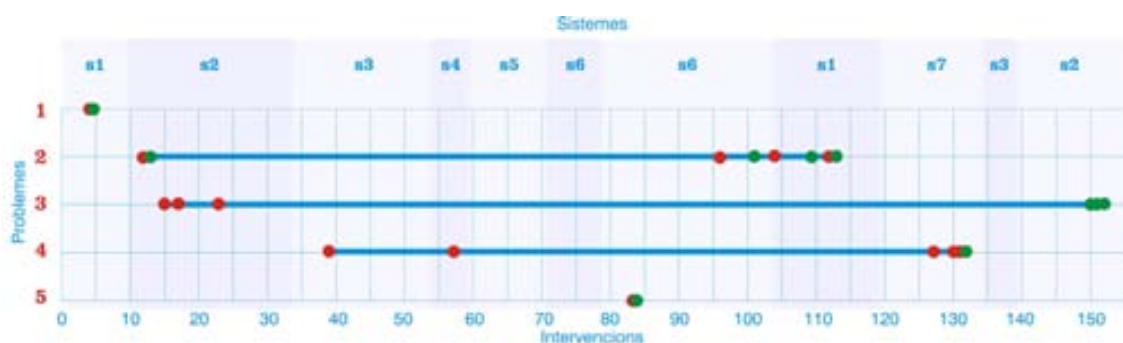


Figura 5.3. Fig. 4.4. Resum gràfic de l'evolució dels problemes apareguts durant la conversa: el problema 2 fa referència a la direcció de la pressió dins de l'aigua.

L'exercici 32b –que pregunta sobre els motius perquè una pedra submergida sembli pesar menys que a fora de l'aigua– no surt a l'anàlisi de la seqüència feta en el capítol 3 degut a que no s'utilitza de forma explícita en la seqüència escrita quan més tard, a l'exercici 43g, es resol el problema que s'havia plantejat força abans. Tot i així, és evident que la seva funció és de generar un problema a l'alumne que de moment no pot solucionar amb les seves idees; un paper idèntic al que ha tingut a la corresponent secció de la conversa i que també ha mostrat la seva eficàcia quan el mateix alumne ha tornat a abordar el problema quan ha disposat d'elements suficients per resoldre'l.

En definitiva, a la conversa s'han abordat els sistemes previstos a la seqüència i s'han generat les insatisfaccions esperades, totes de forma immediata excepte una, resolta de forma diferida. Les situacions s'han resolt per les vies esperades, encara que han sorgit dificultats pel camí que han creat insatisfaccions no previstes explícitament a la seqüència i que s'han anat solucionant amb certa facilitat.

Així doncs, ara ja podem respondre la **tercera pregunta de recerca**:

PR3: *Les prediccions cognitives i emocionals previstes en el disseny de la seqüència es compleixen en la conversa?*

Resposta: *El procés seguit per l'alumne durant la conversa s'ha produït de la forma prevista a la seqüència. Hi han aparegut insatisfaccions addicionals, afegides a les previstes, i totes elles les ha pogut anar resolent de forma satisfactòria.*

Aquest és un resultat crucial per a la nostra recerca, ja que mostra la correspondència entre el que s'ha previst en el disseny de la seqüència i el que ha succeït al llarg de l'entrevista. Tot i haver-hi sorgit més entrebancs dels previstos, l'alumne ha estat capaç de superar-los, seguint la ruta prevista.

5.3 QUINES CARACTERÍSTIQUES DE LA *SEQÜÈNCIA* LA FAN DIDÀCTICAMENT PRODUCTIVA? (PR4)

A partir de l'anàlisi de la seqüència, feta en el capítol 3, intentarem extreure'n aquelles característiques que semblen essencials per al seu bon funcionament, així com altres que puguin resultar convenients, contemplades des del nostre marc teòric. Per fer-ho, seguirem una estructura molt semblant a la que abans hem utilitzat per a la seva anàlisi.

5.3.1 Sistema

El disseny de la seqüència passa per pensar i organitzar un **seguit de sistemes** perquè l'alumnat sigui capaç de treballar-hi amb la finalitat de comprendre'n el seu **funcionament**. Això requereix com a mínim tant un coneixement suficient de la **matèria** com de les **dificultats** típiques de l'alumnat, i tenir en compte les **peculiaritats** del propi alumnat.

La comprensió d'aquests sistemes per part de l'alumnat li ha de poder permetre **generar nou coneixement**, que s'ha de poder **aplicar** a altres sistemes d'interès ciutadà, de forma progressivament més autònoma per part de cada alumne. L'estructura del clàssic **cicle d'aprenentatge** s'adapta bé a aquest procés, excepte pel que fa a la fase d'*aplicació*, que es pot entendre com una sèrie de cicles niats uns dins dels altres com nines russes.

Cal preveure la forma d'aconseguir que cada alumne pugui fer **evolucionar** el model mental que s'ha construït de cada sistema estudiat, per anar-lo fent més satisfactori a mida que hi va aplicant el *principi causal*. Això passa per l'organització d'alguns sistemes socials de **regulació** eficaç a l'aula, un dels més determinants dels quals és la conversa tipus *teachback*.

5.3.2 Referents per a la construcció de cada model mental

Per a cadascun dels sistemes estudiats cal preveure la forma de facilitar la construcció del corresponent model mental satisfactori per part de cada alumne. El primer pas, construir-ne la **topologia**, sembla fer-se sense problemes si el sistema proposat es presenta amb claredat i es tracta de components prou coneguts. Per a aquells casos que s'hi esperen dificultats, cal preveure alguna activitat pensada perquè l'alumnat pugui entendre quins components hi ha i com es relacionen, ressaltant-ne determinades propietats. És el que en la seqüència analitzada es pretén quan es fa dibuixar el detector de pressió, donant peu a una activitat optativa, però molt recomanable, de descripció del seu funcionament, ja que és l'explicitació del model mental de qui la realitza.

Moltes vegades és raonable que aquesta construcció i reconstrucció es pugui fer **aprofitant** el que s'ha construït en sistemes anteriors, sobretot si són recents. Per a això aquest sistema auxiliar hauria de **compartir** alguns aspectes clau prou similars amb el sistema que es treballi, siguin components, propietats, regles o dinàmica de funcionament, per poder transferir-los-hi amb agilitat i profit; recordem, per exemple, el cas de la seqüència (exercici 35, sistemes 6 i 7) que estudia la pressió que fan dos cubs de diferent mida, i que serveix per aplicar-ho a dues formigues. En el nostre estudi no hem trobat dificultats en utilitzar fins i tot un sistema en lloc d'un altre que es considera equivalent (recordem el cas del mar, estudiat a classe mitjançant aigua en un recipient) o un que hi tingui connexions que l'alumne pugui considerar rellevants (com en la deformació de la pilota, resolta mitjançant canvis en un detector de pressió). Això ens fa pensar que en aquests casos en realitat no s'està treballant amb un o altre sistema, sinó amb un de **genèric** que els abraça tots dos.

5.3.3 Reconstruccions del model mental

Aquest procés està regulat per la necessitat de **coherència**, **correspondència** i **robustesa** del model mental. Per tant, l'estratègia passa per **crear insatisfacció** amb algun d'aquests tres criteris envers els models mentals previsibles del alumnes, i oferir

a continuació **recursos** que facin possible que cada alumne pugui **solucionar-ho** adequadament. Per exemple, quan hem preguntat el motiu que costi menys sostenir un objecte submergit hem generat insatisfacció amb les pròpies explicacions, que s'ha pogut solucionar posteriorment després de fer experiments i descobrir algunes regles de comportament (o lleis) sobre la pressió dins de l'aigua.

És molt recomanable que la majoria de preguntes s'hagin de contestar mitjançant la construcció del corresponent model mental i la seva **execució**. En la gran majoria de les preguntes de la seqüència analitzada, aquest procés ha consistit en obtenir el valor (qualitatiu o quantitatiu) d'una o diverses propietats, **inferint-lo**, mitjançant l'execució del model mental, a partir d'una o diverses propietats conegudes i del coneixement de la topologia del sistema. Això inclou la **predicció** o l'**explicació** del comportament del sistema. Un altre tipus d'inferència consisteix en **anticipar** una acció, física o mental, que requereix també la construcció del corresponent model mental.

En altres casos es demana quin és el comportament real d'un sistema, cosa que obliga a rememorar-lo o bé a **observar-lo** experimentalment, sense necessitat d'inferències.

És necessari que l'alumnat compti amb els **recursos** i les informacions necessàries perquè aquests processos els resultin viables. Per exemple, tots els elements necessaris per acabar fent funcionar el model mental haurien de poder funcionar ells mateixos, és a dir, haurien d'estar prou assimilats per l'alumnat, cosa que requereix suficient experiència i temps.

En l'anàlisi hem observat que en algunes ocasions era possible fer més preguntes o comprovacions de les que es demanaven (vegeu la taula 3.2 a la fig. 5.4, on hi ha avaluacions entre parèntesis, indicant *accions optatives*). Considerem que és recomanable **no incorporar** en el material didàctic de l'alumnat totes les preguntes i accions possibles, ja que ho faria molt feixuc. L'alternativa és posar-hi allò que trobem més important i fer arribar aquestes altres opcions al professorat mitjançant la corresponent guia didàctica. El professor pot utilitzar o no aquests recursos en la mesura que ho vegi convenient segons el seu propi criteri.

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
36 intro	S8 atmosfera genèric	S3, R3b	M	-ja proporcionada-	R8 $P_{atm} = 1 \text{ kp/cm}^2$	COR? COR-	
36a	S9 palmell mà	S8, S3 R8, R3b	M	P → P mides → força		COR- ROB-	
36b	S10 ventosa	S8, S9 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	
36c	S11 llauna	S8, S10 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	
36d	S12 finestra	S8, S11 R3b, R8	M	P → P mides → força		COR? ROB?	

Figura 5.4. Taula 3.2: Anàlisi de l'exercici 36 sobre el valor de la pressió atmosfèrica.

5.3.4 Arribant a conclusions, creant nous coneixements

La finalitat de l'estudi dels sistemes és la generació de nou **coneixement generalitzable**, útil per a altres sistemes. La clau és independitzar els resultats respecte del sistema *específic* per al qual han estat construïts. Això s'aconsegueix construint un sistema **genèric** que recull només aquelles entitats, propietats i regles del sistema necessàries per explicar el seu funcionament, deixant les altres sense concretar. Les inferències realitzades amb sistemes *genèrics* serveixen per als corresponents sistemes *específics*: aquesta seria la base de la *generalització*. Per exemple, la diferent pressió a diferent fondària, comprovada en un sistema real, explica que tots els objectes submergits rebin una força ascensional. Des d'aquest punt de vista, una seqüència ha d'entendre's com un procés de *generació* i *utilització* de **models mentals de sistemes genèrics**.

La forma que hem utilitzat per recollir i formular aquest coneixement és en forma de **regles** escrites acuradament. Sembla convenient destacar-les gràficament per ressaltar-ne la importància, consensuant la seva formulació precisa amb l'alumnat.

Hem trobat dos tipus de regles: les que descriuen el **comportament** del sistema i les que pretenen precisar i simplificar el **llenguatge**, fent-lo més especialitzat i ajudant

a construir una comunitat amb un llenguatge propi, llenguatge que es va aproximant al de la corresponent disciplina i la seva comunitat. Les quatre regles de llenguatge que es preveuen generar a la nostra seqüència corresponen a quatre funcions diferents: donar nom a una propietat, escriure un càlcul en forma generalitzada (fórmula), establir el nom i símbol d'una unitat establerts per convenis internacionals, i donar nom a una regla o llei com a forma compacta de designar el corresponent model mental. Totes elles tenen un denominador comú: fer més **compacte** el llenguatge. Ignorem si en altres seqüències n'apareixeran de nous tipus.

Les regles de comportament sempre fan referència a un model genèric, i tenen una estructura **condició–afirmació**. Per exemple, *“si un objecte mòbil rep més pressió per un costat que per l'altre, anirà cap a on hi hagi menor pressió”* (R35). Però és convenient intentar que la connexió entre condició i afirmació estigui basada en l'execució del **model mental** del sistema genèric corresponent. Si no fos així seria un enunciat que no es comprèn –un cas que en un altre lloc hem anomenat **llei buida** (Izquierdo i Aliberas, 2004: 69)– i no tindria capacitat de reconstruir-se per adaptar-se a noves situacions.

Les **regles optatives**, com les accions optatives, haurien de fer-se arribar al professor perquè les utilitzi o no segons el seu propi criteri.

5.3.5 La satisfacció esperada

Una seqüència ha de considerar-se un itinerari alhora **racional i emocional**. La tensió necessària per fer avançar el coneixement prové, en tots els casos previstos en la seqüència, de la insatisfacció creada per la percepció, des del punt de vista l'alumne, de manca de **coherència**, **correspondència** o **robustesa** en el seu model mental. Per això és absolutament necessari buscar la generació de **situacions insatisfactòries** per als alumnes, perquè posin en marxa els processos per solucionar-ho. Aquest seria el mecanisme de la **motivació intrínseca** per a l'aprenentatge.

Per prudència, la proporció de situacions previsiblement insatisfactòries hauria de ser **molt minoritària**, ja que sinó podria generar un estat d'insatisfacció immanejable.

ble i descoratjador. En el nostre estudi, de 105 situacions previstes (taula 3.9) només 4 (el 3,8 %) es preveien insatisfactòries, mentre que 23 (21,9 %) quedaven dubtoses, a l'espera de les respostes dels alumnes, que poden trobar-hi dificultats que –en principi– considerem que es podran salvar sense gaires dificultats.

Creiem que cadascuna d'aquestes situacions insatisfactòries que es van resolt adequadament, sobretot si s'aconsegueix amb certa autonomia, generen una **satisfacció emocional** en l'alumnat que les viu que podria accentuar el seu **interès** per les classes de ciències i el seu convenciment de ser capaç de seguir amb profit uns estudis científics. Seria un tema important que mereixeria més investigació.

5.3.6 Resolució

La seqüència estudiada preveu la forma de donar sortida a aquestes possibles 27 situacions conflictives. En qualsevol seqüència també cal preveure la forma de **donar solució** a cadascun dels conflictes previstos (insatisfacció prevista o dubte sobre la resposta de l'alumnat). Sembla prudent fer-ho amb certa **rapidesa**: no allargar les situacions d'insatisfacció perquè podrien generar desmoralització i també per aprofitar la tensió que generen, abans que decaigui. En termes generals sembla convenient tenir **un problema actiu** obert a cada moment i no més, per poder resoldre'l de forma més ordenada. I sempre que sigui possible, procurar no deixar problemes per resoldre.

Les **accions optatives** a disposició del professorat són recursos perquè els utilitzi quan consideri que fan falta. Cada dissenyador haurà de trobar l'**equilibri** entre les accions explicitades a la seqüència i les que es deixen com a optatives. Seria interessant investigar amb quins criteris es fa.

Encara que ja no forma part del conjunt de les nostres dades, la complexitat del conjunt d'accions de la seqüència fa molt recomanable aconseguir que l'alumnat sigui capaç de fer-ne una **narració**. D'aquesta manera es garantiria que s'entén el sentit de cada acció i el paper de cada sistema, i s'explicitaria com s'ha generat i aplicat el coneixement. Correspondrà al professor decidir la forma més adequada a cada moment: oral o escrita, total o parcial, individual o de grup, durant la seqüència o al final...

5.3.7 Responent PR4

Amb el que hem obtingut fins aquí en aquest apartat (5.3) ja podem respondre la **quarta pregunta de recerca**:

PR4: *Quines característiques de la **seqüència** la fan didàcticament productiva?*

Resposta: *Perquè la seqüència sigui didàcticament productiva cal que es compleixin les característiques recollides en aquest mateix apartat 5.3, que sintetitzem a continuació, i que fan referència a:*

a) el sistema (apartat 5.3.1)

- Presentar un seguit de sistemes perquè l'alumnat n'estableixi el seu funcionament, tenint en compte les característiques de l'alumnat a qui s'adrecen.
- Cal dissenyar la seqüència de manera que permeti generar nou coneixement que cada alumne pugui aplicar amb autonomia a nous sistemes. Una estructura convenient pot ser la de *cicle d'aprenentatge*.
- Preveure sistemes de regulació a l'aula que estimulin l'evolució dels models mentals dels alumnes. Una tècnica eficaç pot ser la conversa *teachback*.

b) els referents per a la construcció de cada model mental (5.3.2)

- Facilitar que cada alumne pugui construir el seu model mental de cada sistema, assumint-ne adequadament la topologia, i aprofitant resultats d'altres sistemes suficientment semblants.

c) els processos de reconstrucció del model mental (5.3.3):

- Buscar la generació d'insatisfaccions (per manca de coherència, correspondència o robustesa) amb els models mentals previsibles dels alumnes.
- Oferir els recursos perquè l'alumnat, comptant amb les seves capacitats, pugui solucionar adequadament els models mentals insatisfactoris.

- Basar la majoria de respostes a les preguntes en l'execució del propi model mental, incloent la realització d'inferències de diverses menes: obtenir el valor d'una propietat, predir o explicar un comportament o anticipar una acció a realitzar. No s'exclouen respostes que no requereixen inferència, com les observacions.
- Posar en mans dels professors una reserva d'accions optatives, perquè les utilitzin quan considerin que cal completar les que apareixen explícitament a la seqüència.

d) l'arribada a les conclusions amb la creació de nou coneixement (5.3.4)

- Facilitar la construcció, a partir dels resultats de sistemes específics, de models mentals de sistemes genèrics que han de permetre la generalització del coneixement construït, per poder aplicar-lo a altres sistemes.
- Proposar recollir el nou coneixement sobre els sistemes, en forma de regles de comportament amb una formulació consensuada i acurada. És recomanable fer-ho de forma gràficament destacada, i amb una estructura "condició–afirmació".
- Oferir, si cal, regles optatives al professorat perquè les utilitzi o no segons el seu propi criteri.
- Introduir, en el moment que se'n vegi la necessitat, les regles de llenguatge que siguin convenients.

e) la consecució de la satisfacció esperada (5.3.5)

- La constatació de situacions insatisfactòries amb el propi model mental és la motivació intrínseca per al procés d'aprenentatge. Per això convé que la insatisfacció aparegui amb el màxim de claredat.
- No generar gaires situacions insatisfactòries simultànies, ja que podrien bloquejar el procés.
- La satisfacció generada per la resolució de les dificultats, sobretot si s'ha aconseguit de forma autònoma, pot ser important per millorar l'interès de l'alumnat per la ciència i el coneixement.

f) i la resolució dels problemes sorgits (5.3.6)

- Preveure vies per a la resolució de les situacions insatisfactòries amb certa rapidesa.
- Sembla aconsellable que l'alumnat sigui capaç de fer una narració general, oral o escrita, del procés seguit.

5.4 QUINES CARACTERÍSTIQUES DE LA *CONVERSA* LA FAN DIDÀCTICAMENT PRODUCTIVA? (PR5)

A partir dels resultats obtinguts en el capítol 4 intentarem formular les característiques pròpies d'una conversa didàcticament productiva amb un alumne (la nostra experiència ens diu que quan es tracta de tenir-la amb un grup el procés no és pas gaire diferent, però això aquí no ho estudiarem).

5.4.1 Visió general i finalitat

A cada moment la conversa hauria de centrar-se en l'anàlisi del **funcionament d'un sistema**, i procurar avançar fins a arribar al **consens** entre entrevistador i entrevistat respecte del model mental de l'alumne (o alumnes) per a cadascun dels sistemes proposats, que constitueix la **finalitat** de la conversa.

El **sistema** pot estar físicament present –i poder intervenir sobre seu– o no, depenent de si el professor preveu que en algun moment troba necessari o convenient observar-ne el comportament o posar a prova la correspondència del model mental.

5.4.2 Intervencions del professor

Cal que el professor assumeixi la **conducció** de l'entrevista per portar-la a terrenys productius utilitzant diferents tipus de criteris.

El criteri fonamental per a la productivitat és procurar en tot moment fer-se una idea del **model mental** de l'alumne a partir del que va dient, valorar fins a quin punt li resulta **satisfactori** o no, *tal com sembla que ho veu l'alumne*, i trobar-hi aspectes **ambigus**. Generar en l'alumne la necessitat d'**aclarir** aquestes ambigüitats serà la finalitat de la propera **intervenció** del professor, i també la força motriu que farà avançar la conversa, ja que l'alumne anirà reconstruint el seu model mental perquè compleixi el *principi causal*. Hem comprovat que en molts casos s'ha tractat d'identificar la causa d'un efecte, l'efecte d'una causa, la relació entre causa i efecte o fer verbalitzar alguna cosa que fins llavors només era implícita. No sabem si aquesta llista s'hauria d'allargar en l'anàlisi d'altres seqüències.

Altres criteris que hem identificat són més secundaris, però rellevants, i estan relacionats amb les diverses dimensions de l'activitat científica escolar. Són aquests:

- la conveniència d'**intervenir sobre el sistema real** i de planificar-hi l'acció, esbrinant si l'alumne prèviament coneix el *comportament* del sistema, determinant-lo si no es coneix del cert, o aclarint la forma com *s'intervindrà sobre el sistema*,
- la disposició a **col·laborar** en el progrés de la conversa mitjançant el **llenguatge**, utilitzant estratègies comunicatives com repetir el que diu l'interlocutor, iniciar una frase perquè la completi, o dir-la completa perquè la confirmi o no, demanar que precisi a què es refereix, o procurar parlar amb cura per no introduir idees que puguin resultar conflictives,
- la necessitat d'**avaluar el curs del diàleg** i prendre decisions per reconduir-lo quan calgui, aclarint –si cal– la finalitat de la conversa, establir prioritats en el seu desenvolupament, continuar pel mateix camí si constatem que encara és productiu, decidir un canvi d'estratègia quan ja no es pot avançar per una via, o decidir donar per acabat un procés i iniciar el treball d'un altre sistema,

- i l'exploració de les possibles **conseqüències socials** de la conversa, detectant la incomoditat que li provoca manifestar la seva opinió contrària a les d'alguna persona amb autoritat, o adonant-se de les conseqüències del seu aprenentatge. Aquesta mena d'intervencions van ser més provocades per l'alumne que pel professor, però segurament val la pena que es puguin verbalitzar i canalitzar.

Realment, a cada intervenció sembla que s'avaluen diversos d'aquests aspectes en molt poc temps, fent que sovint sigui difícil precisar gaire exactament quina és la que pesa més i té prioritat.

5.4.3 Intervencions de l'alumne

Cal comptar que algunes intervencions de l'alumne es formularan després d'**inferir-les** mitjançant l'execució del seu propi model mental, mentre que d'altres no dependran de cap inferència sobre el sistema. Quan hi ha hagut inferència és possible, en principi, avaluar, des del punt de vista de l'alumne, el seu grau de satisfacció. En funció que el seu resultat sigui negatiu o positiu, posarà en marxa o no el procés per solucionar-ho.

?	expressa dubte
acció	conversa centrada en l'acció que es fa o es pot fer
acord	manifesta que l'entrevistador l'ha entès
altra	ho relaciona amb el parer d'una altra persona
comp	atenció a un component del sistema
int	interromput per l'entrevistador
obs	conversa centrada en el fenomen observat
pred	prediu un resultat sense justificar-lo
prop	atenció a una propietat d'un component
social	comentari de les conseqüències socials de la conversa

Figura 5.5. Codificació de la taula 4.14.

Les intervencions **sense inferència** que hem detectat en una proporció important, corresponen a diverses funcions (vegeu, a la fig. 5.5, els codis utilitzats a la taula

4.14). Algunes corresponen a parts d'un model mental que percebem com a encara incomplet (algun component, propietat, observació del sistema, intervenir-hi), altres són generades per la dinàmica de la conversa (interrupcions, mostrar acord, expressar dubte), donar el resultat sense pistes de com ho ha fet (predicció sense justificar) i intervencions sobre les conseqüències socials del que estem fent (en relació a la seva professora, o a la seva classe). Totes elles tenen el seu paper en aconseguir que la conversa avanci vers els seus objectius.

Quan hi ha **inferència**, la majoria de vegades resulta satisfactòria i, per tant, emocionalment positiva, cosa que pot resultar agradable i estimulante per a l'alumnat. Sembla convenient que, com en les nostres dades, les inferències **insatisfactòries** siguin només una **fracció reduïda** del total, per no crear més insatisfaccions de les que es puguin gestionar adequadament, generant processos de **reconstrucció** del model mental fins a fer-lo satisfactori. L'alumnat pot acompanyar les situacions que troba insatisfactòries amb **missatges emocionals no verbals**, com quan reia o es mostrava confús en alguns moments del cas analitzat; és per això que val la pena **fixar-se en l'expressivitat** de l'alumnat durant la classe i intentar **interpretar-la** correctament en termes de satisfacció o insatisfacció.

A la nostra anàlisi hem trobat que les inferències **insatisfactòries** produïdes són de dos tipus: les que es resolen ràpidament (en molt poques intervencions es canvia algun element del model mental), amb **recorregut curt**, i les que requereixen més treball i triguen més, de **recorregut llarg** (i necessitar moltes intervencions per fer una transformació més complexa del model mental). Aquestes darreres també han de ser un nombre reduït, per fer manejable el seu tractament (en el nostre estudi ens sortien dos problemes de recorregut molt curt i tres de llarg). No ens estranyaria trobar, en altres recerques, recorreguts intermedis.

Hem observat que aquests problemes de llarg recorregut es mantenen actius, encara que no sigui explícitament, de manera que en un moment determinat el mateix alumne els pot fer sortir de nou, de forma inesperada per a nosaltres, fins i tot amb la seva solució. Aparentment aquests **problemes oberts** incentiven el treball sobre aspectes propers, actuant com a elements **motivadors**.

