

Tesi doctoral

**Les dificultats dels estudiants de
secundària en la lectura d'imatges
científiques representades en
simulacions de física**

Autor:

Víctor López Simó

Directora:

Dra. Roser Pintó Casulleras

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals

Bellaterra, Febrer 2013

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

Presentació

Aquest document conté la tesi doctoral de Víctor López Simó, matriculat al Programa de Doctorat del Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals de la UAB (Universitat Autònoma de Barcelona), investigador adscrit al CRECIM (Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica) i al grup de recerca TIREC (Tecnologia Informàtica i Recerca sobre l'Educació Científica, Ref. 2009SGR737).

Aquesta tesi va ser inscrita a l'escola de Doctorat de la UAB a desembre de 2010, i la seva realització ha estat vinculada al programa de Formació del Professorat Universitari (FPU), amb referència AP2009-0681, concedida pel Ministeri d'Educació a l'octubre de 2010. Al mateix temps, algunes de les activitats realitzades han estat també finançades pel projecte EDISTE (Investigación entorno al diseño de secuencias didácticas sobre transferencias de energía: Orientación dialógica de la enseñanza e integración de recursos digitales, EDU2011-28431) concedit pel MINECO.

Durant el període de realització de la tesi, s'han elaborat els següents articles derivats dels resultats de recerca que es presenten en aquest document:

- López, V., i Pintó, R. (2011). Per què les imatges científiques poden ser problemàtiques per a l'ensenyament de les ciències? *Ciències. Revista del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 20, 22–26.
- López, V., i Pintó, R. (2012). Hot brakes and energy-related concepts: is energy lost? *Physics Education*, 47(1), 38–43.
- López, V., i Artigas, A. (2012). Estudi de la dissipació de l'energia amb sensors i simulacions. In F. Guitart i A. Caamaño (Eds.), *Actes de la I Trobada d'Educació Química* (pp. 141–147). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- López, V., i Pintó, R. (2012). Students' difficulties on reading images from computer simulations. In R. Pintó, V. López, i C. Simarro (Eds.), *10th CBLIS Conference Proceedings 2012* (pp. 304–310). Barcelona: CRECIM.
- López, V., i Pintó, R. (2013). Identificación de las dificultades de los estudiantes en la lectura de imágenes digitales e interactivas. *Enseñanza de las Ciencias, Número extra 2013*, 1984-1991.

Agraïments

En primer lloc, vull donar les gràcies a la meva directora Roser Pintó per tot el que ha fet per mi. Tant aquesta tesi com la meva dedicació en el camp de la didàctica de les ciències i la meva implicació al CRECIM no es podrien entendre sense ella. Gràcies Roser per encomanar-me l'entusiasme per la didàctica, per transmetre'm tantíssim coneixement, per ensenyar-me què és el rigor acadèmic i per haver-me brindat tantes oportunitats. Alhora, darrere del munt de projectes de recerca i innovació en els que he participat hi ha també un equip de persones amb qui he compartit milers de vivències i de moments. Gràcies Anna A, Raquel, Alba, Sílvia, Otto, Carme i Anna G per fer del CRECIM la família que hem sigut; i gràcies també a la resta de gent que durant aquests anys ha participat de l'equip de treball. Gràcies Cristina per estar sempre disposada a ajudar i ser tan resolutiva. Gràcies Digna per la teva lucidesa i els teus consells sempre tan encertats. Gràcies Marisa per ser la meva mentora, la meva germana gran i el meu referent acadèmic indispensable.

Alhora, també vull donar les gràcies a les persones que han contribuït en aquest treball a nivell acadèmic, aportant reflexions i consells molt enriquidors. Gràcies Mercè Izquierdo, Anna Marbà, Josep Bonil, Conxita Márquez i Mercè Junyent per tots els consells rebuts i per haver-me acollit a la Unitat de Ciències del Departament. Gràcies també a la resta d'estudiants de doctorat del Departament per haver compartit idees i impressions en seminaris, congressos i cursos de formació. Gràcies també als investigadors d'altres universitats i fins i tot d'altres disciplines per tots els vostres comentaris i discussions: Josep Maria Català, Rufina Gutiérrez, Ruth Jiménez, Jordi Solbes, Teresa Cabré i Anna Camps. Moltes gràcies també als investigadors Juan de Dios Jiménez, Jaume Ametller i Francisco Javier Perales, amb qui he pogut discutir personalment els seus articles tant útils per la meva recerca.