5.4.4 Responent PR5

Amb els resultats recollits fins ara en aquest apartat (5.4) podem respondre la cinquena pregunta de recerca:

PR5: *Quines característiques de la **conversa** la fan didàcticament productiva?*

Resposta: *Per aconseguir que la conversa resulti didàcticament productiva caldrà que es compleixin les característiques recollides en aquest mateix apartat 5.4, que sintetitzem a continuació, i que fan referència a:*

a) la visió general de la conversa i la seva finalitat (apartat 5.4.1)

- Centrar la conversa a cada moment en el funcionament d'un sistema.
- Establir un diàleg amb la finalitat d'arribar a un consens sobre el funcionament de cadascun dels sistemes considerats.

b) la manera amb què el professor condueix la conversa (5.4.2)

- El professor ha de fer-se una idea del model mental que l'alumne utilitza, a partir de les seves respostes, valorant si el mateix alumne el considera o no satisfactori (coherent, corresponent i robust).
- Descobrir-hi aspectes ambigus per centrar-hi la conversa i fer que l'alumne aprofundeixi la seva explicació o, constatant la seva insatisfacció, reconstrueixi el seu model mental per solucionar-ho. Aquesta és l'estratègia clau per a la conducció de la conversa.
- També li cal conduir la conversa vers altres aspectes més secundaris però que també són necessaris per a l'èxit de la conversa: centrar-se en la planificació i realització d'intervencions sobre el sistema real, col·laborar en la marxa de la conversa mitjançant el llenguatge, avaluar i –si cal– reorientar el curs de la conversa, i explorar -ne les conseqüències socials.

c) i les característiques de les intervencions de l'alumne (5.4.3)

- Les respostes de l'alumne sobre el sistema poden ser fruit d'una inferència mitjançant el seu model mental o bé fer-se sense inferència. En el primer cas, la majoria de vegades hauria de resultar satisfactòria.
- Caldrà estar atent també als missatges emocionals no verbals, per poder avaluar fins a quin punt percep satisfacció o insatisfacció amb el funcionament del seu model mental.
- Constatada una situació insatisfactòria, el professor haurà d'estar atent als intents de l'alumne per reconstruir el seu model mental i fer-ne un seguiment.
- La resolució dels conflictes apareguts pot requerir un recorregut curt o llarg. Mentre que els primers es resolen amb certa facilitat, els segons requereixen més feina: és important mantenir-los actius mentre no es resolen del tot, ja que actuen com a elements motivadors del canvi.

5.5 DISCUSSIÓ

En aquesta discussió reprendrem, a la vista dels resultats d'aquest treball, alguns dels problemes constatats en la introducció (capítol 1) referents al disseny de seqüències didàctiques.

5.5.1 Sobre algunes aportacions de la recerca referides al disseny de seqüències didàctiques

A la vista dels nostres resultats tornarem a algunes aportacions de la recerca que hem comentat anteriorment (a l'apartat 1.2.2).

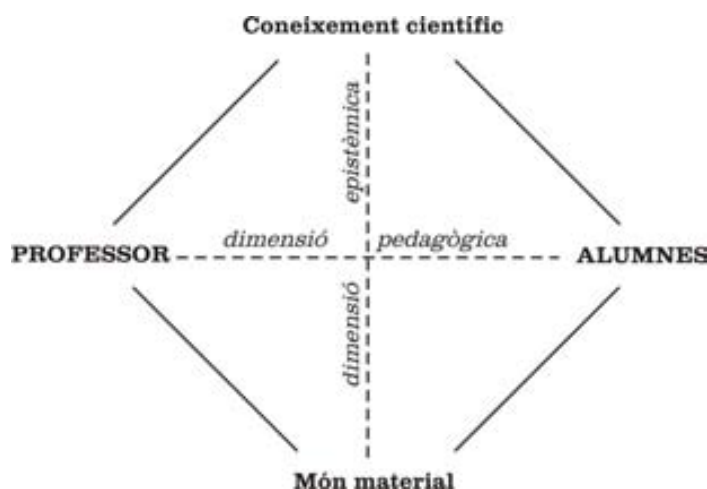


Figura 5.6. Fig. 1.1: El rombe didàctic.

Méheut i Psillos (2004) proposaven el *rombe didàctic* (fig. 1.1, a la fig. 5.6) per recordar les dues dimensions –la pedagògica i l’epistèmica– que una bona seqüència hauria de cobrir. En la seqüència analitzada les dues dimensions s’entrecreuen: el diàleg ens serveix al mateix temps per anar regulant la construcció del coneixement i per generar i aprofitar una relació de confiança i col·laboració entre el professor i l’alumnat, facilitada per la relació simètrica que estableix la tècnica *teachback*.

Tot i que Lijnse (2000) afirmava que les seqüències acaben sent totes molt semblants, sigui quina sigui la seva base teòrica, sospitem que tant la seqüència en si com la dinàmica que es vol aconseguir a la classe tenen algunes característiques clarament diferents de les habituals als instituts. Caldria una altra recerca per investigar si efectivament és així.

Entre les tendències en el disseny de seqüències hem vist que la *demande d’aprenentatge* (Leach i Scott, 2002) posava l’accent en la comunicació entre els participants, la *reconstrucció educativa* (Duit, 2007) en l’articulació del contingut, i la *recerca pel desenvolupament* (Lijnse, 1995) en els motius per avançar. La nostra proposta es basa en el diàleg degudament regulat (comunicació), utilitzat per explotar les possibilitats del raonament de sentit comú, per poder recórrer determinats sistemes ben pensats per generar aprenentatge (articulació del contingut), a partir de les insatisfaccions creades de forma controlada (motivació per avançar). D’aquesta manera, sembla que estiguem aprofitant el millor de cadascuna d’aquestes tres aportacions.

Hem vist que Viiri i Savinainen (2008), entre altres, reclamaven teories específiques per a cada tema, tenint en compte el nivell, per complementar el paper de teories més generals. Una seqüència dissenyada com la que hem analitzat podria considerar-se una aproximació a una d'aquestes teories específiques, que, tot i estar en el marc de models més generals, aporta orientacions que hem utilitzat per organitzar l'aprenentatge del tema concret, tenint en compte tant les característiques del propi tema com les dificultats previsibles de l'alumnat. Malgrat tot, podria ser una teoria allunyada de la realitat, però ho descarta el fet que les seves prediccions s'han acomplert en l'entrevista realitzada (PR3).

Pel que fa als nivells (Méheut i Psillos, 2004) que hem anomenat *macro*, *meso*, *micro* i *nano*, considerem que seria útil reconsiderar-ne les definicions, adaptant-les al treball dels sistemes. D'aquesta manera, una seqüència com l'analitzada, que inclou un sol tema d'un curs i la seva relació amb les famílies de models, es podria considerar a nivell *meso*; el treball d'una sèrie de models relacionats amb el mateix model genèric, el nivell *micro*; i el treball d'un sol sistema, amb cadascuna de les intervencions dels participants, el nivell *nano* (taula 5.1).

Nivell	Focus	Resultat buscat
<i>macro</i>	conjunt de temes	comprensió dels temes
<i>meso</i>	famílies de models	comprensió del tema
<i>micro</i>	model genèric i aplicacions	comprensió del concepte
<i>nano</i>	model mental d'un sistema	comprensió del sistema

Taula 5.1. Proposta de nivells d'anàlisi d'una seqüència.

Considerem que els mètodes utilitzats per analitzar el nivell *meso* de la seqüència (com per exemple les figs. 3.2 i 3.3, que es poden veure a la fig. 5.7), i el nivell *micro* (taules 3.1 –vegeu-ne l'inici a la fig. 5.8– a 3.8) i el nivell *nano* a l'entrevista (taules 4.2 –vegeu-ne l'inici a la fig. 5.9– a 4.12) són innovadors i útils. Han mostrat prou potencialitat com per posar de manifest certs aspectes que altres mètodes d'anàlisi ni tan sols consideraven.

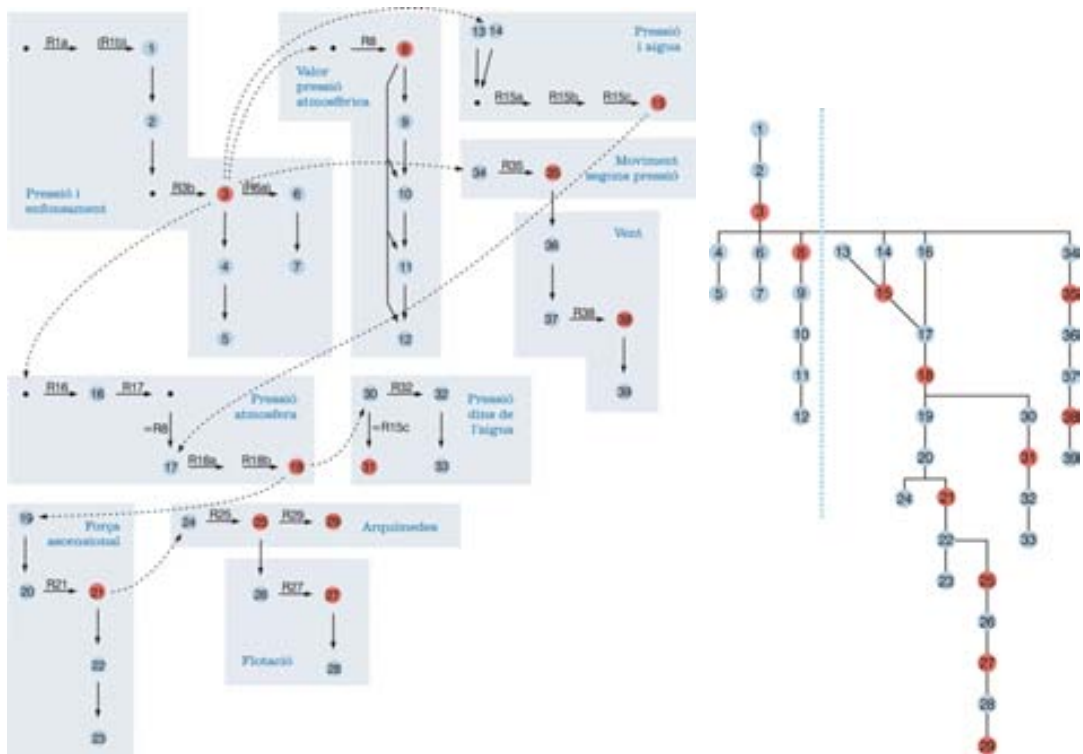


Figura 5.7. a) Fig. 3.2 b) Fig. 3.3

Exercici	Sistema	Referents	Model mental	Elaboració resposta	Conclusió	Satisfacció	Resolució
32c	S1 mà, neu		M	P → P posició → enfonsament			COR? COH?
33a				P → P mides → àrea			COH+
b				P → P àrea → enfonsament	R1a		COH+ COR+
c				P → P mides → F en 1 cm ² F en 1 cm ² → enfonsament	(R1b)		COH+ (COR+)
33d	S2 mà, fang	S1, R1b	M	P → P mides → enfonsament			ROB+
33e	S3 superfície genèric	S1, S2, R1b	M	P → P força, cm ² → pressió	R3a pressió = F en 1 cm ²		
				P → P força, àrea → pressió	R3b P = F dividit 5		ROB+
					R3b P = F / 5		
					R3c Pa = N / m ²		

Figura 5.8. Inici de la taula 3.1.

Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
1P	En aquest cas (32a: pilota submergida), aquest globus que està enganxat aquí a terra, tu què penses: que acabaria com la A, com la B o com la C?	(L'entrevistador planteja la situació a resoldre i demana a l'alumne la seva predicció).	
2A	Amb la B	Eco. Hauria de concretar el motiu de la tria de B (pilota aixafada per damunt i per sota)(C).	(predicció sense justificació)
2P	Amb la B. Per què?		
3A	Perquè... fa força, la pressió cap avall, i també al fer força la pressió cap avall arriba un moment que xocava aquí (a sota de la pilota) i també fa força cap amunt i l'única manera/...	La pressió apareix com una entitat, amb la propietat de fer força. La força avall i la força amunt serien les causes de la doble deformació de la pilota en el cas B. No ha concretat d'on provenen les forces (C).	COH+ F avall i F amunt → doble aixafament
3P	Qui fa força cap amunt?		
4A	És que això no ho vam dir bé. Sabíem que era.../	Resulta que està explicant el que van dir a classe, sense compartir-ho ni entendre-ho. Cal centrar la conversa en la seva pròpia opinió.	COH- a classe: ? ell: diferent
4P	No, però digue'm el que tu (amb èmfasi) penses.		
5A	Jo vaig pensar que feia força la pressió cap avall i al fer força la pressió cap avall no podia ser la A perquè en cap moment no havia canviat de forma, i la C tampoc perquè si la pressió de l'aigua feia	De nou la pressió és una entitat amb la propietat de fer força. Però relaciona la deformació amb la força (o pressió, ja que després semblen sinònims). Eco. Sembla que té clar que la pressió actua cap avall i que la deformació hauria de	COH+ força avall → deformació avall COH+ no força costat → no deformació al costat

Figura 5.9. Inici de la taula 4.2.

5.5.2 Sobre dificultats epistemològiques i psicològiques

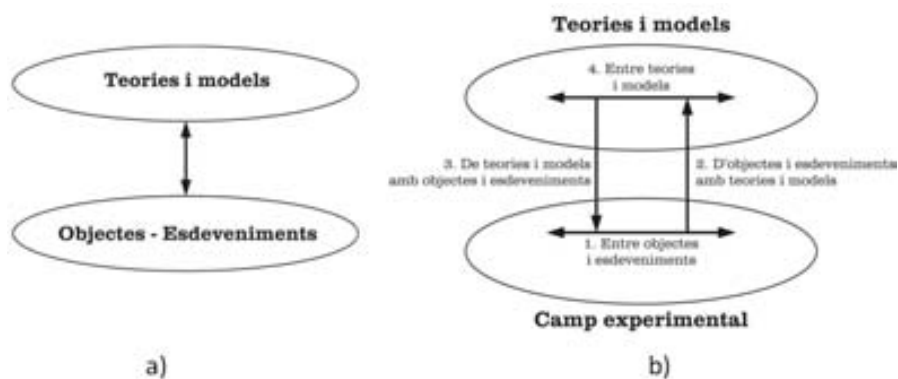


Figura 5.10. Fig. 1.2: a) Els dos mons. b) Eina per modelitzar relacions en el disseny de seqüències.

Hem vist (apartat 1.2.3) propostes de quatre tipus d'activitats (Tiberghien, Vince i Gaidioz, 2009; fig. 1.2 que recordem a la fig. 5.10b) i de sis (Psillos, Tselves i Kariotoglou, 2004; fig. 1.3 a la fig. 5.11).

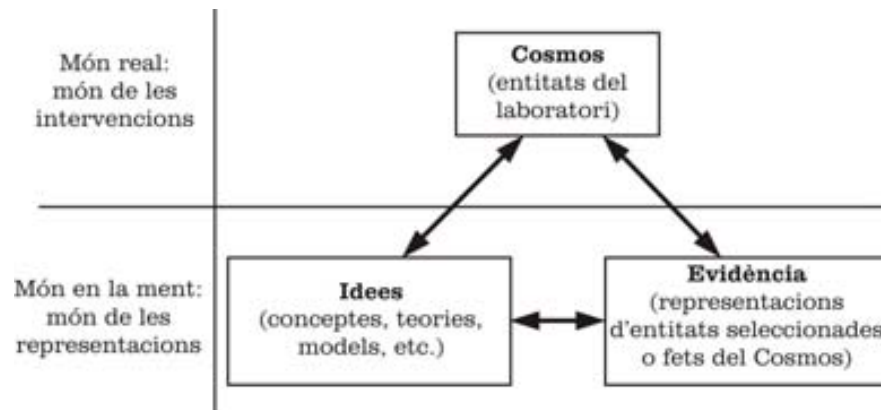


Figura 5.11. Fig. 1.3: Model *Cosmos–Evidència–Idees* de la recerca científica.

A la nostra seqüència (per exemple, la mateixa taula 3.1 de fa poc, fig. 5.8) i a l'entrevista (vegeu la fig. 4.4, recordada a la fig. 5.12) l'únic patró que es repeteix insistentment és la necessitat de l'alumne de resoldre les manques de coherència, correspondència o robustesa percebudes en el seu model mental. Les accions que s'emprenen (fer comparacions, realitzar experiments, aportar dades, predir...) estan sempre subordinades a aquest objectiu.

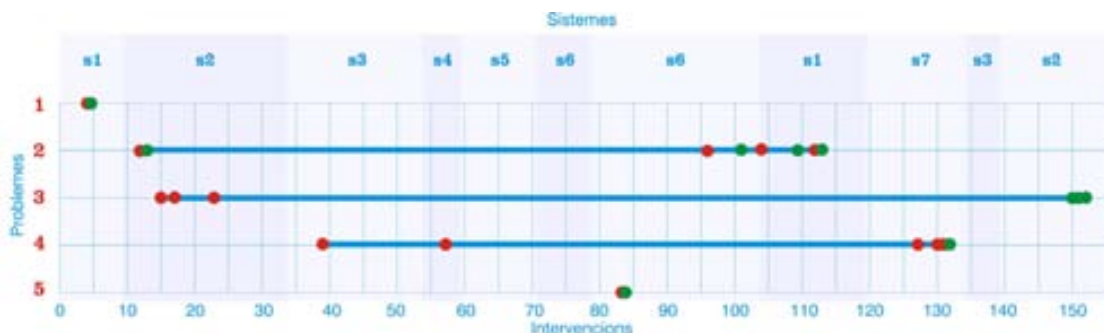


Figura 5.12. Fig. 4.4: Resum gràfic de l'evolució dels cinc problemes apareguts durant la conversa.

Cal dir que la separació entre món i ment és una separació ontològica àmpliament acceptada (vegeu les dues darreres referències i les corresponents imatges, fig. 5.10 i 5.11). Però l'actitud de l'alumne durant la conversa fa pensar que identifica, al menys en una primera aproximació, el seu model satisfactori amb el sistema que es tracta, en una espècie de realisme ingenu. Per això, una part de la tasca del professor hauria de consistir en fer adonar l'alumnat de la multiplicitat de dimensions (fig. 2.3, a la fig. 5.13) de l'activitat científica, sobretot a mida que es van realitzant accions en ca-

dascuna d'elles, segurament que començant per distingir la realitat física d'un sistema dels nostres models mentals que s'hi refereixen.

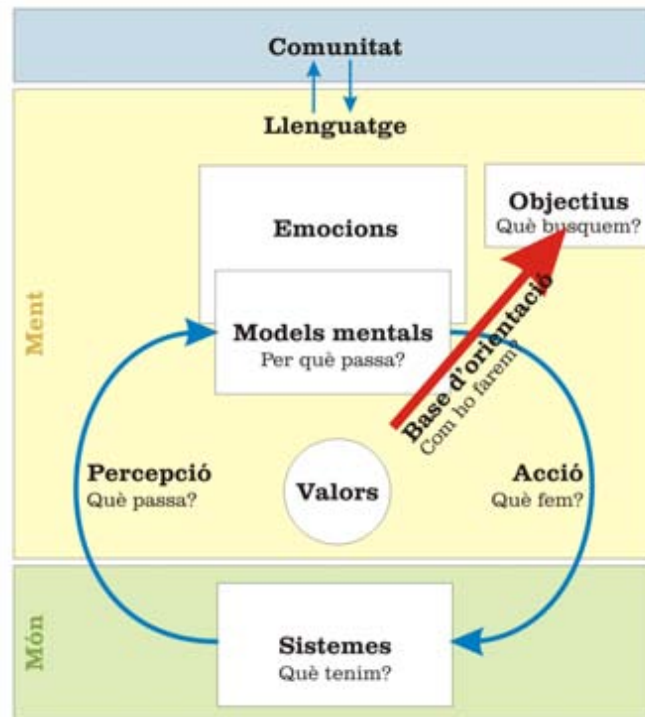


Figura 5.13. Fig. 2.3: Els diversos components de l'activitat humana, també de l'activitat científica.

Mentre Rea-Ramírez (2008) proposa per a cada sistema un seguit de models (fig. 1.5 a la fig. 5.14), perquè de mica en mica hi vagin incorporant la complexitat del sistema, Clement i Brown (2009) (fig. 1.6, a la fig. 5.15) es decanten per fer-ho a base de construir una seqüència de models de sistemes que arrenquen amb l'inicial, *àncora*, i passant per sistemes *pont* és possible arribar al model *meta*.

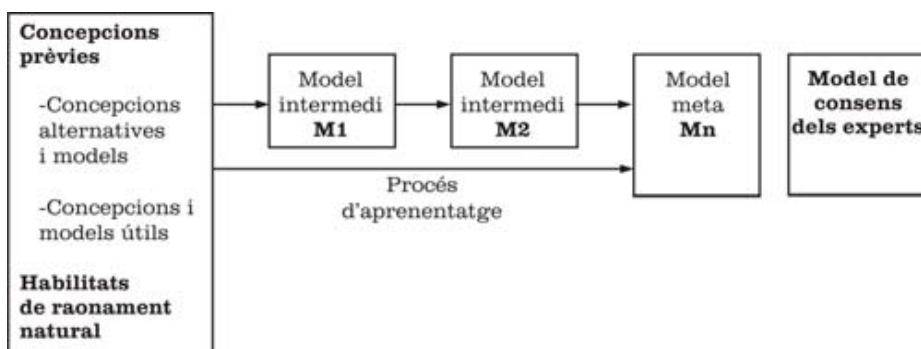


Figura 5.14. Fig. 1.5: Procés d'aprenentatge concebut com la construcció d'una successió de models fins arribar al model *meta*.

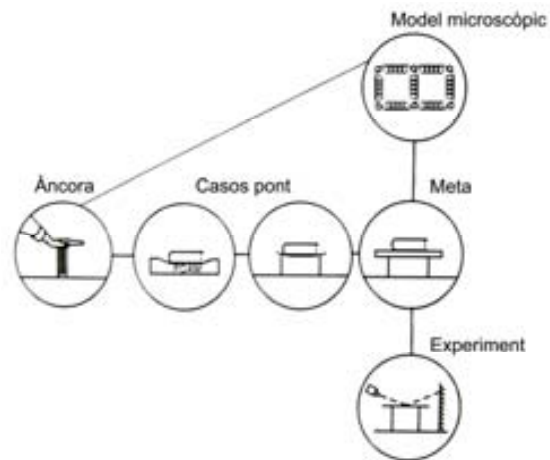


Figura 5.15. Fig. 1.6: Seqüència de models per a la comprensió de la deformació d'una taula.

En certa mesura la nostra opció les incorpora totes dues. El disseny de la seqüència (*micro*) és del tipus *àncora-pont-meta*, mentre que el treball a classe de cada model (*nano*) consisteix en anar construint i reconstruint models mentals progressivament més satisfactoris del mateix sistema.

Hi ha autors que consideren que la força que empeny a avançar és la insatisfacció amb el model (Núñez-Oviedo, Clement i Rea-Ramirez, 2008). D'aquesta manera, una clara dissonància amb el model porta a abandonar-lo i substituir-lo per un altre (fig. 1.7a, reproduïda a la fig. 5.16) mentre que si es tracta d'un grau d'insatisfacció moderat n'hi haurà prou amb introduir-hi modificacions (fig. 1.7b a la fig. 5.16). La interacció amb el professor o amb altres alumnes fa que el model mental d'un alumne pugui anar incorporant modificacions fins que el fan del tot satisfactori (fig. 1.8 a la 5.17).

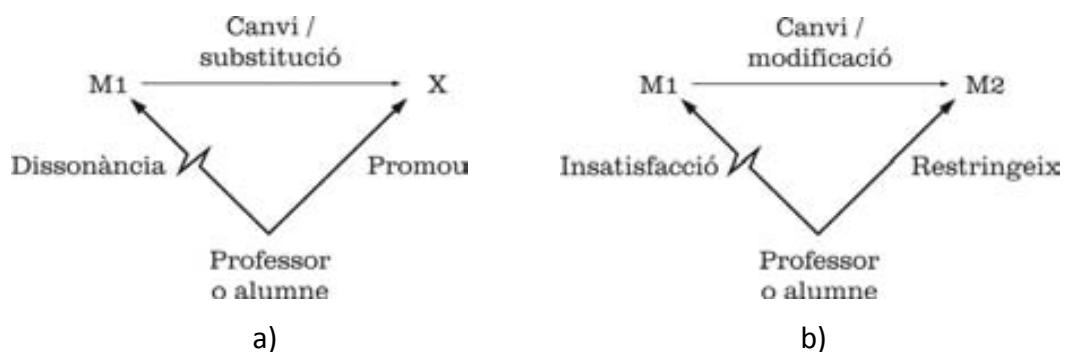


Figura 5.16. Fig. 1.7: a) Descartant un model. b) Modificació del model.

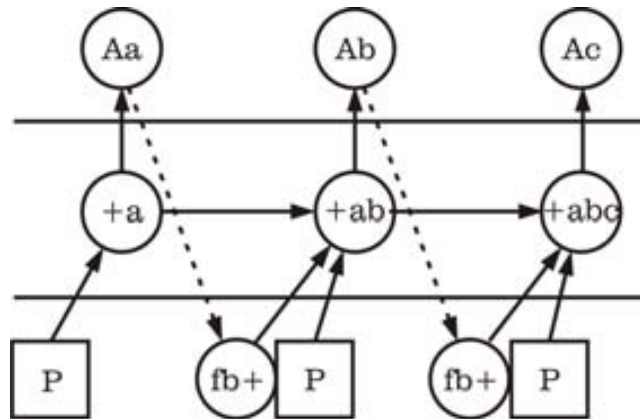


Figura 5.17. Fig. 1.8: Evolució de models per acreció.

Les nostres dades no han mostrat cap cas d'abandonament del model mental de l'alumne, sinó que sempre que ha generat insatisfacció s'ha anat reconstruint, canviant entitats, propietats o regles, per aconseguir de preservar el compliment del *principi causal*. Això és el que explica l'evolució del model mental en tots els casos observats (taula 4.18, recollida parcialment a la fig. 5.18).