En tercer lloc, vull donar les gràcies a les persones sense les quals aquest treball no tindria sentit. D'una banda, gràcies als professors i professores de física i química que esteu a "primera línia" als vostres instituts i que feu una tasca tan imprescindible. Gràcies Lluïsa i Josep per haver compartit tantes experiències; gràcies Irene i Jose Javier per "deixar-me" als vostres estudiants; gràcies Josep Corominas pels teus enginyosos muntatges experimentals. D'altra banda, gràcies a tots i totes les estudiants que heu passat pel REVIR, que us heu deixat gravar i que heu respost a les preguntes que us feia aquest "científico loco". Gràcies Ferran, Èlia i Raúl per deixar que us utilitzés com a conillets d'índies.

En un pla més personal també vull agrair aquest treball a tota la gent del meu entorn que m'ha recolzat durant tot aquest temps. Vull donar les gràcies als meus pares Rafa i Maribel per ensenyar-me tant i per tot el suport incondicional que sempre m'heu donat; al meu germà Òscar per ser el meu company d'aventures ara i sempre; i per extensió, gràcies a tota la meva família. També vull agrair el suport, la comprensió i l'afecte rebut des del meu entorn d'afinitat: gràcies als Kaktus (y aledaños) per estar al meu costat, pel seu #prayforvictor i #acabalatesis. Gràcies també als companys i companyes d'Endavant i a tota la família del MPS.

Finalment, vull agrair i dedicar aquesta tesi a la persona que m'ha permès arribar fins aquí: la meva companya de viatge amb qui he compartit les alegries però també les penes. Gràcies i mil gràcies Marta per estar sempre al meu costat, aportant el recolzament i l'amor necessari per poder tirar endavant aquesta empresa personal (aquesta és també la teva tesi) i sobretot, per ensenyar-me a valorar les coses importants de la vida.

Education is the most powerful weapon which you can use to change the world.
Nelson Mandela

*Istruitevi, perché avremo bisogno di tutta la nostra intelligenza.
Agitatevi, perché avremo bisogno di tutto il nostro entusiasmo.
Organizzatevi, perché avremo bisogno di tutta la nostra forza.*
Antonio Gramsci

Resum

En aquesta tesi doctoral hem investigat com els estudiants llegeixen i interpreten les representacions visuals que apareixen en dues simulacions educatives de física. Una d'aquestes simulacions pretén explicar als estudiants d'ESO què succeeix a nivell microscòpic quan es freguen dos objectes i les superfícies d'aquests objectes s'escalfen. L'altra simulació pretén explicar a estudiants d'aquesta mateixa edat la inducció electromagnètica que es produeix entre un imant i una bobina connectada a un circuit elèctric.

Per estudiar la lectura que els alumnes fan d'aquestes imatges i les dificultats amb que es troben, en aquesta recerca hem realitzat entrevistes semiestructurades a un grup d'estudiants de 3r i 4t d'ESO mentre utilitzaven una d'aquestes dues simulacions, i hem identificat i analitzat les seves dificultats a l'hora de llegir les imatges que veien per pantalla. Per analitzar aquestes dificultats hem utilitzat diferents perspectives provinents de la combinació de tres camps teòrics diferents: la semiòtica, la psicologia de la percepció i la didàctica de les ciències.

Seguidament, hem analitzat les explicacions que feien els estudiants en relació al contingut científic de cada simulació. Per fer-ho, hem comparat aquestes explicacions dels estudiants amb els conceptes que, al nostre entendre, els autors de les simulacions pretenien comunicar. A partir d'aquí, hem identificat els mecanismes de raonament implícits en les interpretacions i en les explicacions errònies dels estudiants.