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüïtat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactoria	Inferència insatisfactoria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)	→	4			COH-	1 ■	La seva opinió / La de classe
2 (s2)	→	12			COH-	2 ■	L'agua fa força cap amunt però també cap avall
	→	13		COR+		2 ↓	L'aigua fa més força cap amunt que cap avall
7 (s6)		96			ROB-	2 ↓	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
	→	101		COR+		2 ↓	Mateixa pressió en totes direccions
8 (s1)		104			ROB-	2 ↓	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
	→	109		COH+		2 ↓	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
	→	112			COH-	2 ↓	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
	→	113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes

Figura 5.18. Inici de la taula 4.18: Recull d'intervencions relacionades amb l'aparició de problemes i la seva resolució, agrupades per problemes.

A la mateixa taula anterior, que recull els avenços produïts durant el diàleg, es pot comprovar que no totes les intervencions del professor, ni molt menys, generen algun canvi. Això posa en dubte el que acabem de veure a la fig. 1.8 (reproduïda a la

fig. 5.17), on cada *feedback* del professor sembla produir un avenç en el model. El procés real demostra ser molt més laboriós.

Un altre aspecte que ja havíem comentat de la mateixa fig. 1.8 (recollida a la fig. 5.17) és que la regulació del procés sigui en mans del professor. A la conversa *teachback* la regulació de l'entrevista és també, en bona part, en mans del professor, que, com hem vist, la realitza a diferents nivells pràctics (intervenció sobre el sistema, llenguatge, avaluar i conduir el diàleg i valorar les seves conseqüències socials: fig. 4.1 que es pot veure a la fig. 5.19), però tots ells subordinats al principal: el d'aclarir les ambigüitats del model mental de l'alumne, indicades en color granat.

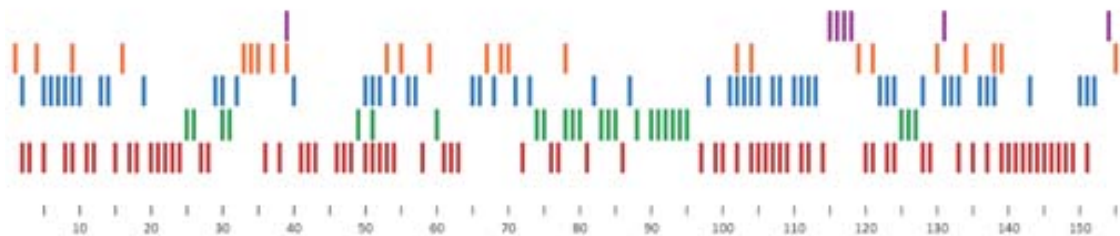


Figura 5.19. Fig. 4.1: Distribució dels diferents tipus d'intervencions del professor al llarg de la conversa.

Però l'avaluació dels models mentals és responsabilitat de l'alumne, avaluació que li genera diversos estats de satisfacció o insatisfacció, estats que el professor intenta esbrinar, així com els seus motius. A diferència d'altres formes de regulació, mitjançant el *teachback* l'alumne va prenent decisions sobre canvis en el seu model en funció de les seves pròpies avaluacions, no a partir d'ordres exteriors. Per tant, podem afirmar que professor i alumne regulen el curs de la conversa, cadascú amb funcions i accions propis.

La concepció de *conversa* de Pask (1975; fig. 2.6 a la fig. 5.20) –que tant pot ser un diàleg extern com un d'intern– fa pensar la possibilitat que amb converses similars l'alumnat vagi interioritzant aquestes estratègies per acabar assumint-les com a conversa amb si mateix, i d'aquesta manera poder autoregular els seus propis aprenentatges. És una possibilitat a investigar.

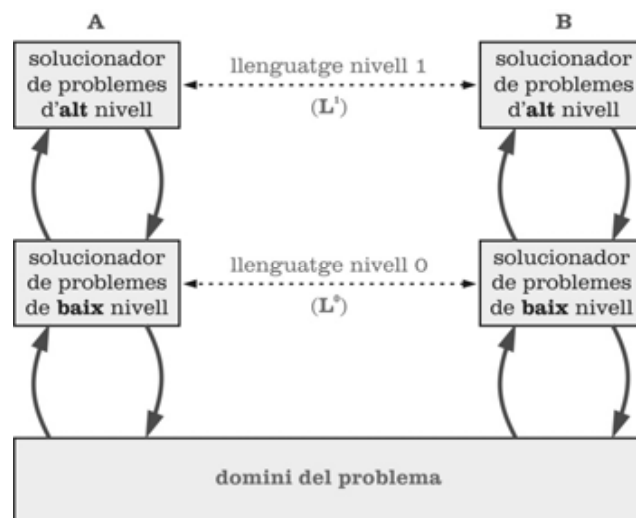


Figura 5.20. Fig. 2.6: Adaptació de la concepció de Pask (1975) d'una "Conversa".

En definitiva, si Clement (2000) constata la necessitat de millorar la nostra comprensió dels processos psicològics associats a l'aprenentatge, hem trobat en el model *ONEPSI* una orientació, que ha resultat productiva, per dissenyar seqüències i per entendre la dinàmica dels raonaments de l'alumnat en una conversa (com demanen Sherin, Krakowski i Lee, 2012). Valdria la pena continuar investigant sobre les seves aplicacions per arribar a aconseguir una genuïna *activitat científica escolar*.

5.5.3 Sobre dificultats emocionals

Entre les dificultats explorades inicialment (apartat 1.2.4) hi havia el repte d'incorporar la dimensió emocional a l'aprenentatge.

La constatació, mitjançant les nostres dades, que els processos d'aprenentatge comencen amb insatisfaccions i acaben quan els nous models mentals resulten satisfactoris, suposa un enllaç íntim entre raó i emoció (Duit i Treagust, 2003). També està completament d'acord amb la funció disruptiva de les emocions per engegar processos de canvi, establint prioritats, fixant l'atenció en el que es fa i dirigint-la, avaluar-ne les resultat... (Morgado, 2012). Considerem que és un resultat que podria tenir aplicacions innovadores a l'escola.

La relació entre raó i emoció, que es percep com a important per aprendre ciències (Zembylas, 2002; Hong, Lin i Lawrenz, 2012), no s'ha acabat de comprendre bé

(Duit i Treagust, 2003) i potser per això s'ha prioritzat la cognició (Picard i al., 2004) en detriment de l'emoció. En la literatura didàctica l'aspecte emocional sol aparèixer com a superposat o juxtaposat al racional. En canvi, les nostres dades mostren que ambdós aspectes estan íntimament lligats, de forma que es generen mútuament. Utilitzant el nostre marc teòric hem pogut caracteritzar aquesta relació dinàmica entre cognició i emoció pel que fa a la construcció i reconstrucció de models mentals.

Les característiques del diàleg *teachback* fan que els estats emocionals que viu l'alumne a mesura que s'enfronta amb els problemes, siguin públics i accessibles al professor (i a classe, també a la resta de l'alumnat). Quan només es prioritza l'aspecte cognitiu (Alsop i Watts, 2003) el malestar per les dificultats del procés poden fer pensar a l'alumne que sigui millor amagar-les per no semblar vulnerable; en canvi, hem vist a l'entrevista que acceptades amb naturalitat –a través de l'actitud del professor de respecte mutu i de consideració positiva incondicional de l'esforç de l'alumne– llavors les dificultats del procés poden constituir un part necessària de l'aprenentatge per desencadenar tot el procés. Hauria de formar part del *contracte didàctic* aconseguir que tots els membres de la comunitat educativa assumeixin la necessitat i la conveniència de passar per aquests estadis d'insatisfacció, instaurant el *to emocional* d'aula adequat. Caldria estudiar més a fons els factors que ho fan possible.

En els resultats obtinguts hem observat que, en efecte, les emocions insatisfactòries tenen un caràcter *performatiu* (Zembylas, 2004), són veritables actes que generen un cert grau de malestar i assumeixen el control de l'acció per solucionar-lo, fins arribar a solucionar les inquietuds (Mandler, 1999).

Assumir que per aprendre és inevitable el pas per la insatisfacció, en un ambient positiu d'acceptació i col·laboració, fa possible que l'esforç pugui acabar sent compensat amb bons resultats emocionals i cognitius. Aquesta podria ser una forma d'invertir el declivi constant de l'interès per la ciència al llarg de l'escolaritat (Pintrich i al., 1993; Osborne, Simons i Collins, 2003; Hong, Lin i Lawrenz, 2012) en la mesura que aquests bons resultats personals puguin fer créixer l'interès (Laukenmann i al, 2003), i l'interès millora els resultats (Allen, 2010; Bryan, Gynn i Kittleson, 2010). Emocions positives que progressivament podrien anar generant actituds (Zembylas, 2004) favorables a

l'estudi de la ciència, tot i l'esforç que requereix, segurament superior al requerit en altres formes més superficials d'aprendre. Un altre tema que valdria la pena estudiar més a fons.

Resumint, hem pogut preveure, observar i explicar la dinàmica que entrellaça cognició i emoció en el procés d'aprenentatge, una dinàmica que caldria seguir investigant i aplicant per generar innovació didàctica.

5.5.4 Sobre dificultats socials: la conversa

Pel que fa a aspectes d'interacció social (apartat 1.2.5), la conversa analitzada es situa completament en l'espai *dialogant / interactiu* (Viiri i Savinainen, 2008; taula 1.2 que es pot veure a la fig. 5.21). Considerem que aquest enfocament dialogant afavoreix no només la implicació emocional de l'alumnat, com hem discutit a l'apartat anterior, sinó que al basar-se en raonament de sentit comú (Warren i al., 2001), resulta més assequible a les capacitats de l'alumnat. Però això no treu que fins i tot en una classe que mantingués el mateix enfocament de la nostra entrevista, no s'hagi de recórrer, en alguns moments, a les altres tres opcions, ja que segons Scott, Mortimer i Aguiar (2006) les unes promouen, d'alguna manera, les seves oposades. Seria interessant investigar en quines condicions i de quina manera.

	Interactiu	No interactiu
Autoritari (centrat en la ciència)	El professor es proposa arribar a un determinat punt de vista	El professor presenta un determinat punt de vista
Dialogant (tenint en compte la comprensió dels alumnes)	El professor vol que els alumnes expressin les seves opinions i treballar amb diferents punts de vista	Tenint en compte les idees dels alumnes, el professor revisa o resumeix els punts de vista dels alumnes

Figura 5.21. Taula 1.2: Els diversos enfocaments comunicatius i propòsits didàctics a l'aula

Una de les exigències de gestionar la classe a partir del diàleg és que no es pot seguir un guió prefixat (Scott, Mortimer i Aguiar, 2006). Més ben dit, es poden anar seguint els sistemes previstos en l'elaboració de la seqüència, però no es pot predir el

detall de la seva evolució, que dependrà, en gran mesura, de la participació de l'alumnat i de les dificultats que hi trobin. Així, el nivell d'anàlisi *nano* quedarà exclòs de les prediccions, cosa que no passa amb nivells superiors.

A l'analitzar el diàleg hem comprovat que tant el *patró de l'activitat* com el *patró temàtic* (Lemke, 1993) s'han pogut regular eficaçment. El patró temàtic es proposa arribar a aclarir el funcionament d'alguns sistemes, mentre que el de l'activitat (que en aquest cas és un diàleg *teachback*) té per finalitat arribar a consensos. Segons el que hem trobat, el professor gestiona el *patró temàtic* focalitzant el treball en les ambigüitats dels models mentals de l'alumne (color granat a la fig. 4.1, de nou a la fig 5.22). Per gestionar el *patró de l'activitat* proposa conèixer el funcionament del sistema real (color verd), utilitza el llenguatge per facilitar el procés sense proporcionar informació (blau), realitza avaluacions estratègiques de la marxa del procés per decidir si continuar pel mateix camí o canviar de ruta (taronja) i fins i tot s'interessa per les conseqüències de la mateixa activitat per a l'alumne (morat). Un sistema de regulació més complex del que apuntava Lemke.

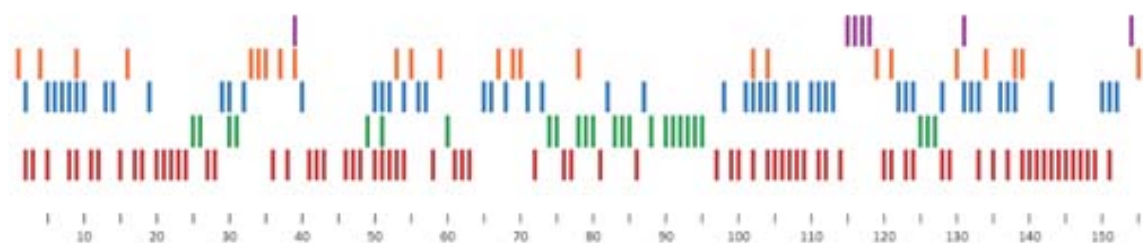


Figura 5.22. Fig. 4.1: Distribució dels diferents tipus d'intervencions del professor al llarg de la conversa.

En definitiva, la conversa *teachback* ha estat una bona eina per aconseguir aprenentatges científics en un clima emocionalment positiu de respecte i participació. Té l'avantatge de servir per fer avançar l'alumnat al mateix temps que proporciona dades immediates d'aquest procés, facilitant molt la tasca reguladora del professor. Queda pendent d'investigar què canvia i què cal tenir en compte quan aquesta tècnica s'utilitza amb una classe.

5.5.5 Sobre el paper del professorat

La conducció d'una entrevista *teachback*, tenint en compte el doble procés de regulació que cal realitzar-hi, pot semblar d'entrada molt complex. Té l'avantatge que es tracta d'un diàleg, una forma de comunicació molt habitual a la vida quotidiana. Sobre aquesta base, aprendre a manejar el doble sistema regulador requereix esforç i pràctica, però ha de ser assequible al professorat que s'ho proposi. Les representacions que discutirem en el darrer apartat (5.5.6) potser hi poden ajudar.

I pel que fa al disseny de seqüències didàctiques, hem trobat que és clau encadenar sistemes amb semblances parcials, de forma que vagin ajudant l'alumnat a millorar els seus respectius models mentals. Perquè surti bé sembla recomanable que els dissenyadors comparteixin un bon *coneixement didàctic del contingut* (Shulman, 1987), un coneixement que, segons hem trobat, passa per la interacció d'un coneixement sòlid del tema científic a ensenyar i del domini suficient del model *ONEPSI* (incloent-hi l'entrevista *teachback*), en el marc d'una bona interiorització del model d'*activitat científica escolar*. Hem de pensar que el professorat en traurà el millor profit si també disposa d'aquesta formació.

El *contracte didàctic* (Tiberghien, 2000; Lijnse i Klaassen, 2004) –les regles explícites i implícites que regeixen la finalitat i el funcionament de la classe– ha de tenir unes característiques especials per poder-hi realitzar converses *teachback*. Ja hem anat comentant que requereix, per exemple, establir a la classe un *to emocional* no amenaçador, de respecte, positiu, una disposició a l'argumentació, al diàleg i a la col·laboració. Es tracta d'una responsabilitat del professor que els alumnes han d'anar compartint. Si parteixen d'altres expectatives és possible que la falta de correspondència amb els seus models mentals sobre el funcionament de la classe generi problemes inicialment (fig. 5.23), degut a percebre que demana més implicació, esforç i responsabilitat, abans que aconseguixin de reconstruir-los satisfactòriament, constatin els seus progressos i en millori l'acceptació. Un altre aspecte que convindria estudiar.

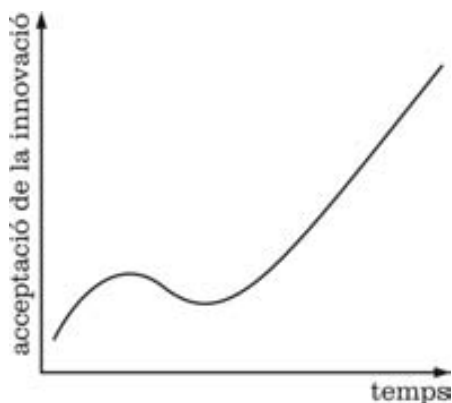


Figura 5.23. Corba d'acceptació d'una innovació positiva. En la seva versió original, Llewellyn (2005: xiii), feia referència a la introducció de la indagació a la classe de ciències.

5.5.6 Sobre la representació d'una seqüència

Finalment, havíem vist (apartat 1.2.7) la necessitat de trobar formes de representar les seqüències que poguessin ser útils al professorat. Al llarg d'aquest treball els resultats s'han mostrat utilitzant diversos recursos. Acabarem fent una ullada general a aquestes diferents formes de representació que recullen, a diferents escales, el procés que es vol provocar a l'aula (en el cas de l'anàlisi de la seqüència) i el que realment hi succeeix (en el cas de la conversa), intentant valorar-ne la utilitat.

a) Disseny de la seqüència

A l'anàlitzar la seqüència hem pogut recollir els primers resultats en un tipus de taula (per exemple la taula 3.1 que podem veure en part a la fig. 5.24) on es mostra l'itinerari que s'espera recórrer amb l'alumnat.

S'hi concreten els sistemes que s'estudiaran i en quin ordre. De cada sistema caldrà construir el corresponent model mental, que servirà de base per fer les inferències necessàries per respondre cadascuna de les preguntes preparades. D'aquestes respostes poden sortir o no resultats generals (regles de comportament o de llengua), però sigui com sigui, el procés es completarà satisfactòriament o no, i en aquest darrer cas caldrà solucionar-ho. El resultat final ha de ser que totes les insatisfaccions generades per desestabilitzar els models mentals dels nostres alumnes, han de quedar solucio-

nats amb els deguts canvis, tal com mostren les fletxes de la dreta. El fet de posar a sota de la notació simbòlica un resum telegràfic del seu contingut ajuda a la seva comprensió.

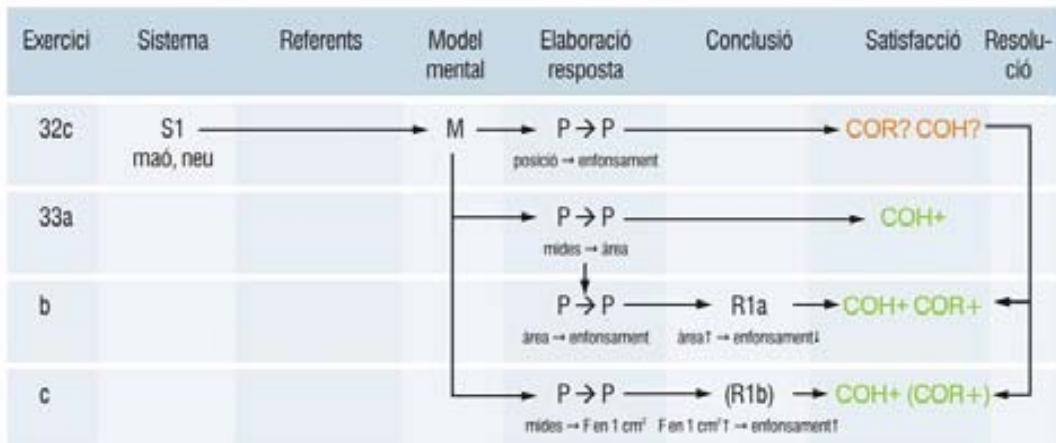


Figura 5.24. Inici de la taula 3.1: Exercicis sobre pressió i enfonsament.

Les fletxes que vénen de l'esquerra poden considerar-se que marquen un *fil racional* de reflexió sobre els sistemes que té conseqüències emocionals, mentre que les fletxes que baixen per la dreta indiquen un *fil emocional* que busca la resolució de les insatisfaccions generades en el procés. Unes i altres fletxes conflueixen en diversos moments en estats emocionals i racionals, satisfactoris o no, representats amb colors.

Tot plegat constitueix un resum visual molt complet –i compacte– del curs esperat de la seqüència, que pot ser útil, tant als dissenyadors com als professors que l'apliquin, per establir millor la finalitat de cada pregunta. També dona informació de com enfortir el convenciment de l'alumne en la resposta que ha donat: per exemple, (COR+) indicaria la possibilitat, optativa, de fer un experiment per comprovar-ho. Es podria explorar la possibilitat de fer diagrames una mica menys simbòlics per facilitar-ne la lectura i comprovar si efectivament són útils per al professorat.

Les figures 3.2 i 3.3 (de nou, a la fig. 5.25) recullen de forma gràfica les relacions entre models mentals de cada sistema. Sospitem que són més útils durant la formació del professorat –perquè visualitzi alguna vegada l'organització superior entre els sistemes a fi que després pugui imaginar-ho i tenir-ho en compte– que no pas per a la pràctica docent. S'hauria de comprovar.

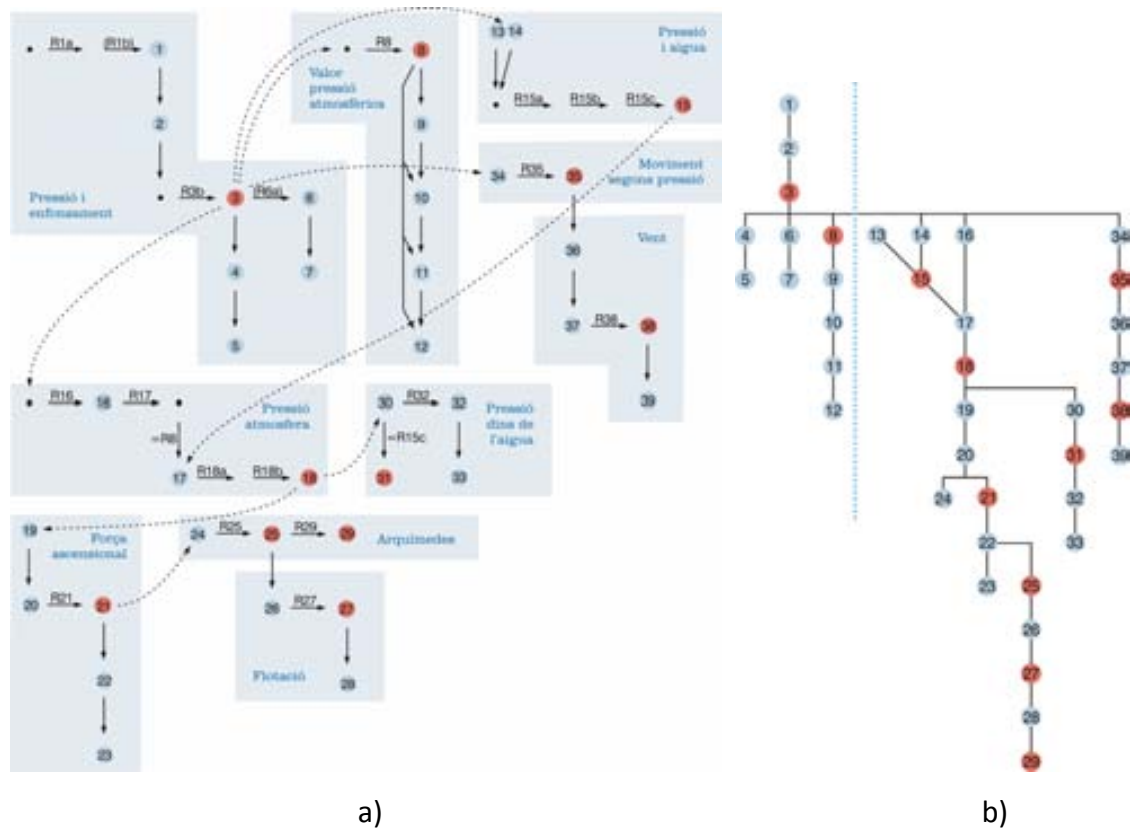


Figura 5.25. a) Fig. 3.2: Mapa de relacions entre sistemes. b) Fig. 3.3: "Genealogia" dels models.

b) Conversa sobre la seqüència

El professorat ha de fer l'anàlisi de la conversa sobre la marxa, mentre es conversa. Cada rèplica del professor ha de ser el fruit d'una anàlisi immediata. Per això, la taula 4.2 (reproduïda parcialment a la fig. 5.26) té interès perquè recull l'anàlisi feta molt poc temps després d'acabar el diàleg amb la finalitat d'explicitar-la el màxim de fidelment possible i permetre al seu torn la seva *metaanàlisi* per trobar-hi regularitats, tal com hem estat fent. Per això, aquesta taula i les representacions que se'n deriven (fig. 4.1, a la fig. 5.27, i les representacions de les figs. 5.28 i 5.29), creiem que tenen més un interès pel que fa a la recerca i la formació del professorat que no pas com a eina habitual d'anàlisi ja que quan s'han arribat a completar, la necessitat didàctica que les han motivat haurà fet temps que ha desaparegut.

Intervenció	Conversa	Anàlisi de la resposta, detecció d'ambigüitats i generació de la rèplica	Resultat emocional i raonament (acció)
1P	En aquest cas (32a: pilota submergida), aquest globus que està enganxat aquí a terra, tu què pensaves: que acabaria com la A, com la B o com la C?	(L'entrevistador planteja la situació a resoldre i demana a l'alumne la seva predicció).	
2A	Amb la B	Eco. Hauria de concretar el motiu de la tria de B (pilota aixafada per damunt i per sota)(C).	(predicció sense justificació)
2P	Amb la B. Per què?		
3A	Perquè... fa força, la pressió cap avall, i també al fer força la pressió cap avall arriba un moment que xocava aquí (a sota de la pilota) i també fa força cap amunt i l'única manera/...	La pressió apareix com una entitat, amb la propietat de fer força. La força avall i la força amunt serien les causes de la doble deformació de la pilota en el cas B. No ha concretat d'on provenen les forces (C).	COH+ F avall i F amunt → doble aixafament

Figura 5.26. Inici de la taula 4.2: Conversa sobre una pilota submergida.

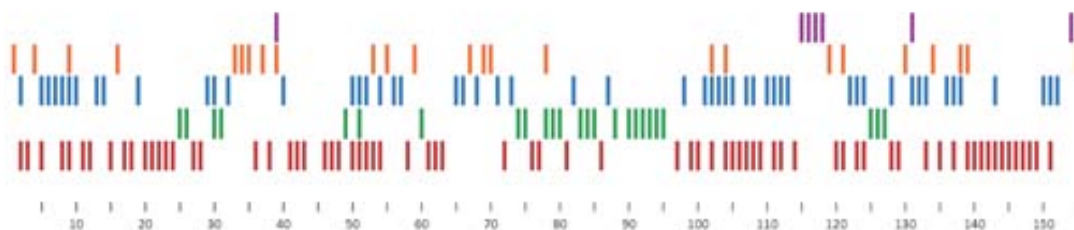


Figura 5.27. Fig. 4.1: Distribució dels diferents tipus d'intervencions del professor al llarg de la conversa.