Els resultats obtinguts ens han permès identificar un rang molt ampli i variat de dificultats de lectura i d'explicacions errònies. També hem pogut construir un mètode d'anàlisi gramatical de les simulacions, i hem aprofundit en qüestions com el paper de les representacions múltiples i les representacions dinàmiques en la interpretació d'imatges, trobant en quins casos aquestes representacions poden ajudar o dificultar la interpretació visual.

A partir de la recerca arribem a la conclusió que visualitzar una simulació no porta automàticament al lector a interpretar el seu contingut científic. Hem trobat que per fer aquesta lectura calen un conjunt d'habilitats, uns coneixements previs i uns suports externs sense els quals la interpretació canònica no es possible. Per tant, tot i les oportunitats educatives i comunicatives de les simulacions i altres eines informàtiques basades en la comunicació visual, el professorat de ciències ha de tenir en compte aquestes qüestions i ajudar a l'alumnat a llegir imatges per aprofitar veritablement el seu potencial educatiu.

Resumen

En esta tesis doctoral hemos investigado cómo los estudiantes leen e interpretan las representaciones visuales que aparecen en dos simulaciones educativas de física. Una de estas simulaciones pretende explicar a los estudiantes de ESO qué sucede a nivel microscópico cuando se frota dos objetos y las superficies de estos objetos se calientan. La segunda simulación pretende explicar a estudiantes de esta misma edad la inducción electromagnética que se produce entre un imán y una bobina conectada a un circuito eléctrico.

Para estudiar la lectura que los alumnos hacen de estas imágenes y las dificultades con que se encuentran, en esta investigación hemos realizado entrevistas semiestructuradas a un grupo de estudiantes de 3º y 4º de ESO mientras utilizaban una de estas dos simulaciones, y hemos identificado y analizado sus dificultades para leer las imágenes que veían por pantalla. Para analizar estas dificultades hemos utilizado diferentes perspectivas provenientes de la combinación de tres campos teóricos diferentes: la semiótica, la psicología de la percepción y la didáctica de las ciencias.

A continuación, hemos analizado las explicaciones que hacían los estudiantes en relación al contenido de la simulación. Para ello, hemos comparado las explicaciones de los estudiantes con los conceptos que, a nuestro entender, los autores de las simulaciones pretendían comunicar. A partir de aquí, hemos identificado los mecanismos de razonamiento implícitos en las interpretaciones y en las explicaciones erróneas de los estudiantes.

Los resultados obtenidos nos han permitido identificar un amplio y variado rango de dificultades de lectura y explicaciones erróneas. También hemos podido construir un método de análisis gramatical de las simulaciones, y hemos discutido cuestiones como el papel de las representaciones múltiples y las representaciones dinámicas en la interpretación de imágenes, encontrando en qué casos estas representaciones pueden ayudar o dificultar la interpretación visual.

A partir de la investigación llegamos a la conclusión que visualizar una simulación no lleva automáticamente al lector a interpretar su contenido científico. Hemos encontrado que esta lectura requiere de un conjunto de habilidades, conocimientos previos y soporte externo, sin los cuales la interpretación canónica no es posible. Por tanto, a pesar de las oportunidades educativas y comunicativas de las simulaciones y otras herramientas informáticas basadas en la comunicación visual, el profesorado de ciencias debería tomar en consideración estas cuestiones para aprovechar verdaderamente su potencial educativo ayudando a sus estudiantes a leer imágenes.

Abstract

In this thesis we have investigated how students read and interpret visual representations displayed in two educational physics simulations. One simulation aims to explain to secondary school students the friction process between two materials and its heating at the microscopic level. The other simulation represents the electromagnetic induction that takes place between a magnet and a coil connected to an electrical circuit.

To study students' reading difficulties we have conducted some semi-structured interviews to a group of students aged between 14-15 years old while they were using one of these simulations, and we have then identified and analysed their reading difficulties. To analyse these difficulties we have used different perspectives coming from the integration of three different theoretical fields: semiotics, psychology of perception and science education.