En canvi, com a eina d'anàlisi *a posteriori* ja ha mostrat la seva utilitat la transformació de la taula 4.2 (a la fig. 5.26) en les taules de les figs. 5.28, 5.29 i 5.30: la primera (taula 4.14) recollint de forma sintètica les intervencions de l'alumne en la conversa, juntament amb els resultats de la seva anàlisi, la segona (taula 4.17) recollint només les intervencions que implicaven creació i resolució de problemes, mentre que la tercera (taula 4.18) recollia les mateixes intervencions, però classificades per problemes, de manera que se'n pot fer el seguiment.

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüitat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactoria	Inferència insatisfactoria	Pendent de solució	Descripció	
1 (s1)	→	2	pred					
		3		COH+				
		4				COH-	1 ■	La seva opinió / La de classe
		5			COH+			
		5			COH+			
		6			COH+			
		7			COH+			
		8			-			
		9		acord				
2 (s2)	→	10		COR+				
		11		-				
		12				COH-	2 ■	L'agua fa força cap amunt però també cap avall
		13			COR+		2 ↓	L'aigua fa més força cap amunt que cap avall
		13			COH+			
		14			-			
		15				COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
		16		int				
		17			COH-	3 ↓	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua	

Figura 5.28. Inici de la taula 4.14.

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüitat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactoria	Inferència insatisfactoria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)	→	4			COH-	1 ■	La seva opinió / La de classe
2 (s2)	→	12			COH-	2 ■	L'agua fa força cap amunt però també cap avall
		13		COR+		2 ↓	L'aigua fa més força cap amunt que cap avall
		15			COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
		17			COH-	3 ↓	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua
		23			ROB-	3 ↓	Pilota: força amunt i avall / Pedra: força amunt
3 (s3)		39			COH-	4 ■	Alum: A la cova, P menor / Prof: P igual
4 (s4)		57			COH-	4 ↓	Alum: P menor a la cova / Prof: P igual a la cova
7 (s6)		83			COH-	5 ■	Desnivell degut a canvi de fondària o de direcció?
		84		COH+		5 ■	Fixar fondària. Desnivell degut a canvi de direcció
		96			ROB-	2 ↓	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
		101		COR+		2 ↓	Mateixa pressió en totes direccions
8 (s1)	→	104			ROB-	2 ↓	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
		109		COH+		2 ↓	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
		112			COH-	2 ↓	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
		113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes
9 (s7)	→	127			COR-	4 ↓	Preveia desnivell menor / Desnivell no canvia
		130			COR-	4 ↓	Es preveia P menor / S'observa que P no canvia
		131			COH-	4 ↓	Alumne: P menor / Professora: P no canvia
		132		COH+		4 ↓	Dins i fora de la cova, la mateixa P

Figura 5.29. Inici de la taula 4.17.

Cas (sistema)	Intervenció prèvia sobre ambigüitat	Intervenció	Sense inferència	Inferència satisfactòria	Inferència insatisfactòria	Pendent de solució	Descripció
1 (s1)	→	4			COH-	1 ■	La seva opinió / La de classe
2 (s2)	→	12			COH-	2 ■	L'aigua fa força cap amunt però també cap avall
	→	13		COR+		2 ↓	L'aigua fa més força cap amunt que cap avall
7 (s6)		96			ROB-	2 ↓	Força igual totes direccions/Pilota: per dalt i per sota
	→	101		COR+		2 ↓	Mateixa pressió en totes direccions
8 (s1)		104			ROB-	2 ↓	Pressió igual en totes direccions / Deformació pilota
	→	109		COH+		2 ↓	Força en totes direc. / Deformació en totes direc.
	→	112			COH-	2 ↓	Opcions ofertes al dossier / Opció correcta
	→	113		COH+		2 ■	Reinterpretar una de les opcions ofertes
2 (s2)		15			COH-	3 ■	Què fa que l'aigua faci més força amunt que avall?
		17			COH-	3 ↓	La gravetat, no: actua a dins i a fora de l'aigua
	→	23			ROB-	3 ↓	Pilota: força amunt i avall / Pedra: força amunt
11 (s2)	→	150		COH+		3 ↓	Superfície de sota, més pressió que a la de sobre
		150		COR+		3 ↓	Hauria de pesar menys / Hem mesurat menys pes
		150		ROB+		3 ↓	Cas embut / Cas pedra
		151		COH+		3 ↓	Pesa igual, sembla que pesi menys
	→	152		COH+		3 ■	L'aigua t'ajuda fent pressió cap amunt

Figura 5.30. Inici de la taula 4.18.

Finalment aquests resultats han estat recollits de forma gràfica i compacta (fig. 4.4 a la fig. 5.31) per poder visualitzar la resolució de problemes realitzada al llarg de la conversa.

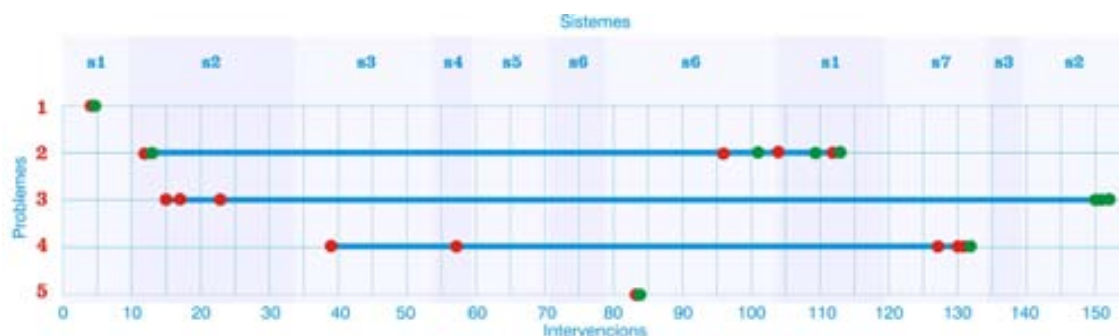


Figura 5.31. Fig. 4.4: Evolució dels cinc problemes apareguts durant la conversa

Les dues representacions següents tenen un interès diferent. La taula 4.19 (a la fig. 5.32) i el seu equivalent, la fig. 5.2 (reproduïda a la fig. 5.33) on es compara la satisfacció inicial i final esperada per a cadascun dels quatre problemes en la seqüència i les

observades al llarg de la conversa, són també una eina de recerca i de formació, doncs a la pràctica docent és vital aconseguir aquesta classe de resultats d'encaix entre les intencions de la seqüència i els resultats de la conversa, encara que no s'explicitin ni es representin físicament enlloc.

Dubte a resoldre	Exercici	Satisfacció esperada	Intervenció de l'alumne	Satisfacció detectada durant el procés / al final
P varia amb la fondària?	32d = 37a	COH? COR?	34-53	COH-
Funcionament del dispositiu	38a	{COH+ COR+}	60-70	COR+ ROB+
Disseny de l'experiment	b	COH+	71-75	COH+
Què succeeix?	c	COR+	76-78	COR+
Conclusió?	d	COR+ ROB+	"	"
Direcció P?	32a = 37b	COH? COR?	2-9	*COH+
Disseny de l'experiment	39a	COH+	79-92	COH- / COH+
Què succeeix?	b	COR+	93-100	COR- / COR+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	101-103	COR+
Deformació de la pilota?		ROB+	104-119	ROB- COH- / COH+
Efecte cova?	32d = 37c	COH? COR?	54-59	COH-
Disseny de l'experiment	40a	COH+	120-125	COH+
Què succeeix?	b	COR+	126-134	COR- COH- / COR+ COH+
Conclusió?	c	COR+ ROB+	135-139	ROB+
...				
Menor pes submergit?	32b	COH-	10-33	COH- ROB-
Menor pes submergit?	43g	ROB+	140-153	ROB+ COH+ COR+

Figura 5.32. Taula 4.19: Comparació entre els exercicis 32, 38, 39, 40 i 43g amb les intervencions de l'entrevista i els seus resultats a l'entrevista.



Figura 5.33. Síntesi dels resultats de la taula 4.19 (també a fig. 5.2).

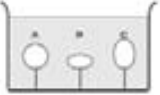




	Sistema	S'ha investigat experimentalment en el moment de parlar-ne?	S'ha investigat experimentalment en un altre moment?
cas 1 s1		no	no
cas 2 s2		sí	
cas 3 s3		no	sí, posteriorment
cas 4 s4		no	sí, posteriorment
cas 5 s5		sí	

Figura 5.34. Part superior de la taula 4.20: sistemes estudiats durant l'entrevista.

Pel que fa a la taula 4.20 (fig. 5.34), recull uns resultats de la recerca però també podria servir per establir visualment, de forma àgil, sobre quins sistemes s'experimentarà, i quan. Una forma visual de presentar informació, que podria ser útil per al professorat.

6

Perspectives de futur

Les conclusions a les que hem arribat en aquesta recerca tenen uns límits de validesa força evidents, ja que es basen únicament en una seqüència i en una sola entrevista a un alumne concret. Des d'aquesta perspectiva, la nostra aportació obre diverses possibilitats, ja que queden molts interrogants oberts que poden donar lloc a les corresponents línies de recerca.

Aquí n'apuntarem només algunes, que fan referència a tres àmbits interrelacionats:

- el de la pràctica docent a l'aula,
- el de la formació del professorat,
- i el de la recerca didàctica, que ha de proporcionar el coneixement necessari per acabar d'estendre aquest camp de coneixement a altres situacions, coneixement que mitjançant la formació del professorat ha de millorar la pràctica docent.

6.1 LA PRÀCTICA DOCENT A L'AULA: REPTES EN EL DISSENY DE SEQÜÈNCIES

Hem mostrat de quina manera una seqüència concreta pot ajudar a millorar els coneixements científics d'un alumne. La recerca futura en aquest camp podria ampliar-se amb el disseny d'unitats didàctiques que seguissin el nostre model en altres temes, camps científics i nivells escolars, per comprovar fins a quin punt és possible una generalització dels resultats que hem trobat, principalment en torn a:

1. *elaborar i utilitzar* adequadament noves *seqüències* didàctiques en la línia exposada en aquest treball,
2. *conduir* amb profit la conversa *teachback* per fer avançar la classe,
3. *crear* un “*to emocional*” convenient a l’aula, i
4. *estimular* l’ús de la *metacognició* i del *llenguatge* per aconseguir aprenentatges més sòlids.

6.2 LA FORMACIÓ DEL PROFESSORAT: REPTES EN EL DISSENY D’UN CURRÍCUL FORMATIU

És evident que perquè el professorat pugui realitzar a l’aula les accions més o menys innovadores esmentades en la llista anterior, haurà de tenir la formació adequada, sigui inicial o permanent. Requerirà investigar sobre el disseny de *cursos formatius* que permetin al professorat adquirir les *competències* esmentades.

A més a més d’aconseguir el domini d’aquestes quatre competències, aquests cursos haurien també d’aconseguir qu el professorat fos capaç de:

5. mostrar un domini prou sòlid del *coneixement didàctic del contingut*.

6.3 REPTES EN LA RECERCA DIDÀCTICA EN CIÈNCIES

La recerca didàctica hauria d’anar aprofundint alguns aspectes dels cinc àmbits mostrats, de manera que el nou coneixement pugui proporcionar una base a les innovacions a l’aula, mitjançant el sistema de formació del professorat.

Es presenten a continuació algunes de les preguntes de recerca que es podrien formular, organitzades en els cinc àmbits esmentats.

6.3.1 Sobre l'elaboració i utilització de seqüències didàctiques innovadores

- Quines estratègies són més eficaces per aconseguir que el professorat aprengui a analitzar les seqüències en termes de models mentals?
- Com ensenyar a dissenyar seqüències de ciències amb aquesta orientació?
- Amb quins criteris es podrien seleccionar i seqüenciar els sistemes per a una seqüència didàctica?
- Què caracteritza les preguntes que aconseguen que l'alumnat pugui generar inferències de forma autònoma?
- Com avaluar –i, si cal, millorar– les estratègies previstes per resoldre insatisfaccions en una seqüència?
- Quines representacions de la seqüència i de la seva anàlisi són més útils al professorat per comprendre la seva dinàmica conjunta?
- Es poden millorar els sistemes de representació de la seqüència que hem utilitzat?
- Hem detectat dos tipus de regles: de comportament i de llenguatge. Pot ser que n'hi hagi d'altres?
- No hem detectat tipus diferents de regles de comportament, però n'hi ha?
- Hem trobat quatre tipus de regles de llenguatge, però n'hi ha més?
- Amb quins criteris es pot establir un equilibri raonable entre les accions explícites i les optatives?
- I entre les regles explícites i les optatives?
- Com afecten els nostres resultats a la programació basada en el context?
- Són recomanables activitats que s'escapin del flux de la seqüència? En quines condicions?
- És útil la distinció *macro* / *meso* / *micro* / *nano* en el disseny i l'anàlisi de seqüències?

6.3.2 Sobre la conducció de converses *teachback*

- Què canvia al passar de la conversa amb un alumne a fer-la amb un grup nombrós? Com adaptar-hi les tècniques de regulació?
- Quines estratègies són més eficaces per aconseguir que el professorat aprengui a analitzar sobre la marxa les intervencions dels alumnes en una conversa –sigui amb un alumne o amb tot el grup– i generar rèpliques adequades?
- Com ensenyar a utilitzar el doble sistema de regulació (el temàtic i el de l'activitat)?
- Quines representacions de la conversa i de la seva anàlisi són més útils per aprendre a conduir-la mitjançant la tècnica *teachback* i la doble regulació?
- Es poden millorar els sistemes de representació de la conversa que hem utilitzat?
- Hem detectat quatre tipus d'ambigüitats, però n'hi ha més?
- Com s'aprèn a detectar indicis no verbals d'estats emocionals de l'alumnat?
- Es poden tenir diferents problemes oberts o és millor tenir-ne un? En quines condicions?
- Amb quines estratègies podem ajudar l'alumnat a interioritzar la conversa *teachback* i els seus mecanismes reguladors?

6.3.3 Sobre la creació d'un determinat "to emocional" a l'aula

- El professor està de gust amb aquest model de classe? Quins aspectes hi resulten claus?
- L'alumnat està de gust amb aquest model de classe? Quins aspectes hi resulten claus?
- L'aprenentatge sobre aquestes bases proporciona millors resultats? I més satisfacció?

- Fins a quin punt els problemes que en un moment de la conversa estan oberts tenen un component motivador en la cerca de solució? En quines condicions?
- Millora l'interès de l'alumnat en els temes estudiats? I la seva actitud envers l'estudi de les ciències? I la seva implicació amb les tasques escolars?
- S'aconsegueix una dinàmica d'aula més activa i col·laboradora?
- Té repercussions positives en la qualitat de la convivència escolar?
- En quines condicions es fan compatibles els objectius didàctics escolars amb els objectius personals?
- En quines condicions són pertinents intervencions autoritàries o no interactives?
- És possible imaginar aplicacions innovadores de la relació entre raó i emoció?
- Es poden establir les etapes típiques en la consecució d'un clima d'aula adequat? De quina manera es podria estimular des de la classe de ciències el pas cap a la següent?

6.3.4 Sobre l'ús de la metacognició i el llenguatge

- Fins a quin punt un alumne segueix el fil narratiu de la seqüència i és conscient de la finalitat de cada acció? Amb quins mètodes és més fàcil determinar-ho?
- Amb quines estratègies es pot afavorir que cada alumne relacioni cada acció amb el fil narratiu?
- Pot ser útil que l'alumnat escrigui la narració del procés seguit durant el desenvolupament d'un tema? Amb quines estratègies es pot facilitar?
- De quines maneres es pot aconseguir que l'alumnat sigui conscient dels processos seguits a classe que són paral·lels als dels científics?

- Com es pot fer evolucionar l'alumnat des de posicions realistes ingènues cap a un realisme més moderat?
- Quins tipus d'activitats didàctiques podrien ajudar l'alumnat a tenir una visió de conjunt d'un tema i del que hi ha après a fer? I de la feina del científic? I del paper de la ciència en la nostra societat?

6.3.5 Sobre el domini del coneixement didàctic del contingut

- Podria demostrar-se que el raonament basat de forma explícita en models mentals faria necessari que els professors aprofundissin més, i de manera diferent a l'habitual, en els coneixements científics del currícul obligatori durant la formació del professorat?
- Es pot aconseguir de caracteritzar el coneixement didàctic del contingut del currícul obligatori de ciències que el professorat hauria de tenir si adopta aquesta perspectiva en la seva acció docent?

Bibliografia

- ABD-EL-KHALICK, F (2000). Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 22 (7) 665- 701.
- ADÚRIZ-BRAVO, A. I IZQUIERDO, M. (2005). Utilising the '3P-model' to characterise the discipline of didactics of science. *Science & Education*, 14 (1), 29–41.
- AGUIAR, O.G., MORTIMER, E.F. I SCOTT, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: the authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 174–193.
- ALIBERAS, J. (1987). *Algunes aportacions de la filosofia de la ciència al progrés de la didàctica de les ciències*. Ponència presentada al II Congrés Internacional sobre Investigació en Didàctica de les Ciències i les Matemàtiques. València.
- ALIBERAS, J. (1989). *Didàctica de les ciències. Perspectives actuals*. Vic: Eumo.
- ALIBERAS, J. (1999). El treball de recerca de Batxillerat a l'IES "Josep Puig i Cadafalch" de Mataró. *Cathedra*, 12, p. 10-11.
- ALIBERAS, J. (2006a). ¿Qué conocimiento científico enseñar en la escuela obligatoria? *Aula de Innovación Educativa*, 150, p. 14-18.
- ALIBERAS, J. (2006b). Diàleg socràtic a la classe de ciències. *Ciències*, 3, p. 29-33.
http://crecim.uab.cat/revista_ciencias/revista/numeros/numero%20003/ciencias%20003%20p29_33%20Dialeg%20socratic%20Aliberas.pdf.
- ALIBERAS, J. (2008). Ensenyar ciències a l'ESO. *Ciències*, 9, p. 28-34:
http://crecim.uab.cat/revista_ciencias/revista/numeros/numero%20009/ciencias%20009%20p28-34%20ciencias%20eso%20aliberas.pdf
- ALIBERAS, J. I BOTTA, A. (1999). *Decisions de centre respecte el model de treball de recerca*. *Cathedra*, 12, p. 13-17.

- ALIBERAS, J., GÓMEZ, R., RULL, M. I SERRA, A. (1998). *Química 2, Batxillerat*. Barcelona: Castellnou.
- ALIBERAS, J., GUTIÉRREZ, R. I IZQUIERDO, M. (1989a). Modelos de aprendizaje en la didáctica de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 9, p. 17-24.
- ALIBERAS, J., GUTIÉRREZ, R. I IZQUIERDO, M. (1989b). La didáctica de les ciències: una empresa racional. *Enseñanza de las Ciencias*, 7, 3, p. 277-284.
- ALIBERAS, J. I PINTÓ, R (1996). *Approaches for the use of MBL in the secondary school*. Ponència presentada a la conferència internacional de la GIREP-ICPE. Ljubljana.
- ALIBERAS, J., RULL, M. I SERRA, A. (1997). *Química 1, Batxillerat*. Barcelona: Castellnou.
- ALIBERAS, J. I SOLSONA, N. (2009). Factores que determinan la supervivencia de una innovación educativa. *Enseñanza de las Ciencias*, 27, 3, 393-404.
- ALLEN, M. (2010). Learner error, affectual stimulation, and conceptual change. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 2, 151–173.
- ALSOP, S. I WATTS, M. (2003). Science education and affect. *International Journal of Science Education*, 25, 9, 1043–1047.
- ANDERSSON, B. I BACH, F. (2005). On designing and evaluating teaching sequences taking geometrical optics as an example. *Science Education* 89, 196–218.
- ARÀNEGA, S. (COMP.) (2003). *Emociones y educación. Qué son y cómo intervenir desde la escuela*. Barcelona: Graó.
- AUSTIN, J.L (1962). *Cómo hacer cosas con palabras. Palabras y acciones*. Barcelona: Paidós (1982).
- BACH, E. I DARDER, P. (2002). *Sedueix-te per seduir. Viure i educar les emocions*. Barcelona: Edicions 62.
- BOLTON, G. (2005). Taking responsibility for our stories: in reflective practice, action learning, and Socratic dialogue. *Teaching in Higher Education*, 10, 2, 271/280.
- BRYAN, R.R., GYNN, S.M. I KITTLESON, J.M. (2010). Motivation, achievement, and advanced placement intent of high school students learning science. *Science Education*, 95, 1049 – 1065.
- BUNGE, M. (1959). *Causalidad. El principio de causalidad en la ciencia moderna*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana (1997).

- BUTLER SONGER, N., LEE, H-S. I McDONALD, S. (2003). Research towards an expanded understanding of inquiry science beyond one idealized standard. *Science Education*, 87, 490– 516.
- CANDELA, A. (1999). *Ciencia en el aula*. México D.F.: Paidós.
- CHEVALARD, Y. I JOSHUA, M.-A. (1991). *La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné*. Paris: La pensée sauvage.
- CHI, M.T. I BASSOK, M. (1989). *Learning from examples via self-explanations*. Dins de Resnick, L. (Ed.) (1989) *Knowing, learning and instruction: essays in honor of Robert Glaser*. Hillsdalle, N.J.: Erlbaum.
- CHI, M.T.H. I SLOTTA, J.D. (1993). The ontological coherence of intuitive physics. *Cognition and instruction*, 10 (2 & 3), 249-260.
- CLAXTON, G. (1989). *Cognition doesn't matter if you are scared, depressed and bored*. Dins de Adey, S., Bliss, J., Head, I. i Shayer, M. (Eds.), *Adolescent development and school science* (London: Falmer Press).
- CLEMENT, J.J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9) 1041- 1053.
- CLEMENT, J.J. I REA-RAMÍREZ, M.A. (EDS.) (2008). *Model based learning and instruction in science*. Springer.
- CLEMENT, J.J. (2009). *Creative model construction in scientist and students*. Springer.
- CLEMENT, J.J. I BROWN, D.E. (2009). *Using analogies and models in instruction to deal with students' preconceptions*. Capítol 10 de Clement, J.J. (2009) *Creative construction in scientists and students*. Springer.
- DEBARBIEUX, É. (2012). *Millorar el clima escolar: per què i com?* Debats d'educació. Fundació Jaume Bofill i UOC.
<http://www.debats.cat/ca/debats/millorar-el-clima-escolar-que-i-com>
- DE KLEER, J. I BROWN, J.S. (1983). *Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models*. Dins de Gentner i Stevens (1983).
- DE KLEER, J. I BROWN, J.S. (1984). A qualitative physics based on confluences. *Artificial Intelligence*, 24 (1-3) pp. 7-83.

- DE WITT, J. I HOHENSTEIN, J. (2010). School trips and classroom lessons: an investigation into teacher–student talk in two settings. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 454–473.
- DESIGN-BASED RESEARCH COLLECTIVE (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32 (1), 5–8.
- DEVELAKI, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education* 16, 725-749.
- DRIVER, R. (1981). Pupil's alternative frameworks in science. *European Journal of Science Education*, 3, 1, 93-101.
- DRIVER, R. GUESNE, E. I TIBERGHEN, A. (1985). *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: MEC-Morata (1989).
- DRIVER, R. I OLDHAM, V. (1986). A constructivist approach to curriculum development in science. *Studies in Science Education*, 13, 105-122.
- DRIVER, R. , NEWTON, P. I OSBORNE, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287–312.
- DUIT, R. (2007). Science education research internationally: conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 3(1), 3-15.
- DUIT, R. (2009). *Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. <http://www.ipn.uni-kiel.de/aktuell/stcse/stcse.html>.
- DUIT, R. I TREAGUST, D.F. (2003). Conceptual change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 6, 671–688.
- DUSCHL, R., MAENGA, S. I SEZENB, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47, 2, 123–182.
- ECHVERRIA, J. (1995). *Filosofía de la ciencia*. Madrid: Akal.
- FLORES, F. I AL. (sense data). *Ideas previas. Base de datos*. (Consulta: 3/11/2012) <http://ihm.ccadet.unam.mx/ideasprevias/index.php>
- FORD, M.J. I WARGO, B.M. (2012). Dialogic framing of scientific content for conceptual and epistemic understanding. *Science Education*, 96, 369 – 391.

- FRIJTERS, S., DAM, G. I RIJLAARSDAM, G. (2008). Effects of dialogic learning on value-loaded critical thinking. *Learning and Instruction* 18, 66-82.
- GENERALITAT DE CATALUNYA (2007). Decret 143/2007 d'ordenació dels ensenyaments de l'educació secundària obligatòria. DOGC. 4915, 29/6/2007.
- GENTNER, D. I STEVENS, A.S. (1983). *Mental models*. Hillsdale, Erlbaum.
- GIERE, R.N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago and London: The University of Chicago press.
- GIERE, R.N. (ED.) (1992). *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- GILBERT, J.K. I BOULTER, C.J. (EDS.) (2000). *Developing models in science education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- GIORDAN, A. I DE VECCHI, G. (1987). *Los orígenes del saber. De las concepciones personales a los conceptos de los científicos*. Sevilla: Díada (1988).
- GOBERT, J.D. (2000). A typology of causal models for plate tectonics: Inferential power and barriers to understanding. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 937- 977.
- GOBERT, J.D. I BUCKLEY, B.C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 891- 894.
- GUTIERREZ, R. (1990). Aportaciones de la investigación en inteligencia artificial a la investigación didáctica: el modelo mental mecánico de De Kleer y Brown. *Aspectos didácticos de Física y Química (Física, 4)*. ICE de la Universidad de Zaragoza.
- GUTIÉRREZ, R. (1994). *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad. El caso de la dinámica elemental*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense:
<http://eprints.ucm.es/tesis/19911996/S/5/S5006201.pdf>
- GUTIÉRREZ, R. (2001). *Mental models and the fine structure of conceptual change*. A Pintó, R. i Suriñach, S. (Eds.) *Physics Teacher Education Beyond 2000*, Paris: Elsevier, p. 35-44.
- GUTIERREZ, R. (2003). *Conversation theory and self-learning*. Dins de Psillos i al. (eds.) *Science research in the knowledge-based society*. Kluwer Academic Publishers: 43-49.

- GUTIÉRREZ, R. (2004). La modelización y los procesos de enseñanza / aprendizaje. *Alambique*, 42, pp. 8-18. Octubre 2004.
- GUTIÉRREZ, R. (2005). Polisemia actual del concepto "modelo mental". Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), 209-226.
- GUTIÉRREZ, R. I OGBORN, J. (1992). A causal framework for analysing alternative conceptions. *International Journal of Science Education*, 14, 2, 201-220.
- GUTIERREZ, R. I PINTÓ, R. (1996). *Mental models of physical systems: from description to explanation*. Paper presented at GIREP-ICPE International Conference. Ljubljana (Slovenia).
- GUTIÉRREZ, R. I PINTÓ, R. (2005). *Teachers' conceptions of scientific model. Results from a preliminary study*. Dins de Pintó, R. i Couso, D. (eds), *Proceedings of the Fifth International ESERA Conference on Contributions of Research to Enhancing Students'Interest in Learning Science*, pp. 866-868. Barcelona.
- HARRISON, A.G. I TREAGUST, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011- 1026.
- HESTENES, D. (1987). Toward a modeling theory of physics instruction. *American Journal of Physics*, 55 (5), 440-454.
- HIERREZUELO, I J. MONTERO, A. (1988). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Barcelona: MEC-Laia.
- HONG, Z.R., LIN, H.-S.I LAWRENZ, F.P (2012). Effects of an integrated science and societal Implication Intervention on promoting adolescents' positive thinking and emotional perceptions in learning science. *International Journal of Science Education*, 34 (3) 329–352.
- INHEDER, B. I PIAGET, J. (1955). *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Barcelona: Paidós (1985).
- IZQUIERDO, M. (2000). Comunicació personal.
- IZQUIERDO, M. I ADÚRIZ-BRAVO, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education* 12, 27–43.

- IZQUIERDO, M. I ALIBERAS, J. (2004). *Pensar, actuar i parlar a la classe de ciències. Per un ensenyament de les ciències racional i raonable*. Barcelona: Servei de Publicacions UAB.
- IZQUIERDO, M., ESPINET, M., GARCIA, M.P., PUJOL, R.M. I SANMARTÍ, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra: "Aportación de un modelo cognitivo de ciencia a la enseñanza de las ciencias", p. 79-91.
- JOHNSON, N.E. (1983). *Elicitation and representation of children's arithmetic knowledge*. Tesis doctoral. Chelsea College, University of London.
- JOHNSON-LAIRD, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Cambridge University Press.
- JORBA, J. I SANMARTÍ, N. (1994). La luz y las sombras. *Cuadernos de Pedagogía*, 221, 20-23.
- JORBA, J. I SANMARTÍ, N. (1996). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de ciencias de la naturaleza y matemáticas*. Madrid: MEC.
- KARPLUS, R. I AL. (1977). *Science teaching and the development of reasoning*. Berkeley: Lawrence Hall Of Science, University of California.
- KOPONEN, I.T. I MÄNTYLÄ, T (2006). Generative role of experiments in physics and in teaching physics: a suggestion for epistemological reconstruction. *Science & Education* 15 (1) 31-54.
- KOPONEN, I.T. (2007). Models and modelling in physics education: A critical re-analysis of philosophical underpinnings and suggestions for revisions. *Science & Education*, 16, 751-773.
- KUHN, L. I REISER, B.J. (2006). *Structuring activities to foster argumentative discourse*. Comunicació presentada a l'American Educational Research Association, San Francisco.
- LAKOFF, G. I JOHNSON, M. (1980). *Metáforas de la vida cotidiana*. Madrid: Cátedra (1986).
- LAUKENMANN I AL. (2003). An investigation of the influence of emotional factors on learning in physics instruction. *International Journal of Science Education*, 25, 4, 489-507.

- LEACH, J. I SCOTT, P. (2002). Designing and Evaluating Science Teaching Sequences: An Approach Drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, 115-142.
- LEMKE, J. (1993). *Aprender a hablar ciencia. Lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós (1997).
- LIJNSE, P. (1995). 'Developmental research' as a way to an empirically based 'didactical structure' of science. *Science Education*, 79 (2), 189-199.
- LIJNSE, P. (2000). *Didactics of science: the forgotten dimension in science education research?* Capítol 8 de Kortland, K. i Klaassen, K. (Eds.) (2010). *Designing theory-based teaching-learning sequences for science education*. Utrecht: CDBeta Press
http://www.staff.science.uu.nl/~kortl101/book_sympPL.pdf
- LIJNSE, P. I KLAASSEN, K. (2004). Didactical structures as an outcome of research on teaching–learning sequences? *International Journal of Science Education*, 26, 5, 537–554.
- LLEWELLYN, D. (2005). *Teaching high school science through inquiry*. Thousand Oaks: Corwin Press i London: Sage Publications.
- LOUCA, L.T., ZACHARIA, Z.C. I CONSTANTINO, C.P. (2011). In quest of productive modeling-based learning discourse in elementary school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 8, 919–951.
- MANDLER, G. (1999). *Emotions*. Capítol 8 de Rumelhart, D.E. i Martin Bly, B.O., (eds.) *Cognitive Science*. San Diego: Academic Press.
- MCCOMAS, W.F. (Ed.) (1998). *The nature of science in science in science education. Rationales and strategies*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- MCNEIL, K.L. I PIMENTEL, D.S. (2010). Scientific discourse in three urban classrooms: the role of the teacher in engaging high school students in argumentation. *Science Education*, 94, 203 – 229.
- MÉHEUT, M. I PSILLOS, D. (2004). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education*, 26, 5, 515–535.

- MINNER, D.D., LEVY, A.J. I CENTURY J. (2010). Inquiry-Based Science Instruction—What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (4), 474–496.
- MINSKY, M. (1985). *La sociedad de la mente*. Buenos Aires: Galápagos.
- MORGADO, I. (2006). *Emocions i intel·ligència social. Una aliança entre els sentiments i la raó*. Barcelona: Mina.
- MORTIMER, E. I SCOTT, P. (2003). *Meaning making in secondary science classrooms*. Maidenhead : Open University Press.
- NERSESSIAN, N.J. (1995). Should physicists preach what they practice? Constructive modeling in doing and learning physics. *Science & Education*, 4, 203-226.
- NERSESSIAN, N.J. (2008). Mental modeling in conceptual change. A Vosniadou, S. (ed.) *Handbook of Conceptual Change*. London: Routledge.
- NRC (1996). *National Science Education Standards*.
<http://www.nap.edu/catalog/4962.html>.
- NÚÑEZ-OVIEDO, M.C., CLEMENT, J. I REA-RAMIREZ, M.A. (2008). *Developing complex mental models in biology through model evolution*. Capítol 10 de Clement, J.J. i Rea-Rodríguez, M.A. (eds.) (2008). *Model based learning and instruction in science*. Springer.
- OSBORNE, R. I FREYBERG, P. (1985). *El aprendizaje de las Ciencias. Implicaciones de la ciencia de los alumnos*. Madrid: Narcea (1991).
- OSBORNE, J., SIMON, S. I COLLINS, S. (2003). Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25, 9, 1049–1079.
- PASK, G. (1975). *Conversation, cognition and learning. A cybernetic theory and methodology*. Amsterdam: Elsevier.
- PASK, G. (1976). *Conversation theory. Applications in education and epistemology*. New York: Elsevier.
- PIAGET, J. (1967). *La psicología de la inteligencia*. Barcelona: Crítica (1983).
- PICARD, P.W. I AL. (2004). Affective learning - A manifesto. *BT Technology Journal*, 2, (4), 253-269.

- PINTÓ, R. ALIBERAS, J. I GÓMEZ, R. (1996). Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas. *Enseñanza de las Ciencias*, 14, 2, p. 221-232.
- PINTRICH, P., MARX, R. AND BOYLE, R. (1993). Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. *Review of Educational Research*, 63, 167–199.
- POSNER, G. STRIKE, K. HEWSON, P. I GERTZOG, W. (1982). Accomodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 2, 211-227.
- PSILLOS, D., TSELFES, V. I KARIOTOGLOU, P. (2004). An epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching–learning sequences: the case of fluids. *International Journal of Science Education*, 26, 5, 555–578.
- REA-RAMIREZ, M.A. (2008). *Determining target models and effective learning pathways for developing understanding of biological topics*. Capítol 3 de de Clement, J.J. i Rea-Ramirez, M.A. (eds.) (2008). *Model based learning and instruction in science*. Springer.
- REINER, M. I GILBERT, J. (2000). Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *International Journal of Science Education*, 22, 5, 489- 506.
- ROCARD. M. I AL. (2007). *Science education now: a renewed pedagogy for the future of Europe*. Brussel·les: Comunitats Europees.
- RUSS, R.S., SCHERR, R.E, HAMMER, D. I MIKESKA, J. (2008). Recognizing mechanistic reasoning in student scientific inquiry: a framework for discourse analysis developed from philosophy of science. *Science Education*, 92, 499 – 525.
- SANMARTÍ, N. I JORBA, J. (1995). Autorregulación de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique*, 4, 59-77.
- SCHECKER, H.P. (1998). *Integration of experimenting and modelling. Modelling by advanced educational technology: examples from nuclear physics*. Capítol 3.7 de Fraser i Tobin (Eds.) (1998) *International handbook of Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- SENSEVY, G., TIBERGHIE, A., SANTINI, J. LAUBÉ, S. I GRIGGS, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92, 424-446.
- SERRANO, T. (1992). *Desarrollo conceptual del sistema nervioso en niños de 5 a 14 años. Modelos mentales*. Tesis doctoral. Madrid: Universidad Complutense.
- SCHWARZ, C.V., REISER, B.J., DAVIS, E.A., ACHE'R, L.K.A., FORTUS, D., SHWARTZ, Y., HUG, B. I KRAJCIK, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46 (6), 632–654.
- SCOTT, P., MORTIMER, E. I AGUIAR, O. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: a fundamental characteristic of meaning interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, 4, 605- 631.
- SENSEVY, G., TIBERGHIE, A., SANTINI, J. LAUBÉ, S. I GRIGGS, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education* 92: 424-446.
- SHERIN, B.L, KRAKOWSKI, M. I LEE, V.R. (2012). Some assembly required: how scientific explanations are constructed during clinical interviews. *Journal of Research in Science Teaching*, 49 (2), 166–198.
- SHULMAN, L.S. (1987). Knowledge and teaching: foundations of the new reform. *Harvard Educational Review*, 57 (1), 1-22.
- SOLSONA, N. (1997). *L'emergència de la interpretació dels fenòmens químics*. Tesis doctoral Universitat Autònoma de Barcelona
<http://www.tdx.cat/handle/10803/4726;jsessionid=287A3DA6C085E811071E43C0D84B93B9.tdx2>
- SORENSEN, R.A. (1992). *Thought experiments*. Oxford: Oxford University Press.
- TALÍZINA, N. (1984). *Psicología de la enseñanza*. Moscú: Progreso (1988).
- TIBERGHIE, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, 4: 71-87.

- TIBERGHIEEN, A. (2000). *Designing teaching situations in secondary school*. Capítol 2 de Millar, Leach, J.T. i Osborne, J. (Eds.). *Improving science education: the contribution of research*. Buckingham: Open University Press.
- TIBERGHIEEN, A., VINCE, J. I GAIDIOZ, P. (2009). Design-based Research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31, 17, 2275–2314.
- TOULMIN, S. (1972). *La comprensión humana: I. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza Universidad (1977).
- VIIRI, J. I SAARI, H. (2004). Research-based teaching unit on the tides. *International Journal of Science Education*, 26, (4), 463–481.
- VIIRI, J. I SAVINAINEN, A. (2008). Teaching-learning sequences: A comparison of learning demand analysis and educational reconstruction. *Latin American Journal of Physics Education*, Vol. 2, No. 2, 80-86.
- VON AUFSCHNAITER, C., ERDURAN, S., OSBORNE, J., & SIMON, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(1), 101 – 131.
- WARREN, B., BALLENGER, C., OGOŃOWSKI, M., ROSEBERY, A.S. I HUDICOURT-BARNES, J. (2001). Rethinking diversity in learning science: the logic of everyday sense-making. *Journal of Research in Science Teaching* 38, 529- 552.
- WINDSCHITL, M. (2004). Folk theories of “inquiry:” How preservice teachers reproduce the discourse and practices of an atheoretical scientific method. *Journal of Research in Science Teaching*, 41 (10), 481–512.
- WU, H.-K. (2003). Linking the microscopic view of chemistry to real-life experiences: intertextuality in a high-school science classroom. *Science Education*, 87, 868– 891.
- ZEMBYLAS, M. (2002). Constructing genealogies of teachers' emotions in science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 79-103.
- ZEMBYLAS, M. (2004). Young children's emotional practices while engaged in long-term science investigation. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 7, 693–719.

ZEMBYLAS, M. (2005). Three perspectives on linking the cognitive and the emotional in science learning: Conceptual change, socio-constructivism and poststructuralism. *Studies in Science Education*, 41 (1), 91-116.

Annex 1

Seqüència original: “La pressió”

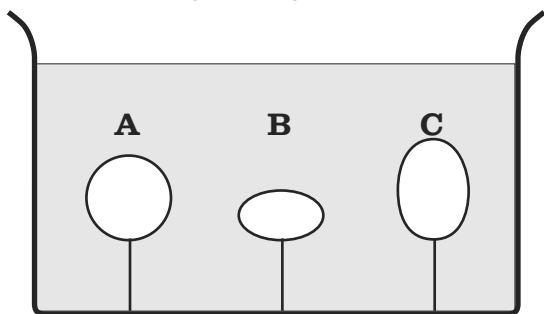
Es presenta la seqüència analitzada en la seva versió original, tal com s'utilitza a classe amb l'alumnat.

3. La pressió

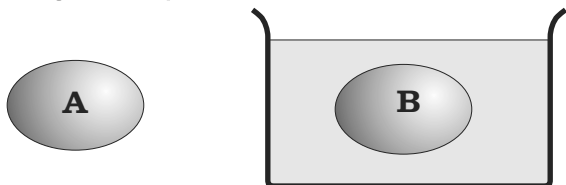
Què en penses?

32. Contesta cada pregunta i argumenta cada resposta:

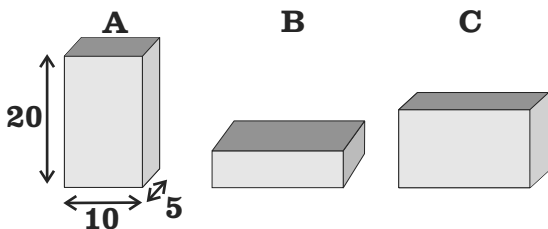
a) Quina serà la forma d'una pilota de platja esfèrica quan estigui bastant submergida i subjectada al fons?



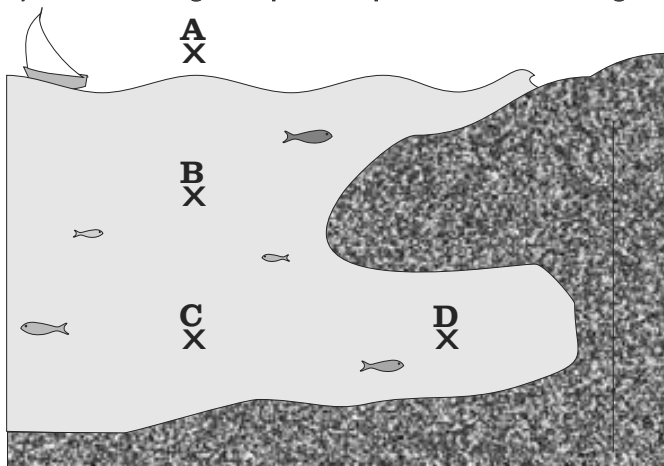
b) Quan ens pesa més la pedra quan l'hem de sostenir: dins o fora de l'aigua? Per què?



c) Ordena els tres casos segons l'ordre amb què, segons com es posi, s'enfonçarà més en la neu aquest objecte.



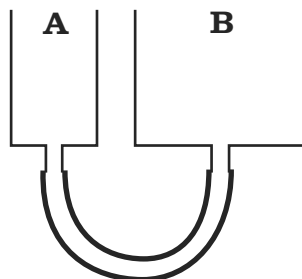
d) Ordena els següents punts de pressió menor a més gran:



poca pressió molta pressió

--	--	--	--

e) Quan tirem aigua en aquests recipients connectats per sota, quin d'ells acabarà tenint més alçada d'aigua? Per què?

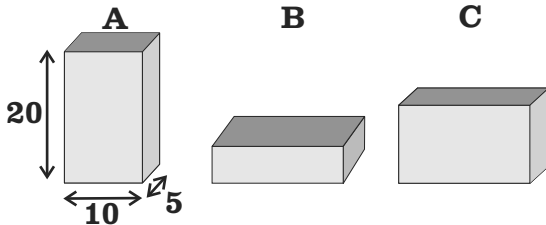


f) Per què vola un globus d'aire calent i no un d'aire fred?



Què hi diu la ciència?

33. Tornem a pensar en el bloc de l'exercici 32c:



Havies pensat en quina posició s'enfonsaria més al deixar-lo sobre la neu. Possiblement ho vas relacionar amb el valor de la superfície de contacte. Anem a estudiar-ho:

a) Calcula l'àrea de contacte entre el bloc i la neu en cadascuna de les tres posicions:

A:

B:

C:

b) Pots treure alguna conclusió de comparar l'enfonsament previst amb la superfície de contacte?

c) Tenint en compte que el bloc pesa 2000 g, calcula quants grams ha d'aguantar cada centímetre quadrat de neu en cada cas:

A:

B:

C:

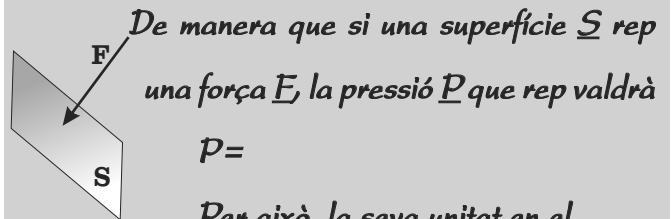
d) Repetint els càlculs anteriors determina si s'aixafarà més el fang quan el premem amb el puny (60 cm^2) fent-li 3 kp de força o amb tota la mà (140 cm^2) fent-hi 7 kp?



e) En els exercicis anteriors has calculat la força que rep un centímetre quadrat. Aquest resultat s'anomena **pressió**:

La pressió que rep una superfície és...

Per calcular-la cal...



Per això, la seva unitat en el sistema internacional és el...

que es

representa per...

i també s'anomena...

().



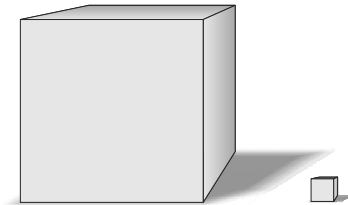
34. Utilitza la idea de pressió per explicar:

a) Què ha de fer aquesta noia per no fer-se mal amb els claus.

b) Per què no ens fem mal al clavar una xinxeta a la paret.

Apliquem-ho

35. Imagina que tenim un cub d'un metre cúbic ple d'aigua i un altre cub d'un decímetre cúbic també ple d'aigua. (No comptem el pes del dipòsit, suposem que és molt petit).

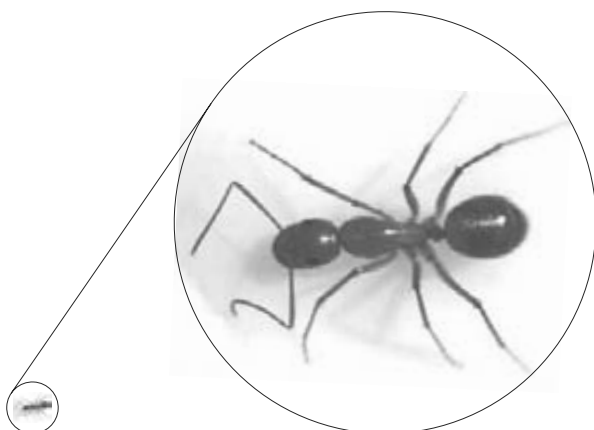


a) Calcula la pressió que cadascun fa contra el terra.

b) Quina és més gran? Quantes vegades?

c) Per què?

d) Si una formiga augmentés 10 vegades les seves mides, la pressió que hauria de suportar una pota seria la mateixa? Explica-ho.



36. Quan som al nivell del mar, la pressió que ens fan els gasos de l'atmosfera és d'aproximadament 1 kp/cm^2 .

a) Quina força ens està fent contra el palmell de la mà (d'uns 150 cm^2)?



b) Una ventosa petita fa uns 15 cm^2 de superfície. Quan està ben enganxada, quina força caldrà fer per desenganxar-la?



c) Si traguéssim tot l'aire de l'interior d'una llauna de refresc (la paret lateral fa uns 10 cm d'alta i uns 21 de llarga), quina força l'aixafaria pels costats?



d) A les pel·lícules de ciència ficció hi solen sortir unes naus amb grans finestres. Si aquesta finestra fes dos per sis metres, quina força estaria aguantant, si a dins la nau hi ha la pressió atmosfèrica?

La pressió hidrostàtica

La pressió hidrostàtica és la que fan els líquid o gasos immòbils.

Què en penses?

37. Recull aquí les teves respostes a l'exercici 32:

- a) Crec que a més fondària (32d)...
- b) Crec que la pressió de l'aigua segons la direcció és (32a)...
- c) Crec que la pressió dins d'una cova (32d)...

Què hi diu la ciència?

38. a) Dibuixa un diagrama del dispositiu experimental.

b) Què farem per veure com varia la pressió amb la fondària?

c) Quin ha estat el resultat? Dibuixa'l.

d) Conclusió:

Com més gran és la fondària, la pressió...

39. Anem a veure com varia la pressió amb la direcció:

a) Per estudiar-ho haurem de...

b) Dibuixa el resultat obtingut:

c) Conclusió:

Si sense canviar la fondària variem la direcció, la pressió...

40. Finalment estudiarem la pressió sota una cova.

a) Per fer-ho hem de procurar...

b) Dibuixa el resultat:

c) Conclusió:

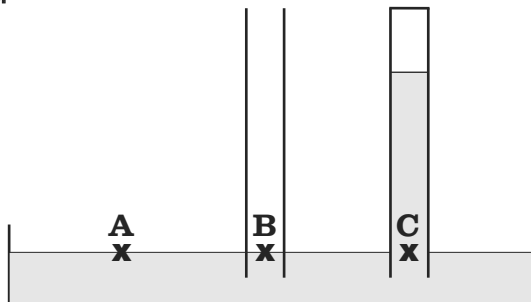
En definitiva, la pressió de l'aigua depèn només de...

Apliquem-ho

41. Al segle XVII els enginyers de mines que vollen bombejar l'aigua cap a l'exterior es van adonar que amb bombes d'aspiració, per molt potents que fossin, només la podien elevar uns 10 metres.

a) Si tenim un tub de 10 m d'altura i 1 cm² de secció, tot ple d'aigua, quina pressió està fent l'aigua sobre la base?

En el següent dibuix hi veus tres punts en el mateix nivell. A és a la superfície lliure de l'aigua. B també, però dins d'un tub obert. I C és a la mateixa altura dins d'un tub després d'haver-ne xuclat una part de l'aire i fent així que el líquid pugés.



b) Argumenta si tots tres punts reben la mateixa pressió.

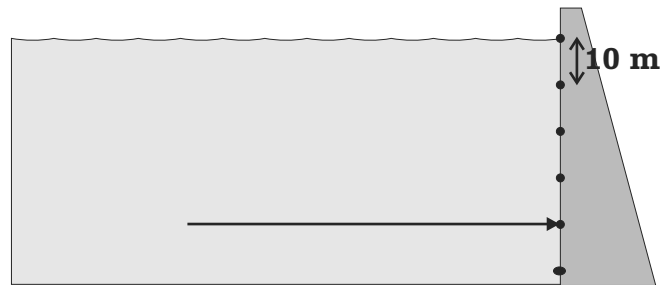
c) Tenint en compte les dues respostes anteriors, a quants kp/cm² equival la pressió atmosfèrica?

d) Conclusió

La pressió atmosfèrica equival a la pressió que fan metres d'aigua.

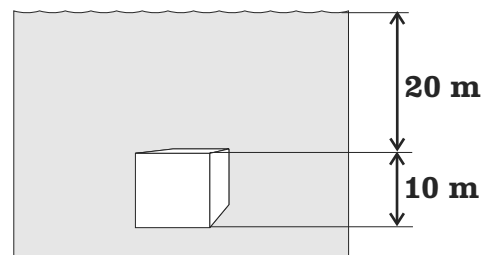
e) Sabries dibuixar una gràfica qualitativa de com varia la pressió atmosfèrica amb l'altura?

42. a) Completa els dibuixos de la força que fa l'aigua sobre cadascun dels centímetres quadrats de la presa que s'han assenyalat cada 10 m de fondària, anotant-hi els valors:



b) Per què el mur d'una presa el fan més gruixut a la part de baix que a la de dalt?

43. Tenim un dau de 10 m de costat submergit a 20 m de la superfície de l'aigua:



a) Quina força fa l'aigua contra la cara superior del cub?

b) I contra la inferior?

c) Quant sumen les forces laterals? Perquè?

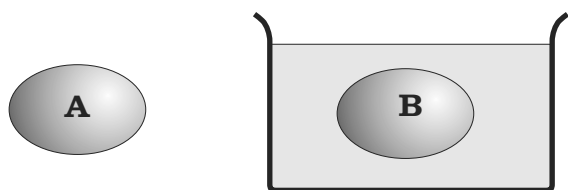
d) Quant sumen totes les forces? Cap a on va dirigida aquesta força resultant? Per què?

e) La força total que fa l'aigua té alguna relació amb el material de què està fet el cub? Per què?

f) Conclusió:

Qualsevol objecte submergit en un fluid rep una força dirigida cap a ... degut a...

g) Una pedra submergida sembla pesar menys que a fora perquè...



h) Un globus d'aire calent vola perquè...