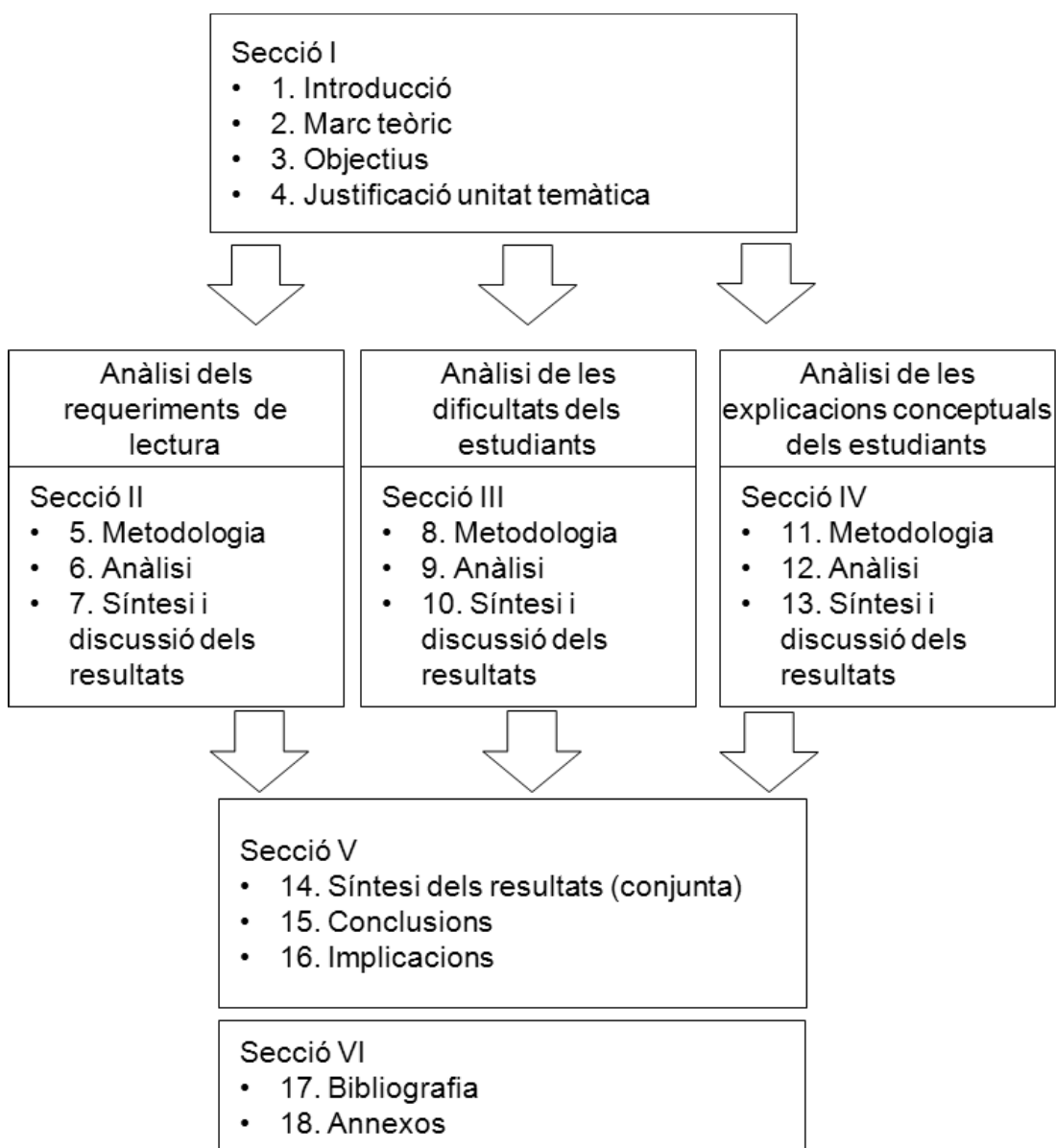
Next, we have analysed the students' explanations related to the content of the simulations. To this end, we have compared these students' explanations with the concepts that, in our opinion, the authors of the simulations intended to communicate. Then, we have identified the different mechanisms of reasoning behind students' erroneous interpretations and explanations.