44. Imagina que abans de col·locar el dau dins l'aigua (exercici 43) l'espai del dau estava ocupat per aigua.

a) Quant pesava l'aigua que hi havia on després hi haurà el dau?

b) Estava en equilibri? Com ho saps?

c) Per què no queia tot aquest pes?

d) Conclusió (principi d'Arquímedes):

Qualsevol objecte submergit en un fluid rep una força dirigida cap a ... igual a...

45. Submergim el següent bloc en aigua.



a) La força ascensional que li faci l'aigua, dependrà de la posició en què estigui el bloc? Explica-ho.

b) Quant valdrà la força ascensional que rep el bloc?

c) Si el bloc està fet d'una fusta de densitat $0,8 \text{ g/cm}^3$, calcula el seu pes real.

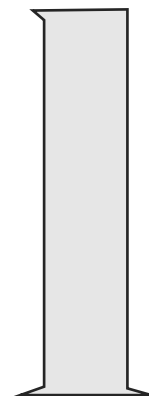
d) A partir dels càlculs anteriors decideix si surarà en aigua o s'enfonsarà. Argumenta-ho.

e) Escribeu una regla que permeti estalviar aquests càlculs per decidir si un objecte homogeni surarà en un líquid o no:



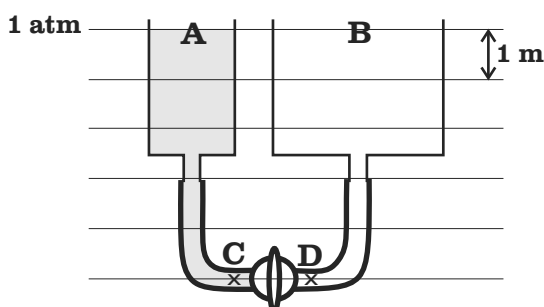
f) Dibuixa com quedarien aquestes substàncies immiscibles (els sòlids estan en forma de trossos petits) quan les col·loquem en una proveta:

Substància o material	Densitat (g/cm^3)
Aigua (l)	1,0
Bromoform (l)	2,9
Ferro (s)	7,8
Fusta (s)	0,9
Mercuri (l)	13,6
Oli (l)	0,8
Quars (s)	2,6
Suro (s)	0,2
Tetraclorur de carboni (l)	1,6



46. Demuestra mitjançant un exemple numèric que la força ascensional no depèn de la fondària ni de la posició de l'objecte.

47. Hem omplert d'aigua el dipòsit A mantenint tancada l'aixeta que el comunica amb el B, que és buit.



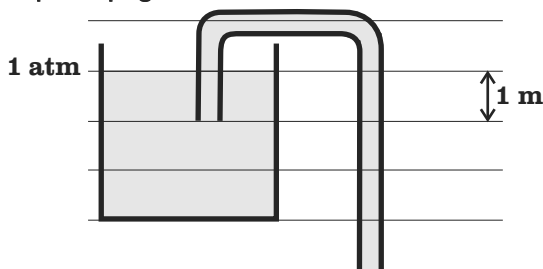
a) Anota la pressió a cada línia isòbara (estan dibuixades a 1 m d'altura una de l'altra). Quina pressió hi ha en el punt C?

b) Si volem que a l'obrir l'aixeta no passi aigua entre els dipòsits, fins a quin nivell hauràs d'omplir abans el B? Per què? (Dibuixa-ho)

c) La pressió depèn de la forma del recipient?

El sífó

48. Hem posat un tros de mànega tal com indica el dibuix. Per un extrem està enfonsada en un dipòsit d'aigua i per l'altre hem xuclat fins que s'ha omplert d'aigua. Amb la mà impedim que en pugui sortir o entrar res.

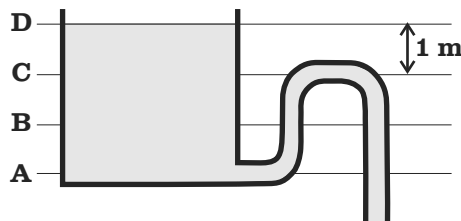


a) Completa les pressions corresponents a cada isòbara.

b) L'aigua tindrà tendència a entrar o a sortir per l'extrem inferior de la mànega? Per què?

c) Per què no es pot fer aixecar l'aigua qualsevol alçada per damunt de la superfície del dipòsit?

49. El sífó s'utilitza en les sistemes dels vàters. I també és una peça clau en les fonts naturals que ragen intermitentment. La seva estructura es semblant a la següent (el dipòsit està rebent un cabal d'aigua constant):



a) Què passa quan el dipòsit es comença a omplir i arriba al nivell A i al nivell B? Per què?

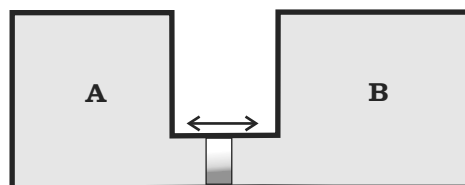
b) Què passa a l'arribar al nivell C? Per què?

c) Quin serà el nivell màxim d'aigua en el dipòsit? Per què?

d) I el nivell mínim?

Pressió i moviment

50. Aquests dos dipòsits contenen dos gasos, A i B, i estan units per un tub que conté un pistó que s'hi pot moure lliurement.



a) Quina cara del pistó rebrà més força si la pressió d'A és més gran que la de B? Per què?

b) Cap a on anirà?

c) Conclusió:

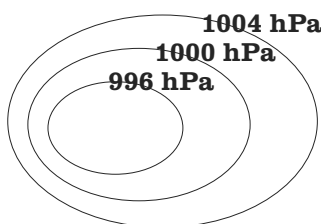
Si un objecte mòbil rep més pressió per un costat que per l'altre...

51. En aquesta foto s'està produint una tempesta d'estiu. A causa del gran escalfament del terra durant tot el matí i migdia, a la tarda es generen corrents ascensionals que penetren en zones d'aire més fred, la humitat condensa i es transforma en ruixats intensos o pedra, acompanyats de llamps i trons.



a) Tenint en compte el moviment de l'aire, on hi haurà més pressió a terra, lluny de núvol (A) o sota del núvol (B)? Per què?

b) Cap a on bufarà el vent prop de terra quan hi ha tempesta? Per què?



c) Aquest mapa isobàric representa la pressió atmosfèrica al nivell de terra. Què pots deduir del que deu estar passant?

d) Conclusió:

Quan a la superfície de la terra hi ha dos punts amb diferent pressió atmosfèrica...

52. A l'estiu, durant el dia el terra s'escalfa molt i l'aigua molt menys.



a) On esperes que hi hagi corrents ascendent: sobre la ciutat (A) o sobre el mar (B)? Per què? Dibuixa'ls.

b) Quines diferències de pressió sobre el terra es produiran? Per què?

c) Quins vents es produiran sobre el terra? Per què?

d) Quins vents es produiran en alçada? Per què? Dibuixa'ls.

e) Argumenta si la marinada durant el dia és un vent sec o humit; també si és calent o fresc.



f) Durant la nit el terra es refreda ràpidament, mentre que l'aigua canvia molt poc la seva temperatura. On esperes que hi hagi corrents ascendents: sobre la ciutat (A) o sobre el mar (B)? Per què? Dibuixa'ls.

g) Quines diferències de pressió sobre el terra es produiran? Per què?

h) Quins vents es produiran sobre el terra? Per què?

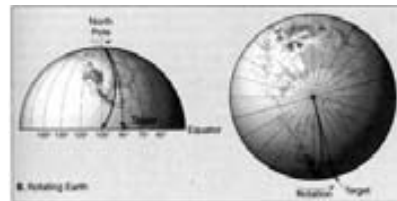
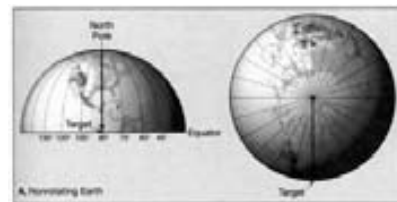
i) Quins vents es produiran en alçada? Per què? Dibuixa'ls.

j) Argumenta si el terra durant la nit és un vent sec o humit; també si és calent o fresc.

Ho sabies?

La força de Coriolis

Encara que a l'exercici 51 hem arribat a la conclusió correcta que l'aire es mou des de les altes a les baixes pressions, el cas és que a la Terra s'hi ha de comptar un altre factor que modifica aquest moviment: és la rotació de la Terra.



Per entendre-ho t'has d'imaginar que des del pol nord disparem una bala de canó cap a l'equador. Si la Terra no girés, la bala aniria directament a l'objectiu.

En canvi, com que realment la Terra gira cap a l'est, mentre la bala fa el seu viatge la Terra tindria temps de girar un cert tros, de manera que la bala

no arribaria allà on havia d'anar, sinó més a l'oest.

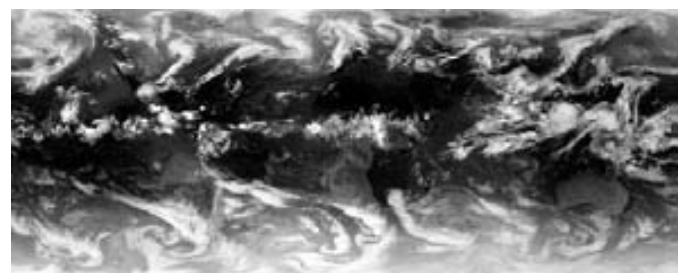
Per al que ha disparat, tot i que hagi apuntat bé, és com si la bala s'hagi anat desviant cap a la seva dreta. El mateix podrien dir els que l'hagin vista passar.

Si féssim el tir a la inversa, de l'equador al pol nord, la bala sortiria cap al nord, però amb una certa velocitat cap a l'est, pel fet d'haver estat llançada des de l'equador. D'aquesta manera també es desviaria de l'objectiu caient més a la seva dreta, aquest cop cap a l'est.

Aquesta desviació –que a l'hemisferi nord és sempre cap a la dreta i al sud cap a l'esquerra– la van descobrir efectivament artillers, però en distàncies més curtes. Ho atribuïren a una força de desviació, que s'anomenà **força de Coriolis**, el científic francès que el 1835 va explicar-ne el motiu i la va saber calcular.

(Quan sàpigues més sobre forces veuràs que no és una força autèntica, sinó fictícia: de fet ningú no desvia la bala! És per això que la paraula *força* s'hauria de posar entre cometes i dir-ne "*força*" de Coriolis o, millor, *efecte de Coriolis*).

De totes formes, aquest efecte de Coriolis és el motiu real que fa que les depressions i huracans girin en sentit contrari a l'hemisferi nord i al sud, com es pot veure en aquesta foto del Meteosat:



Annex 2

La mateixa seqüència, amb elements utilitzats en la seva anàlisi

Es presenta la seqüència analitzada, però afegint-hi alguns elements utilitzats quan se l'ha analitzada:

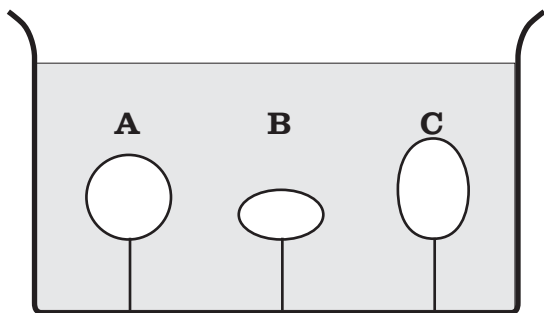
- Numeració dels sistemes que hi apareixen: els específics, dins d'un cercle blau, i els genèrics, en cercle vermell
- L'enunciat de les regles i la seva numeració s'han marcat amb rectangles de color blau cel

3. La pressió

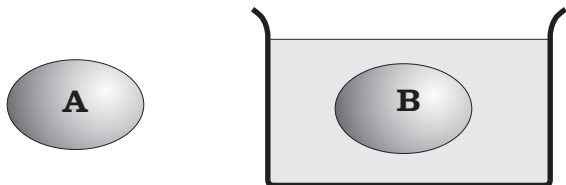
Què en penses?

32. Contesta cada pregunta i argumenta cada resposta:

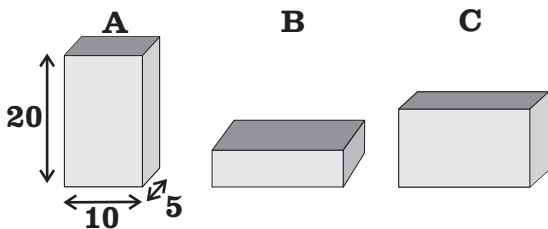
a) Quina serà la forma d'una pilota de platja esfèrica quan estigui bastant submergida i subjectada al fons?



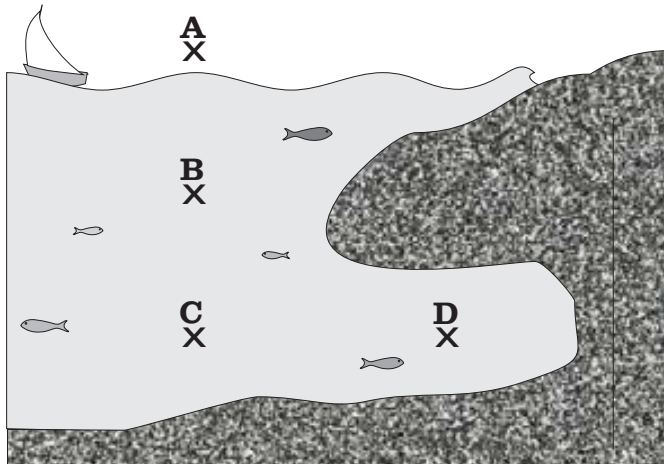
b) Quan ens pesa més la pedra quan l'hem de sostenir: dins o fora de l'aigua? Per què?



c) Ordena els tres casos segons l'ordre amb què, segons com es posi, s'enfonçarà més en la neu aquest objecte.



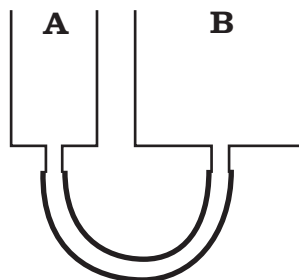
d) Ordena els següents punts de pressió menor a més gran:



poca pressió molta pressió

--	--	--	--

e) Quan tirem aigua en aquests recipients connectats per sota, quin d'ells acabarà tenint més alçada d'aigua? Per què?



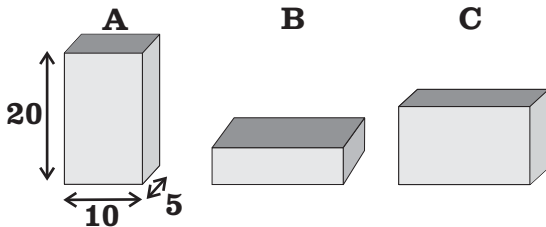
f) Per què vola un globus d'aire calent i no un d'aire fred?



S1

Què hi diu la ciència?

33. Tornem a pensar en el bloc de l'exercici 32c:



Havies pensat en quina posició s'enfonsaria més al deixar-lo sobre la neu. Possiblement ho vas relacionar amb el valor de la superfície de contacte. Anem a estudiar-ho:

a) Calcula l'àrea de contacte entre el bloc i la neu en cadascuna de les tres posicions:

A:

B:

C:

b) Pots treure alguna conclusió de comparar l'enfonsament previst amb la superfície de contacte?

R1a àrea ↑ → enfonsament ↓

c) Tenint en compte que el bloc pesa 2000 g, calcula quants grams ha d'aguantar cada centímetre quadrat de neu en cada cas:

A:

B:

C:

(R1b) F sobre 1 cm² ↑ → enfonsament ↑

d) Repetint els càlculs anteriors determina si s'aixafarà més el fang quan el premem amb el puny (60 cm²) fent-li 3 kp de força o amb tota la mà (140 cm²) fent-hi 7 kp?



e) En els exercicis anteriors has calculat la força que rep un centímetre quadrat. Aquest resultat s'anomena **pressió**:

La pressió que rep una superfície és...

pressió = força sobre 1 cm²

Per calcular-la cal...

dividir F entre S

De manera que si una superfície S rep una força F, la pressió P que rep valdrà

$P = F / S$

Per això, la seva unitat en el

sistema internacional és el...

newton / m² = N / m² = Pa

que es

representa per...

i també s'anomena...

().



34. Utilitza la idea de pressió per explicar:

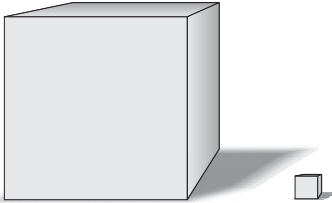
a) Què ha de fer aquesta noia per no fer-se mal amb els claus.

b) Per què no ens fem mal al clavar una xinxeta a la paret.

Apliquem-ho

35. Imagina que tenim un cub d'un metre cúbic ple d'aigua i un altre cub d'un decímetre cúbic també ple d'aigua. (No comptem el pes del dipòsit, suposem que és molt petit).

S6



a) Calcula la pressió que cadascun fa contra el terra.

b) Quina és més gran? Quantes vegades?

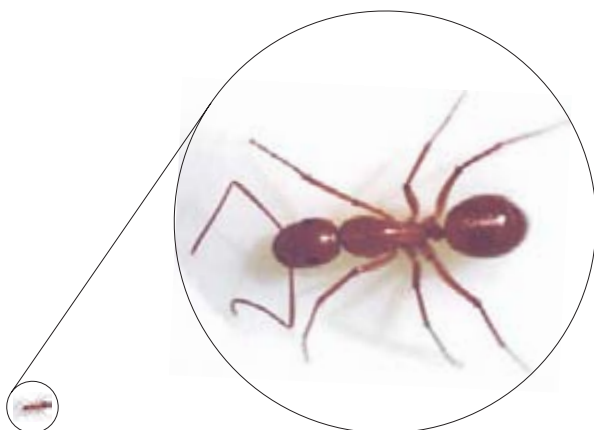
(R6a) mida \times n \rightarrow + pressió \times n

c) Per què?

R6b altura \uparrow \rightarrow pressió \uparrow

d) Si una formiga augmentés 10 vegades les seves mides, la pressió que hauria de suportar una pota seria la mateixa? Explica-ho.

S7



36. Quan som al nivell del mar, la pressió que ens fan els gasos de l'atmosfera és d'aproximadament 1 kp/cm^2 .

pressió atmosfèrica $\approx 1 \text{ kp/cm}^2$

a) Quina força ens està fent contra el palmell de la mà (d'uns 150 cm^2)?

S8

R8

S9



b) Una ventosa petita fa uns 15 cm^2 de superfície. Quan està ben enganxada, quina força caldrà fer per desenganxar-la?

S10



c) Si traguéssim tot l'aire de l'interior d'una llauna de refresc (la paret lateral fa uns 10 cm d'alta i uns 21 de llarga), quina força l'aixafaria pels costats?

S11



d) A les pel·lícules de ciència ficció hi solen sortir unes naus amb grans finestres. Si aquesta finestra fes dos per sis metres, quina força estaria aguantant, si a dins la nau hi ha la pressió atmosfèrica?

S12

La pressió hidrostàtica

La pressió hidrostàtica és la que fan els líquid o gasos immòbils.

Què en penses?

37. Recull aquí les teves respostes a l'exercici 32:

S13

- a) Crec que a més fondària (32d)...
- b) Crec que la pressió de l'aigua segons la direcció és (32a)...
- c) Crec que la pressió dins d'una cova (32d)...

Què hi diu la ciència?

38. a) Dibuixa un diagrama del dispositiu experimental.

S14

b) Què farem per veure com varia la pressió amb la fondària?

S15

c) Quin ha estat el resultat? Dibuixa'l.

d) Conclusió:

Com més gran és la fondària, la pressió...

fondària \uparrow \rightarrow pressió \uparrow

R15a

39. Anem a veure com varia la pressió amb la direcció:

a) Per estudiar-ho haurem de...

b) Dibuixa el resultat obtingut:

c) Conclusió:

Si sense canviar la fondària variem la direcció, la pressió...

diferent direcció \rightarrow igual pressió

R15b

40. Finalment estudiarem la pressió sota una cova.

a) Per fer-ho hem de procurar...

b) Dibuixa el resultat:

c) Conclusió:

En definitiva, la pressió de l'aigua depèn només de...

P només depèn de la fondària

R15c

Apliquem-ho

S16

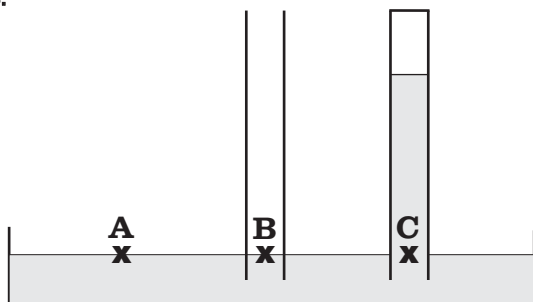
41. Al segle XVII els enginyers de mines que volien bombejar l'aigua cap a l'exterior es van adonar que amb bombes d'aspiració, per molt potents que fossin, només la podien elevar uns 10 metres.

R16 l'aigua succionada puja menys de 10 m

a) Si tenim un tub de 10 m d'altura i 1 cm² de secció, tot ple d'aigua, quina pressió està fent l'aigua sobre la base?

S17

En el següent dibuix hi veus tres punts en el mateix nivell. A és a la superfície lliure de l'aigua. B també, però dins d'un tub obert. I C és a la mateixa altura dins d'un tub després d'haver-ne xuclat una part de l'aire i fent així que el líquid pugés.



b) Argumenta si tots tres punts reben la mateixa pressió.

R17 mateix nivell → igual pressió

c) Tenint en compte les dues respostes anteriors, a quants kp/cm² equival la pressió atmosfèrica?

= R8 pressió atmosfèrica ≈ 1 kp / cm²

d) Conclusió

S18

La pressió atmosfèrica equival a la pressió que fan metres d'aigua.

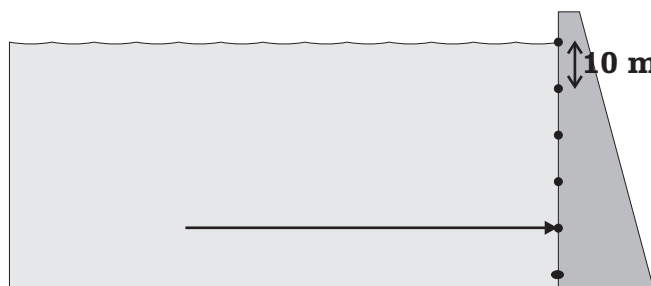
R18a pressió atmosfèrica ≈ pressió de 10 m d'aigua

e) Sabries dibuixar una gràfica qualitativa de com varia la pressió atmosfèrica amb l'altura?

R18b altura ↑ → pressió ↓

S19

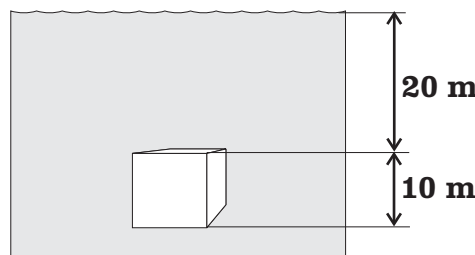
42. a) Completa els dibuixos de la força que fa l'aigua sobre cadascun dels centímetres quadrats de l'embassament que s'han assenyalat cada 10 m de fondària, anotant-hi els valors:



b) Per què el mur d'una presa el fan més gruixut a la part de baix que a la de dalt?

S20

43. Tenim un dau de 10 m de costat submergit a 20 m de la superfície de l'aigua:



a) Quina força fa l'aigua contra la cara superior del cub?

b) I contra la inferior?

c) Quant sumen les forces laterals? Perquè?

d) Quant sumen totes les forces? Cap a on va dirigida aquesta força resultant? Per què?

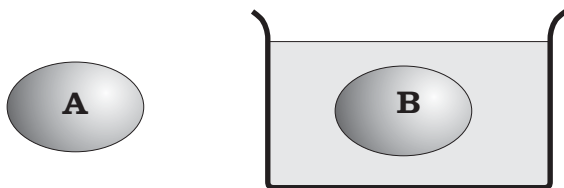
e) La força total que fa l'aigua té alguna relació amb el material de què està fet el cub? Per què?

f) Conclusió:

Qualsevol objecte submergit en un fluid rep una força dirigida cap a ... degut a...

$F_{\text{amunt}} > F_{\text{avall}} \rightarrow F_{\text{ascensional}}$

g) Una pedra submergida sembla pesar menys que a fora perquè...



h) Un globus d'aire calent vola perquè...



44. Imagina que abans de col·locar el dau dins l'aigua (exercici 43) l'espai del dau estava ocupat per aigua.

a) Quant pesava l'aigua que hi havia on després hi haurà el dau?

b) Estava en equilibri? Com ho saps?

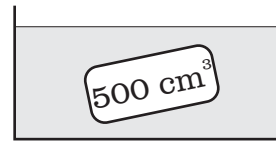
c) Per què no queia tot aquest pes?

d) Conclusió (principi d'Arquímedes):

Qualsevol objecte submergit en un fluid rep una força dirigida cap a ... igual a...

submergit: $F_{\text{ascens.}} = \text{pes fluid desplaçat}$

45. Submergim el següent bloc en aigua.



a) La força ascensional que li faci l'aigua, dependrà de la posició en què estigui el bloc? Explica-ho.

b) Quant valdrà la força ascensional que rep el bloc?

c) Si el bloc està fet d'una fusta de densitat $0,8 \text{ g/cm}^3$, calcula el seu pes real.