Our findings have allowed us to identify a wide and varied range of reading difficulties and erroneous explanations. We have also developed a visual grammar analysis for simulations, and we have discussed in depth the role of multiple and dynamic representations and the cases where they can help or hinder comprehension.

Our findings allow us to conclude that visualisation of simulations doesn't imply a good comprehension of the content of scientific simulations. We have found that a good reading process requires a set of skills, previous knowledge and external supports, and if those conditions are not given, a good interpretation of the simulation is not possible. Therefore, despite the communicational and educational opportunities provided by simulations and other ICT tools based on visual communication, science teachers should bear in mind these issues in order to help students read images to take benefit of their educational potential.

Estructura del treball

El treball està estructurat en 16 capítols a partir de 5 Seccions diferents I, II, III, IV i V, més una Secció VI final que inclou bibliografia i annexos. La Secció I agrupa els quatre primers capítols corresponents al plantejament de la recerca. D'aquí en surten tres objectius de recerca i tres preguntes de recerca corresponents, i per cadascuna d'aquestes dediquem una Secció pròpia. A més, en les tres Seccions II, III i IV seguim una mateixa estructura de capítols: Metodologia, anàlisi i síntesi i discussió dels resultats. Finalment, en la Secció V recuperem els resultats obtinguts per cada pregunta de recerca i presentem les conclusions i les implicacions conjuntes del treball.



Índex

SECCIÓ I: PLANTEJAMENT DE LA RECERCA

CAPÍTOL 1. INTRODUCCIÓ: LA PROBLEMÀTICA DE LA LECTURA D'IMATGES EN L'ÚS DE SIMULACIONS _____ 3

CAPÍTOL 2. MARC TEÒRIC, REVISIÓ BIBLIOGRÀFICA I ANTECEDENTS DE LA RECERCA _____ 11

2.1. LA SEMIÒTICA: LA GRAMÀTICA DE LES IMATGES _____	16
2.1.1. <i>Els elements mínims no significatius i els elements mínims significatius d'una imatge</i> _____	18
2.1.2. <i>La composició de sintagmes visuals</i> _____	19
2.1.3. <i>La naturalesa comunicativa de la representació</i> _____	24
2.1.4. <i>Crítica a l'anàlisi semiòtic de les imatges</i> _____	29
2.2. LA PSICOLOGIA DE LA PERCEPCIÓ: LA LECTURA D'IMATGES COM A PROCÉS COGNITIU _____	31
2.2.1. <i>Els models cognitius de comprensió de text i gràfics</i> _____	31
2.2.2. <i>Els processos cognitius en la lectura d'imatges</i> _____	39
2.2.3. <i>La lectura de representacions externes múltiples</i> _____	43
2.2.4. <i>La lectura de representacions dinàmiques</i> _____	48
2.2.5. <i>Crítica a l'anàlisi psicologista de la lectura d'imatges</i> _____	51
2.3. LA LECTURA D'IMATGES COM A FET DIDÀCTIC: CONTINGUT CIENTÍFIC I PRECONCEPCIONS I RAONAMENTS DELS ESTUDIANTS _____	53
2.3.1. <i>Les especificitats del contingut en les representacions científiques</i> _____	53
2.3.2. <i>Les concepcions prèvies en la lectura d'imatges</i> _____	58
2.3.3. <i>Els raonaments espontanis en la lectura d'imatges</i> _____	62

CAPÍTOL 3. OBJECTIUS I PREGUNTES DE RECERCA _____ 65

3.1. OBJECTIUS DE LA RECERCA _____	67
3.2. PREGUNTES DE RECERCA _____	68
3.3. CONSIDERACIONS GENERALS SOBRE LA NATURALESA DE LA RECERCA PLANTEJADA _____	68
3.4. FITXES TÈCNiques DE LES SIMULACIONS A I B _____	70