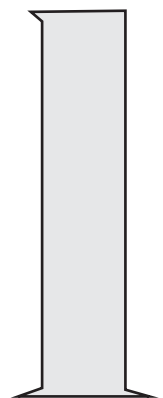
d) A partir dels càlculs anteriors decideix si surarà en aigua o s'enfonsarà. Argumenta-ho.

e) Escribeu una regla que permeti estalviar aquests càlculs per decidir si un objecte homogeni surarà en un líquid o no:

densitat objecte < densitat líquid \rightarrow surarà

f) Dibuixa com quedarien aquestes substàncies immiscibles (els sòlids estan en forma de trossos petits) quan les col·loquem en una proveta:

Substància o material	Densitat (g/cm^3)
Aigua (l)	1,0
Bromoform (l)	2,9
Ferro (s)	7,8
Fusta (s)	0,9
Mercuri (l)	13,6
Oli (l)	0,8
Quars (s)	2,6
Suro (s)	0,2
Tetraclorur de carboni (l)	1,6

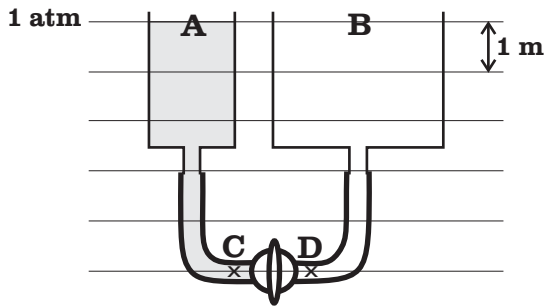


46. Demuestra mitjançant un exemple numèric que la força ascensional no depèn de la fondària ni de la posició de l'objecte.

F ascensional no depèn de fondària ni posició

S30

47. Hem omplert d'aigua el dipòsit A mantenint tancada l'aixeta que el comunica amb el B, que és buit.



a) Anota la pressió a cada línia isòbara (estan dibuixades a 1 m d'açada una de l'altra). Quina pressió hi ha en el punt C?

b) Si volem que a l'obrir l'aixeta no passi aigua entre els dipòsits, fins a quin nivell hauràs d'omplir abans el B? Per què? (Dibuixa-ho)

S31

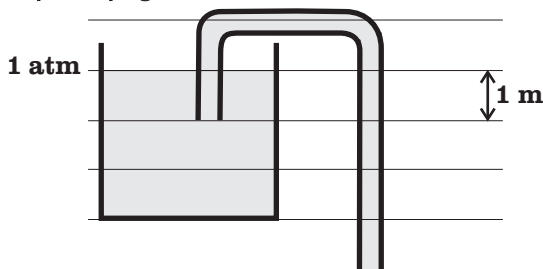
c) La pressió depèn de la forma del recipient?

=R15c la pressió no depèn de la forma del recipient

El sífó

S32

48. Hem posat un tros de mànega tal com indica el dibuix. Per un extrem està enfonsada en un dipòsit d'aigua i per l'altre hem xuclat fins que s'ha omplert d'aigua. Amb la mà impedim que en pugui sortir o entrar res.



a) Completa les pressions corresponents a cada isòbara.

b) L'aigua tindrà tendència a entrar o a sortir per l'extrem inferior de la mànega? Per què?

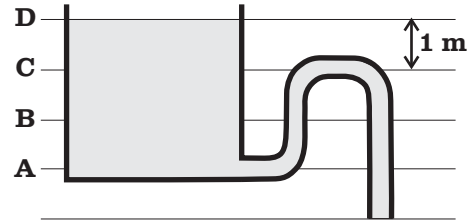
c) Per què no es pot fer aixecar l'aigua a qualsevol altura per damunt de la superfície del dipòsit?

R32

altura > 10 m → P < 0

S33

49. El sífó s'utilitza en les cisternes dels vàters. I també és una peça clau en les fonts naturals que ragen intermitentment. La seva estructura es semblant a la següent (el dipòsit està rebent un cabal d'aigua constant):



a) Què passa quan el dipòsit es comença a omplir i arriba al nivell A i al nivell B? Per què?

b) Què passa a l'arribar al nivell C? Per què?

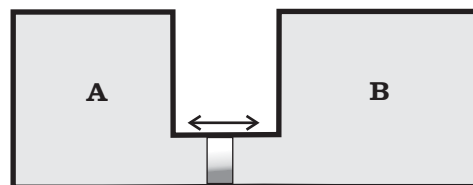
c) Quin serà el nivell màxim d'aigua en el dipòsit? Per què?

d) I el nivell mínim?

S34

Pressió i moviment

50. Aquests dos dipòsits contenen dos gasos, A i B, i estan units per un tub que conté un pistó que s'hi pot moure lliurement.



a) Quina cara del pistó rebrà més força si la pressió d'A és més gran que la de B? Per què?

b) Cap a on anirà?

c) Conclusió:

S35

Si un objecte mòbil rep més pressió per un costat que per l'altre...

R35

moviment cap a pressions menors

51. En aquesta foto s'està produint una tempesta d'estiu. A causa del gran escalfament del terra durant tot el matí i migdia, a la tarda es generen corrents ascensionals que penetren en zones d'aire més fred, la humitat condensa i es transforma en ruixats intensos o pedra, acompanyats de llamps i trons.

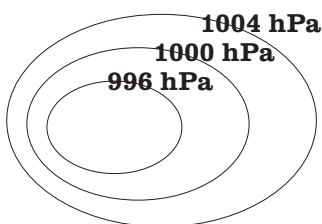
S36



a) Tenint en compte el moviment de l'aire, on hi haurà més pressió a terra, lluny de núvol (A) o sota del núvol (B)? Per què?

b) Cap a on bufarà el vent prop de terra quan hi ha tempesta? Per què?

S37



c) Aquest mapa isobàric representa la pressió atmosfèrica al nivell de terra. Què pots deduir del que deu estar passant?

d) Conclusió:

S38

Quan a la superfície de la terra hi ha dos punts amb diferent pressió atmosfèrica...

R38

vent cap a pressió menor

52. A l'estiu, durant el dia el terra s'escalfa molt i l'aigua molt menys.

S39



a) On esperes que hi hagi corrents ascendent: sobre la ciutat (A) o sobre el mar (B)? Per què? Dibuixa'ls.

b) Quines diferències de pressió sobre el terra es produiran? Per què?

c) Quins vents es produiran sobre el terra? Per què?

d) Quins vents es produiran en alçada? Per què? Dibuixa'ls.

S40

e) Argumenta si la marinada durant el dia és un vent sec o humit; també si és calent o fresc.



f) Durant la nit el terra es refreda ràpidament, mentre que l'aigua canvia molt poc la seva temperatura. On esperes que hi hagi corrents ascendents: sobre la ciutat (A) o sobre el mar (B)? Per què? Dibuixa'ls.

g) Quines diferències de pressió sobre el terra es produiran? Per què?

h) Quins vents es produiran sobre el terra? Per què?

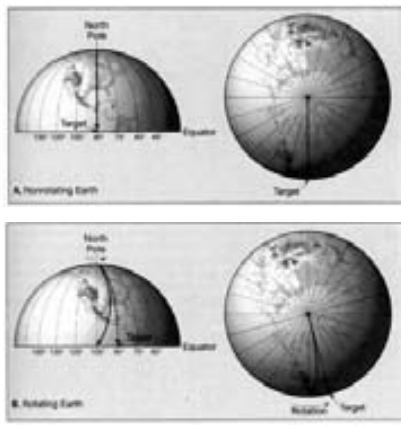
i) Quins vents es produiran en alçada? Per què? Dibuixa'ls.

j) Argumenta si el terral durant la nit és un vent sec o humit; també si és calent o fresc.

Ho sabies?

La força de Coriolis

Encara que a l'exercici 51 hem arribat a la conclusió correcta que l'aire es mou des de les altes a les baixes pressions, el cas és que a la Terra s'hi ha de comptar un altre factor que modifica aquest moviment: és la rotació de la Terra.



Per entendre-ho t'has d'imaginar que des del pol nord disparem una bala de canó cap a l'equador. Si la Terra no girés, la bala aniria directament a l'objectiu.

En canvi, com que realment la Terra gira cap a l'est, mentre la bala fa el seu viatge la Terra tindria temps de girar un cert tros, de manera que la bala

no arribaria allà on havia d'anar, sinó més a l'oest.

Per al que ha disparat, tot i que hagi apuntat bé, és com si la bala s'hagi anat desviant cap a la seva dreta. El mateix podrien dir els que l'hagin vista passar.

Si féssim el tir a la inversa, de l'equador al pol nord, la bala sortiria cap al nord, però amb una certa velocitat cap a l'est, pel fet d'haver estat llançada des de l'equador. D'aquesta manera també es desviaria de l'objectiu caient més a la seva dreta, aquest cop cap a l'est.

Aquesta desviació –que a l'hemisferi nord és sempre cap a la dreta i al sud cap a l'esquerra– la van descobrir efectivament artillers, però en distàncies més curtes. Ho atribuiren a una força de desviació, que s'anomenà **força de Coriolis**, el científic francès que el 1835 va explicar-ne el motiu i la va saber calcular.

(Quan sàpigues més sobre forces veuràs que no és una força autèntica, sinó fictícia: de fet ningú no desvia la bala! És per això que la paraula *força* s'hauria de posar entre cometes i dir-ne "*força*" de Coriolis o, millor, *efecte de Coriolis*).

De totes formes, aquest efecte de Coriolis és el motiu real que fa que les depressions i huracans girin en sentit contrari a l'hemisferi nord i al sud, com es pot veure en aquesta foto del Meteosat:



Annex 3

Testimonis de professores usuàries

Dues professores que han utilitzat materials elaborats amb les mateixos criteris que la seqüència analitzada, comenten la seva experiència.

Ensenyant el model cinètic de la matèria a primer d'ESO

Conxita Calvo

He utilitzat un quadernet (Annex 4) com a guia de treball per a l'alumnat. Bàsicament consisteix en preguntes per fer pensar l'alumnat sobre fenòmens concrets per trobar-hi una explicació. Les preguntes es contesten tant per lògica com a partir d'algun experiment. Combinant fenòmens i observacions sobre els tres estats de la matèria es va omplint, en el darrer full, una gran quadre de resum. A mida que els alumnes omplen aquest quadre, estan construint la seva concepció del model cinètic de la matèria, que els permet imaginar el comportament de les partícules en diferents situacions.

He utilitzat aquest material durant força anys i sempre m'ha resultat molt útil. Intentaré explicar-ne els motius.

Les preguntes estan pensades perquè l'alumne arribi a una certa contradicció, com a pas previ per poder fer un pas endavant i entendre que les coses van d'una altra manera de com es pensava. Per exemple, és molt normal que els alumnes considerin l'estat líquid com un intermedi entre el sòlid i el gas. Per això, al preguntar-los si en els líquids les partícules estan juntes o separades solen contestar que separades. Però a l'intentar comprimir aigua amb una xeringa sense aconseguir-ho, contradient el que esperaven, ja veuen que no és així i accepten amb naturalitat que deuen estar juntes.

Un altre aspecte que considero atractiu és la senzillesa dels experiments, molts d'ells amb materials quotidians: globus, xeringues, ventoses... Un material molt barat. Això, afegit a formular bones preguntes, aquelles que situen a l'alumne en un punt on pot pensar pel seu compte, afavoreixen la seva reflexió. Pot assumir les seves contradiccions, acceptant que les coses deuen ser d'una altra manera del que creia i, com a conseqüència, aprèn: veu el món d'una altra manera.

Les activitats estan molt ben seqüenciades. Hi ha una primera part de construcció del model, i una segona d'aplicació. Durant la construcció es segueixen tres línies de recerca sobre les partícules: si estan ordenades o desordenades, si estan juntes o

separades i si estan quietes o en moviment. Això trenca el raonament lineal, però es construeix una concepció coherent de cada estat que de mica en mica es va enriquint. Trobo interessant que s'acostumin a un pensament més complex que el lineal. A l'hora d'aplicar-ho primer es tracta de fer servir el que han après per relatar el que succeeix quan es va escalfant gel fins que arriba a convertir-se en vapor. Posteriorment s'aborden exemples quotidians: el vol dels avions, les dilatacions... L'aplicació és determinant perquè veuen la utilitat del model.

Aquests darrers anys, amb ordinadors a l'aula, hem pogut introduir-hi simulacions que van bé perquè ajuden a visualitzar allò que s'havien hagut d'imaginar, de manera que reforcen el model.

Segons la meva experiència, els trets bàsics del model els mantenen amb el temps. Ho recorden. Quan l'any següent, per exemple, els tornes a tenir i, treballant un altre tema, ho necessiten, ells mateixos ho expliquen amb partícules.

Al principi d'utilitzar aquest material tot ho veia en termes de partícules. Crec que als alumnes els passa el mateix.

Experiments de química per aprendre, a tercer d'ESO

Marga Martínez

La part de Física i Química de tercer la treballem amb un material fotocopiati (Annex 5). Hi treballem, per exemple, les reaccions químiques en general i també els àcids i bases, entre altres coses. Es tracta d'un material basat en preguntes que intenten obligar l'alumnat a pensar, moltes vegades mitjançant experiments. Vegem-ne un exemple.

Per introduir el tema d'àcids i bases fem una sèrie d'experiments al laboratori amb la finalitat de veure que les dissolucions es poden classificar en tres classes: àcides, bàsiques i neutres, i que els indicadors permeten identificar-les, introduint, de forma qualitativa l'escala de pH relacionats amb la presència d'ions H^+ i OH^- . Després hi ha un seguit d'experiments molt gràfics sobre la conducció de les dissolucions utilitzant una bombeta. Cada vegada que provem una dissolució demano que facin una predicció: passarà corrent per l'aigua destil·lada (solen dir que sí), i si hi afegim una miqueta de sal? i amb una miqueta de sucre? i per la de l'aixeta? i si a l'aigua destil·lada hi afegim àcid clorhídric? o una lletia d'hidròxid de sodi? o vinagre?... Cada cop hi afegim una gota d'indicador universal, i cal interpretar també els canvis de color. El fet és que els experiments van ajudant a la classe a arribar a un consens sobre si hi ha ions a la dissolució o no, i si n'hi ha molts o pocs. El procés és molt visual i els ajuda a interpretar el que passa: crec s'imaginem els ions movent-se per la dissolució.

Per acabar d'ajudar-los a imaginar-ho hi ha unes pàgines que mostren partícules indeterminades formant una dissolució. Si hi ha quatre molècules d'àcid clorhídric, ells indiquen que hi haurà quatre ions clorur i quatre ions hidrogen. I van dibuixant què passa a mida que hi afegim molècules d'hidròxid de sodi. Pinten el color de la dissolució (degut a l'indicador universal) en cada cas. He vist que d'un any per l'altre ho recorden perfectament.

El procés sempre és molt semblant: presentar una situació i preguntar-los que diguin què passarà, que ho argumentin. Fem l'experiment i han de descriure què passa i finalment, hi han de trobar explicació.

També van molt bé algunes lectures que hi ha de tant en tant, on s'aplica justament allò que acaben d'aprendre a algun cas tècnic o històric rellevant, d'aquesta manera també veuen la importància del que han après. Per exemple, la pluja àcida o el color de les hortènsies després del tema dels àcids, o l'explosió del dirigible Hindenburg i els llums de carbur quan apareixen l'hidrogen i acetilè respectivament, amb la possibilitat de reproduir la corresponent reacció al laboratori.

Per a l'alumnat aquesta manera de fer és fantàstica. La classe és molt més entretinguda i dinàmica que no pas l'explicació magistral. No hi ha color.

Personalment, m'agrada molt treballar així.

Annex 4

Seqüència per a primer d'ESO: “El model cinètic de la matèria”

Seqüència elaborada en la mateixa línia que l'analitzada en aquest treball. Una professora, Conxita Calvo, que l'ha estat utilitzant de forma repetida comenta la seva experiència a l'annex 3.

La seqüència es reparteix fotocopiada als alumnes tal com apareix aquí, excepte la pàgina 8 que, ampliada, ocupa la pàgina doble central.

EL MODEL CINÈTIC DE LA MATÈRIA

Aquest tema tracta de la manera com els científics imaginen la matèria. Ja veuràs que tindrà unes conseqüències molt curioses que et permetran comprendre fenòmens sorprenents.

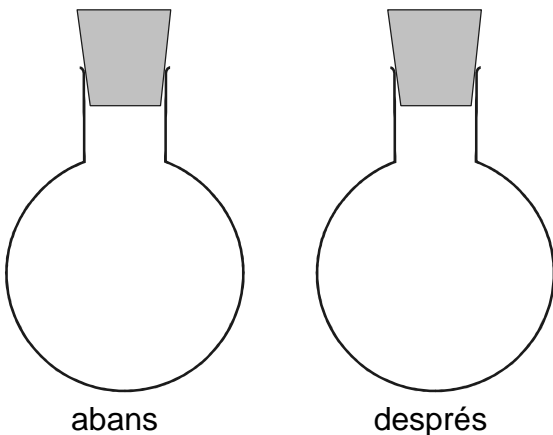
Algunes preguntes per començar

Ara contestaràs unes preguntes relacionades amb el tema. Si ara no veus alguna resposta amb seguretat no et preocupis, perquè durant el tema ja tindrem temps d'aclarir-ho.

1. Imagina que t'anessis fent cada vegada més i més petit, petitíssim. Si mentrestant vas mirant el següent, què creus que hi veuries? Fes també un dibuix del que creus que hi veuries.

Un jersei de llana	Un clau de ferro	L'agua d'un got
Veuria...	Veuria...	Veuria...
Dibuix:	Dibuix:	Dibuix:

2. Si continues sent molt i molt petit, imagina't un matràs de vidre ple d'aire. Si amb una bomba en traiem una mica, dibuixa com t'imagines l'aire que hi ha a l'interior, abans i després de treure'n una part:



3. Segur que alguna vegada has enganxat una ventosa en un vidre, en una rajola... i s'hi ha quedat enganxada. Per què creus que costa tant de desenganxar?

Descobrim com és la matèria "per dins"

Els científics que han estudiat de què estan fetes les coses estan s'han arribat a convèncer que *tota la matèria és feta de partícules*.

Però aquestes partícules són massa petites perquè les puguem veure. Les formigues i les puces són molt petites, però encara les veiem. Les cèl·lules i els microbis són molt petits, però els podem veure amb microscopis. Els virus són encara molt més petits que les cèl·lules, i només els podem veure amb microscopis potentíssims. Les partícules que formen la matèria són encara molt més petites. No les podem veure de cap manera. L'única possibilitat és *imaginar-les*.

Imaginant què passa amb les partícules és possible entendre i fer coses que potser mai no hauries pensat. Per això és molt útil estudiar i aprendre a utilitzar aquesta teoria tan important de la ciència, i tan útil per comprendre molts fenòmens.

Per estudiar aquest model o teoria ho farem com els científics:

- Primer *observarem* el comportament dels sòlids, dels líquids i dels gasos per *imaginar o deduir* el que deu passar amb les partícules.
- Després *ho farem servir* per comprendre i predir fenòmens i observacions més i més interessants.

Ets ja a punt? Doncs comencem.

Investiguem la distància entre partícules

4. Amb xeringues es pot intentar comprimir alguns materials per fer-los més petits. A partir dels resultats podràs deduir si les partícules de cada material estan juntes o separades.

Observació	Interpretació	Dibuix de partícules	
		abans	després
Hem agafat una xeringa tancada amb aigua. Quan premíem l'èmbol...	Les partícules d'un líquid...		
Quan ho fem amb un gas...			

5. Imagina que vols comprimir un sòlid (pensa'n algun que no contingui un gas).

Observació	Interpretació	Dibuix de partícules	
		abans	després
Si intento comprimir...	Les partícules...		

Tot això que acabes de descobrir sobre les partícules ho anotes en les conclusions de la darrera pàgina.

Investiguem si les partícules ocupen una posició fixa o no

6. Barregem cafè amb llet.

a) Creus que són iguals les partícules del cafè que les de la llet? Què t'ho fa pensar?

b) Creus que es barrejaran bé totes les partícules de cafè i totes les de llet, elles soles, si les deixes prou temps? Per què ho dius?

c) Així, doncs, les partícules de líquid poden canviar de lloc o ocupen sempre la mateixa posició?

7. Les lletres negres d'aquest paper són fetes per un tipus de partícules.

a) Les partícules del paper creus que són iguals o diferents de les de la tinta seca? Què t'ho fa pensar?

b) Creus que es barrejaran bé elles soles les partícules de tinta amb totes les del paper si les deixes prou temps?

c) Les partícules de sòlid poden canviar de lloc o ocupen sempre la mateixa posició?

8. Algú darrera teu ha destapat una ampolla de colònia. Al cap de poc t'arriba l'olor, tot i que ets una mica lluny.

a) Pensa en les partícules i digues com pot ser que t'arribi l'olor.

b) Són les mateixes partícules les de l'olor de colònia i les de l'aire normal? Què t'ho fa pensar?

c) En definitiva, les partícules de gas poden canviar de lloc o ocupen sempre la mateixa posició?

Observació	Interpretació	Dibuix	
		abans	després
En els materials sòlids...	Les partícules...		

Afegeix les teves conclusions a les de la darrera pàgina.

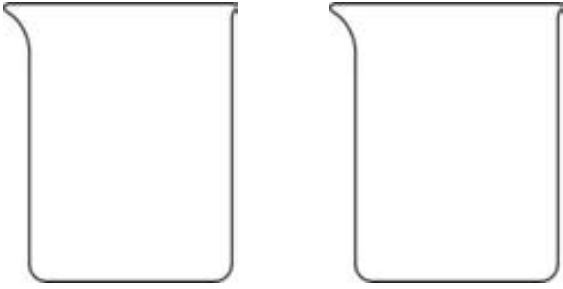
Investiguem com podem fer moure les partícules

9. Ara farem un petit experiment. Preparareu dos vasos de precipitats ben iguals. En un hi posareu aigua freda de l'aixeta i en l'altre aigua calenta. A partir d'aquí caldrà que cada grup tingueu la taula molt i molt quieta. No l'heu de bellugar gens ni mica mentre espereu que l'aigua de cada vas quedi completament quieta.

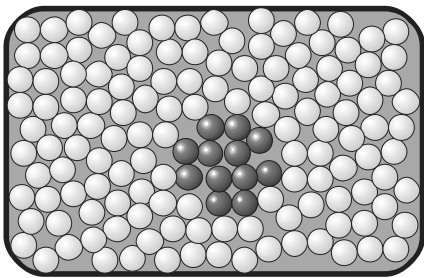
a) Aleshores demaneu que us posin una gota de colorant a cada vas. Observa bé el que passa i dibuixa l'aspecte dels dos vasos després d'una estona de posar-hi la gota.

5

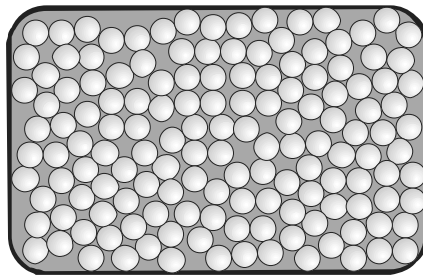
Describe el que has vist:



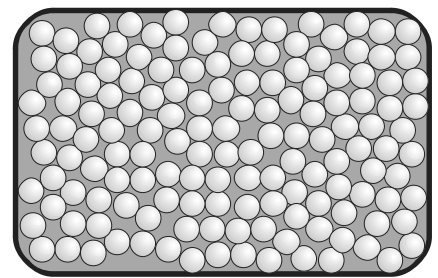
b) Ara farem una comparació. Imagina que en una safata amb boles blanques hi posem, juntes, unes boles negres. Dibuixa com podrien estar les boles negres després de sacsejar una mica la safata, i després de sacsejar-la molt. Marca en cada dibuix fins a on arribarà, vista de lluny, la taca negra.



al començament



després de sacsejar una mica



després de sacsejar molt

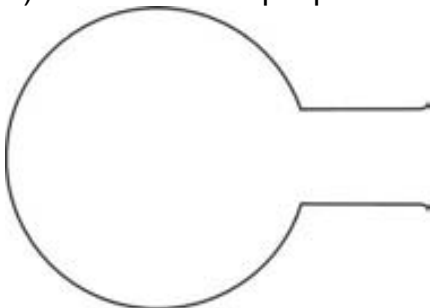
c) Tornem ara a la taca de colorant. Creus que s'assembla en alguna cosa amb la safata amb boles blanques i negres? Explica-ho.

d) Creus que les partícules dels líquids ben quietes estan també ben quietes? Què t'ho fa pensar?

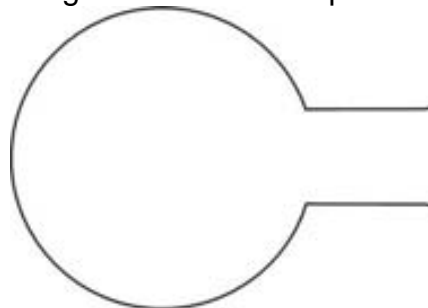
e) Quina deu ser, llavors, la diferència entre les partícules de l'aigua calenta i les de l'aigua freda?

10. Ara anem a investigar si això també passa amb els gasos. Col·locarem un globus desinflat a la boca d'un matràs. Escalfarem fort el matràs.

a) Observa bé el que passa i dibuixa la posició del globus abans i després d'escalfar:



abans



després

b) Què has observat?

c) Quan poses el globus al principi quines partícules el piquen més fort: les de dins o les de fora? Explica com ho saps.

d) Després d'escalfar, quines partícules el piquen més fort: les de dins o les de fora? Què t'ho fa pensar?

e) Segons això, quina deu ser la diferència entre les partícules de l'aire fred i les de l'aire calent?

11. Finalment hem d'aclarir si també passa el mateix amb els sòlids. Ho podrem esbrinar si fregues ben fort una mà contra l'altra diverses vegades.

a) Explica el que has notat amb el tacte.

b) Explica el que deu haver passat amb les partícules de la teva mà.

c) Creus que pot ser que les partícules d'un sòlid tinguin un cert moviment sense moure's del seu lloc? Explica què t'imagines.

d) Quina és la diferència entre les partícules de la teva mà quan la tens freda i quan s'ha escalfat?

Resumint...

Observació	Interpretació	Dibuix	
		abans	després
Escalfem un sòlid.	Les partícules...		

Modifica i completa les teves conclusions de la darrera pàgina.

Fem funcionar el model cinètic

12. Ara farem un exercici utilitzant el full gran de la pàgina 8:

Imagina que agafem gel de la nevera (1) i l'anem escalfant (2). Comença a fondre (3) i finalment ja s'ha fos tot, l'aigua és freda (4). Com que continuem escalfant, la temperatura puja (5). Arriba un moment que es posa a bullir (6). Després de continuar molta estona ja no queda líquid (7). Finalment, continuem escalfant el vapor (8).

Amb tot el que ja saps es tracta de fer el següent a cadascun dels vuit casos:

- En el rectangle de més amunt, escriu què representa (per exemple, *gel fred*)
- En el quadre del mig, un dibuix de com t'imagines les partícules de l'aigua (per exemple, *partícules juntes, ordenades i amb poca vibració*)
- En el rectangle de sota, una frase que ho descriu (per exemple, "*partícules juntes, ordenades i amb poca vibració*")

**Més i més
energia**

1		
---	--	--

2		
---	--	--

8		
---	--	--

7		
---	--	--

3		
---	--	--

4		
---	--	--

5		
---	--	--

6		
---	--	--

Arriba el moment de fer servir el que ja saps sobre les partícules dels gasos, dels líquids i dels sòlids.

Ho utilitzarem de dues maneres:

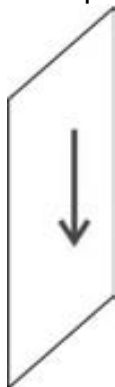
- després d'observar el que passa podrem **explicar** o **interpretar per què** ha passat; o també
- fent **prediccions** de fets abans que passin, i després comprovar si realment succeeix el que ens esperàvem.

Per tant, utilitzant el model cinètic, igual que fan els científics anem a fer **interpretacions o explicacions** i també **prediccions** de fets.

L'aire i els fulls de paper

13. Començarem fent algunes prediccions sobre l'aire i uns fulls de paper.

- a) Si agafes un full de paper amb una mà i el deixes penjant, què creus que passarà si passes ràpidament l'altra mà cap avall per un costat del full, sense tocar-lo?



Pensem ara en les partícules:

- b) Mentre tens el full penjant i sense fer-li res, què fan les partícules de l'aire contra el full? Quin efecte produeixen?

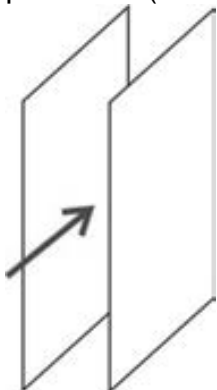
- c) I quan passem la mà ràpidament cap avall què creus que els passa a les partícules de l'aire? Quin efecte hauríem de notar, doncs?

- d) Ara es tracta de fer-ho realment i comprovar si s'observa el que hem previst, o no. Quin és el resultat? S'ha acomplert el que havíem previst amb el model cinètic?

- e) Hem fet una predicció d'un fet o una explicació (o interpretació) de per què passa? Per què ho dius?

14. Amb l'experiència que t'ha donat aquest experiment ara podem fer noves prediccions.

a) Si agafes dos fulls i els deixes penjant com en el dibuix i bufes per entremig, què creus que passarà? (Contesta només pensant, sense fer-hi res).



Ara contestaràs fent servir el model cinètic:

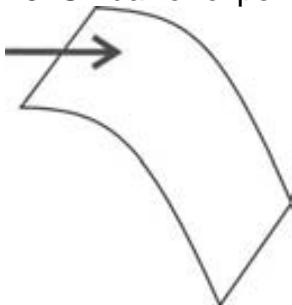
b) Abans de començar a bufar, què fan les partícules de l'aire a cada full? Quin és el resultat que notem?

c) Què creus que passarà quan bufem per entremig? Explica bé el teu raonament.

d) Ara només queda fer-ho. Explica què has observat. S'ha acomplert el que havies previst que passaria?

e) Hem fet una predicció d'un fet o una explicació (o interpretació) de per què passa? Per què ho dius?

15. Un darrer experiment amb aire i paper.



a) Agafa un full per una de les bases petites i bufa per damunt seu tal com indica el dibuix. Explica què observes.

b) Explica, pensant en les partícules, per què ha passat això.

c) Hem fet una predicció d'un fet o una explicació (o interpretació) de per què passa? Per què ho dius?

16. Una conseqüència: el vol dels avions

Els constructors d'avions fabriquen les ales amb un perfil com aquest:



D'aquesta manera aconseguen que l'aire passi més ràpid per damunt de l'ala que per sota.

a) Quines molècules de l'aire piquen més contra l'ala: les que piquen per damunt o les que piquen per sota? Argumenta-ho.

b) Quin és l'efecte d'aquestes forces?

c) Hem fet una predicció d'un fet o una explicació (o interpretació) de per què passa? Per què ho dius?

Inflar un globus tot xuclant?

17. Ara farem un altre experiment. Veuràs què li passa al globus que hi ha en el pot de buit quan traiem aire del pot.

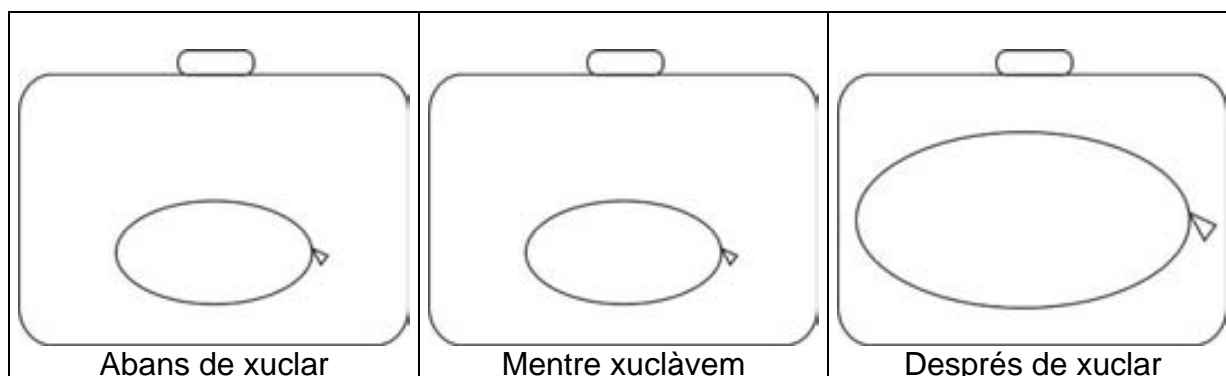
a) Abans de començar, creus que es pot inflar un globus ben tancat, i sense tocar-lo? Si saps alguna manera, explica-la.

Ara fem l'experiment. Fixa-t'hi bé.

b) Explica el material que hem utilitzat i què n'hem fet.

c) Explica què li ha passat al globus.

d) Explica amb dibuixos el que ha anat passant amb les partícules de l'aire:



e) Explica des del principi per què ha passat això, completant la següent explicació:

- Abans de treure aire del pot, les partícules...
- Però a mida que anàvem traient aire del pot, les partícules...
- Finalment, les partícules...

Coses que passen a l'escalfar

18. Tenim una bola que passa perfectament per un forat. Ara l'escalfarem i veurem què passa.

a) Descriu què ha passat.

b) Pensant en partícules, com ho interpretes?

c) Per què creus que en els ponts es deixa una juntura sense encaixar bé?



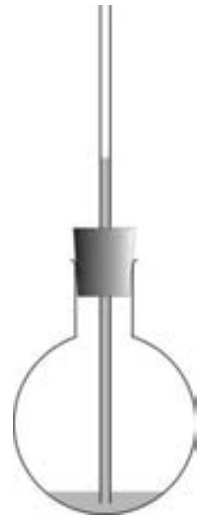
19. Ja saps que la columna del termòmetre puja si l'escalfem.



a) Per què?

b) Els termòmetres tenen un dipòsit força gros per al líquid que contenen i en cavi la columna per on puja és molt fina. Què passaria si a tot arreu fos igual d'ample?

c) Què passa al posar les mans sobre aquest matràs? Per què?

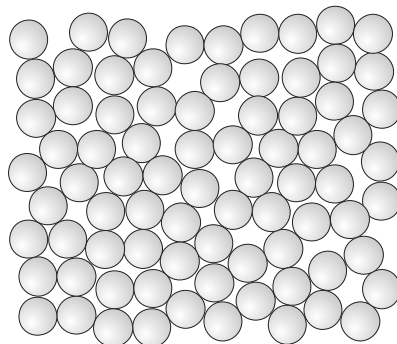


Escalfant sense res calent?

Agafa un tros de filferro i doblega'l pel mateix punt tres vegades seguides.

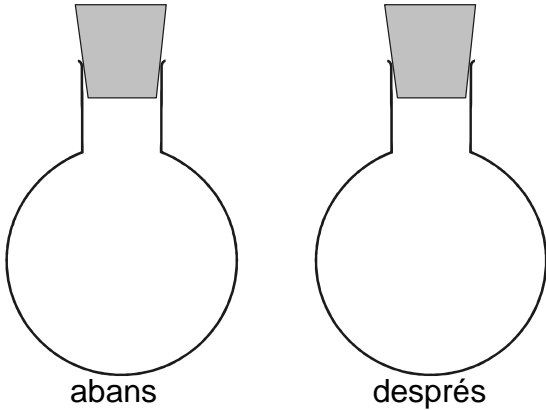
a) Toca aquest punt del filferro amb els llavis. Què ha passat?

b) Quina explicació hi trobes?



I, per acabar, tornem al principi

20. Recorda que amb una bomba traiem una mica d'aire d'un matràs de vidre ple d'aire. Com dibuixaries ara l'aire hi ha a l'interior, abans i després de bombejar-ne cap a fora?



Quines diferències hi ha amb el que vas contestar a la pregunta 2?

21. Tornem a la ventosa enganxada en un vidre o en una rajola.

a) Per què creus ara que no cau?

b) Si enganxem la ventosa, per dins, a un pot de buit i en xuclèm l'aire, aguantarà enganxada a la paret o caurà? Argumenta-ho.

c) Un cop fet l'experiment, s'ha acomplert la teva predicció o canviaries alguna cosa? Explica-ho.

Com treballen els científics?

Ara ja has après a pensar en la matèria fent servir el model cinètic. Durant totes aquestes classes en el grup heu estat treballant de la mateixa manera com ho fan els científics.

Com explicaries com és aquesta manera de treballar a un amic teu que no ho sabés?

Conclusions:

Així és un sòlid, un líquid i un gas

Aquesta és la pàgina de les conclusions. Hi vas anotant el que vagis descobrint a mida que la investigació vagi avançant.

Descripció	Dibuix	
	abans	després
Model de sòlid		
Model de líquid		
Model de gas		

Annex 5

Part d'una seqüència per a tercer d'ESO: “Dissolucions àcides, bàsiques, neutres... i els ions”

Una altra seqüència elaborada en la mateixa línia que l'analitzada. Una professora, Marga Martínez, que l'ha utilitzant des de fa anys, comenta la seva experiència a l'annex 3.

5. Dissolucions àcides, bàsiques, neutres... i els ions

Què en penses?

34. a) Escribeu les fórmules de les substàncies utilitzades en l'exercici 28, classificades segons que siguin àcides, bàsiques o neutres:

Àcides	Neutres	Bàsiques

b) Hi veus alguna característica comuna a tots els àcids?

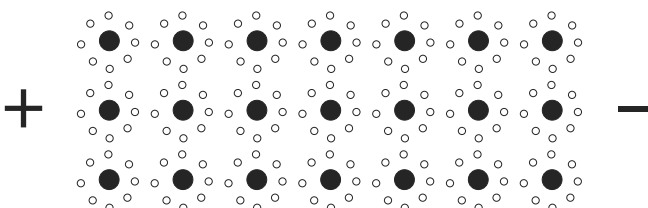
c) I a totes les bases?

d) Què pots dir sobre l'aigua?

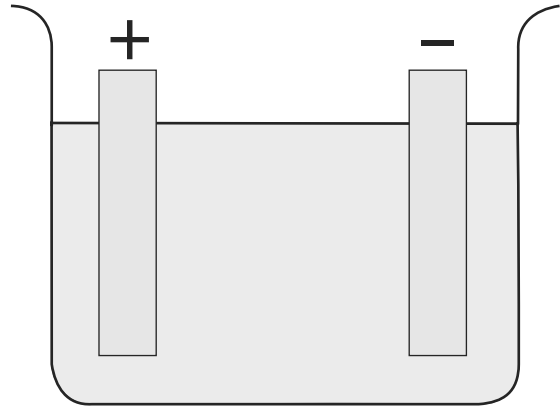
Què hi diu la ciència?

Per poder entendre què fa un àcid o una base haurem de fer servir l'electricitat. Per això, per començar, discutirem sobre corrent elèctric.

35. a) Quan per un fil de coure circula corrent, què deu estar passant amb els seus àtoms? Representa-ho sobre el dibuix. Indica també el significat dels cercles.



b) Creus que passarà corrent per una dissolució aquosa que conté ions? Explica-ho basant-te en un dibuix on s'hi vegin els ions i el que fan:



Ara estudiarem el comportament de dissolucions àcides i bàsiques quan hi submergim conductors elèctrics.

Intenta **predir** el que passarà. Després **descriu** el resultat de cada cas i fes-lo servir per intentar **explicar** els ions que conté cada dissolució i que fan que sigui àcida o bàsica.

36. Hi col·loquem **aigua destil·lada**

a) Predicció

b) Descripció

c) Interpretació

d) Què varia quan hi posem aigua de l'aixeta? Per què?

37. Hi aboquem una mica de sal de cuina (**clorur de sodi**)

a) Descripció

b) Interpretació

c) Abans d'estudiar una altra dissolució cal netejar els elèctrodes amb aigua destil·lada. Per què?

38. Ara a l'aigua destil·lada hi afegim de gota en gota una mica d'**àcid clorhídric**.

a) Descripció

b) Interpretació

39. Fem el mateix amb una lletia d'**hidròxid de sodi**, que retirarem al cap d'una estona

a) Descripció

b) Interpretació

40. Sense canviar la dissolució hi afegim una mica d'**àcid clorhídric** gota a gota

a) Descripció

b) Interpretació

41. Afegim **vinagre** a l'aigua destil·lada

a) Descripció

b) Interpretació



Organitzem-ho

Ara ja podem fer una mica de resum del que hem anat descobrint:

42. a) Què fa un àcid fort, com l'àcid clorhídric, quan es dissol en aigua? Com ho sabem?

[Blank area for answer to question 42a]

b) Què fa una base forta, com l'hidròxid de sodi, quan es dissol en aigua? Quines proves en tens?

[Blank area for answer to question 42b]

c) Què fa un àcid feble, com l'àcid acètic del vinagre, quan es dissol en aigua? Com ho sabem?

[Blank area for answer to question 42c]

d) Què deu fer una base feble, com l'amoníac, quan es dissol en aigua? Com ho podries demostrar?

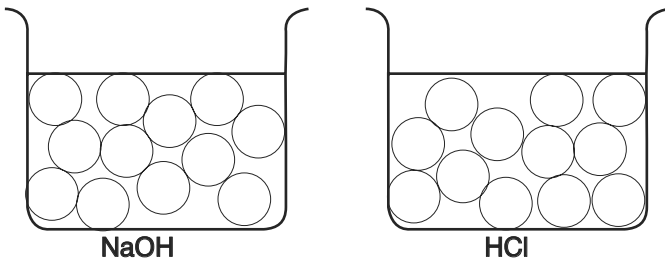
[Blank area for answer to question 42d]

Apliquem-ho

43. Escriu les reaccions de dissociació de totes les substàncies de l'exercici 28:

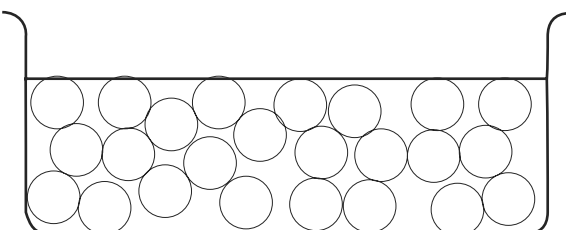
44. Imagina que barregem una dissolució d'hidròxid de sodi i una d'àcid clorhídric igual de concentrades (per exemple, tres molècules cadascuna). Pinta cada dissolució amb el color que dóna amb indicador universal. (Posa la fórmula a cada ió, però no a les molècules d'aigua).

a) Dibuixa els ions que hi haurà a cada recipient:



b) Quan ajuntem les dues dissolucions, què passarà quan estrobin un ió H⁺ i un ió OH⁻?

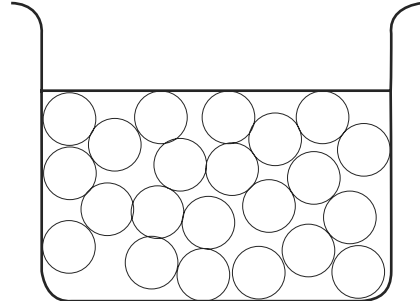
c) Un cop barrejades les dues dissolucions, dibuixa els ions que queden:



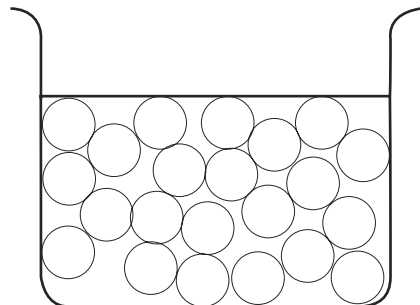
d) Quin serà el pH d'aquesta mescla? Per què?

45. Dibuixa també els ions i el color que dóna amb indicador universal en cada cas:

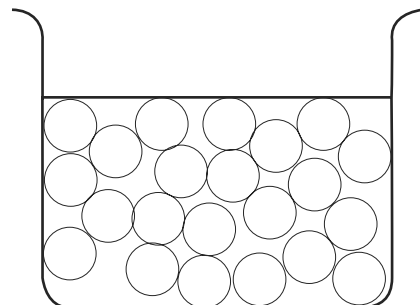
a) Dissolució concentrada d'àcid nítric (6 molècules):



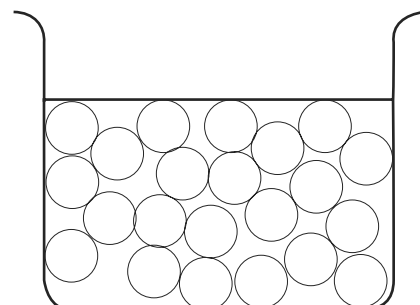
b) Dissolució diluïda d'àcid nítric:



c) Dissolució concentrada d'hidròxid de potassi:

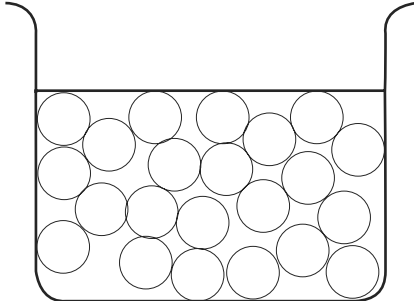


d) Dissolució diluïda d'hidròxid de potassi:

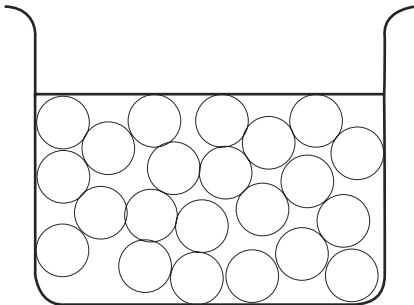


46. Dibuixa també els ions i el color que dóna amb indicador universal en cada cas:

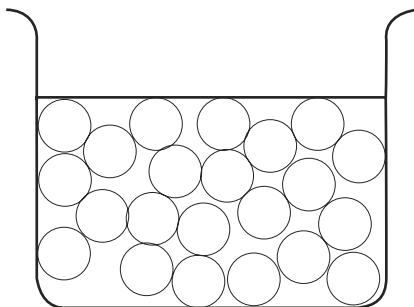
a) Dissolució concentrada d'àcid sulfúric (àcid fort):



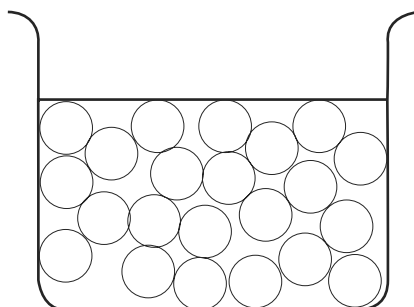
b) Dissolució concentrada d'acid cítric, AH (àcid feble):



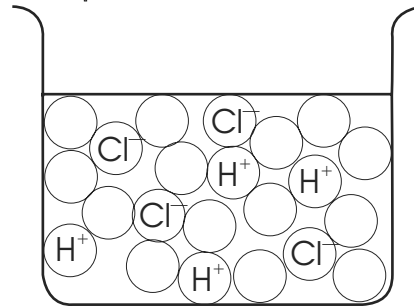
c) Dissolució concentrada d'hidròxid de sodi (base forta):



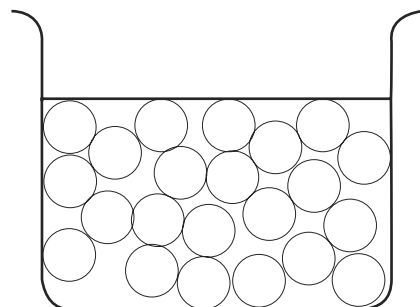
d) Dissolució concentrada d'hidròxid d'amoni (base feble):



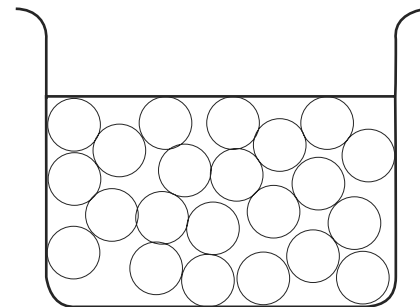
47. Imagina que tenim la següent dissolució. Pinta-la del color que li correspon amb l'indicador universal:



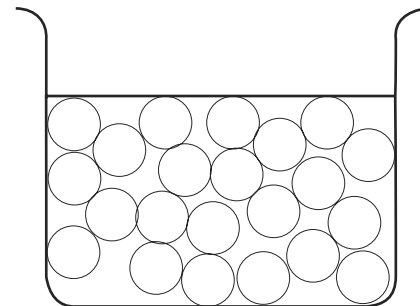
a) Hi afegim dues molècules d'hidròxid de sodi. Dibuixa els ions que ara hi ha i posa-hi el color de l'indicador:



b) Hi afegim dues molècules més:



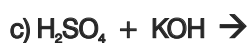
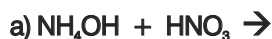
c) I dues més:



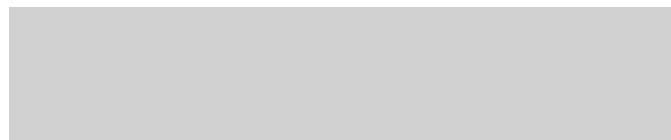
d) Si féssim passar corrent per aquestes quatre dissolucions, en quina hi passaria més corrent? Per què?

e) Si escalféssim fins a evaporar la dissolució neutra, què quedaria en el recipient?

48. Completa les següents reaccions de neutralització, ajusta-les, i escriu el nom de totes les substàncies:



d) Escriu una reacció que resumeixi totes les anteriors.



49. Utilitzant matrassos aforats de 250 ml hem preparat dues dissolucions: una d'àcid sulfúric i una altra d'àcid nítric. A cada dissolució hi hem posat la mateixa quantitat de molècules d'àcid. Resulta que s'han esborrat els rètols i ara les hem de tornar a identificar. Una manera seria intentar neutralitzar-les fent servir una dissolució d'hidròxid de sodi abocada mitjançant una bureta.



a) Com podràs saber quina és cadascuna?

b) Pensa com ho faràs al laboratori, fes-ho, i escriu després l'informe. Pensa a escriure-hi les dues reaccions que hauràs fet, posant el nom de cada substància.

Ho sabies?

La pluja àcida

Si volguessis mesurar el pH de la pluja, què creus que et sortiria? Pots pensar que la pluja és aigua. I que l'aigua ha de ser neutra. El raonament és correcte, excepte en una cosa: l'aigua de la pluja també pot tenir substàncies dissoltes.

Efectivament, a l'atmosfera hi van a parar gran quantitat de gasos, procedents de xemeneies industrials i domèstiques o tubs d'escapament, de combustions a l'aire lliure, de processos biològics, etc. Emeten molt de vapor d'aigua, que no porta gaires problemes, i també molt de diòxid de carboni, que produeix l'efecte hivernacle en el planeta.



A més a més, el diòxid de carboni, dissolt en les gotes de pluja, és semblant a una beguda amb gas: és una mica àcida. Aquesta acidesa és suficient per dissoldre mica roques formades per carbonats. En milers d'anys s'arriben a formar enormes coves.

Però també produïm òxids de nitrogen i òxids de sofre. Aquests òxids reaccionen amb el vapor d'aigua que hi ha a l'atmosfera, produint àcids: àcid nítric i àcid sulfúric, dos àcids que ja saps que són molt forts.

Quan la pluja cau portant aquests àcids, reacciona amb el carbonat de les roques, dissolent-lo amb molta més rapidesa. Només has de comparar com ha canviat aquesta estàtua d'un castell alemany, feta de roca calcària (carbonat



de calci) que ha estat a la intempèrie des de 1702. (A la primera foto, del 1908, ja està deteriorada després de 206 anys, però la segona, del 1969, mostra uns danys molt més ràpids, ja que s'ha produït en només 61 anys).

I si sobre les roques la pluja àcida té aquests efectes tan destructius, sobre els vegetals també pot provocar destrucció, si el pH de la pluja o del sòl queda alterat, com aquest



bosc, totalment destruït, tot i que està a milers de quilòmetres dels centres industrials que han emès els gasos. Resulta que els vents dominants en aquest bosc canadenc venen de les grans àrees industrials dels Estats Units.

La vida en els llacs també és força sensible al canvi en el valor del seu pH: per sota de pH = 5, els peixos moren.

50. a) Resumeix la lectura anterior amb dues frases (el diagrama inferior et pot ajudar).

b) Per què es va deteriorar més l'estàtua en els 61 darrers anys que en els 206 anteriors?