CAPÍTOL 4. JUSTIFICACIÓ DE LA UNITAT TEMÀTICA DE LA TESI _____ 73

4.1. LA VISUALITZACIÓ DE SIMULACIONS EN EL MARC DE LES PRÀCTIQUES DE LA LABORATORI DEL PROJECTE REVIR _____	74
4.1.1. <i>La simulació A en la pràctica "EN. Dissipació de l'energia per fregament".</i> _____	75
4.1.2. <i>La simulació B en la pràctica "EL1. Generació d'electricitat".</i> _____	76
4.2. LA MOTIVACIÓ PERSONAL D'APROFUNDIR EN ENTENDRE QUÈ ÉS EL QUE ELS ESTUDIANTS INTERPRETEN A PARTIR DE LA LECTURA DE LES SIMULACIONS _____	78

SECCIÓ II: ESTUDI DE LES SIMULACIONS I DELS SEUS REQUERIMENTS DE LECTURA

CAPÍTOL 5. METODOLOGIA PER A L'ESTUDI DE LES SIMULACIONS _____ 81

5.1. SELECCIÓ DE LES SIMULACIONS _____	83
5.2. METODOLOGIA D'ANÀLISI CONCEPTUAL DE LES SIMULACIONS _____	87
5.3. METODOLOGIA D'ANÀLISI VISUAL DE LES SIMULACIONS _____	89
5.4. METODOLOGIA D'ANÀLISI DELS REQUERIMENTS DE LECTURA DE LES DE LES SIMULACIONS _____	91

CAPÍTOL 6. ANÀLISI VISUAL I CONCEPTUAL DE LES SIMULACIONS A I B _____ 93

6.1. ANÀLISI CONCEPTUAL DE LA SIMULACIÓ A: QUINS SÓN ELS CONCEPTES I RELACIONS CONCEPTUALS QUE ES REPRESENTEN A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓ A? _____	95
6.2. ANÀLISI VISUAL DE LA SIMULACIÓ A: QUINS SÓN I COM SÓN ELS ELEMENTS VISUALS QUE COMPOSEN LA REPRESENTACIÓ VISUAL DE LA SIMULACIÓ A? _____	98
6.3. REQUERIMENTS DE LECTURA DE LA SIMULACIÓ A: QUINS SÓN ELS REQUERIMENTS DE LECTURA PER INTERPRETAR CANÒNICAMENT LA SIMULACIÓ A? _____	101
6.3B. INCORRECCIONS DE LA SIMULACIÓ A _____	110

6.4. ANÀLISI CONCEPTUAL DE LA SIMULACIÓ B: QUINS SÓN ELS CONCEPTES I RELACIONS CONCEPTUALS QUE ES REPRESENTEN A TRAVÉS DE LA SIMULACIÓ B?	112
6.5. ANÀLISI VISUAL DE LA SIMULACIÓ B: QUINS SÓN I COM SÓN ELS ELEMENTS VISUALS QUE COMPOSEN LA REPRESENTACIÓ VISUAL DE LA SIMULACIÓ B?	116
6.5B. ACLARIMENT SOBRE EL SIGNIFICAT DE VB4	121
6.6. REQUERIMENTS DE LECTURA: QUINS SÓN ELS REQUERIMENTS DE LECTURA PER INTERPRETAR CANÒNICAMENT LA SIMULACIÓ B?	122

CAPÍTOL 7. SÍNTESE I DISCUSSIÓ DELS RESULTATS DE L'ANÀLISI VISUAL I CONCEPTUAL DE LES SIMULACIONS A I B **129**

7.1. SÍNTESE DELS RESULTATS	130
7.2. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	137
7.2.1. <i>Discussió de l'anàlisi gramatical de les simulacions i dels seus requeriments de lectura</i>	137
7.2.2. <i>Discussió de la naturalesa comunicativa dels elements visuals de les simulacions</i>	140
7.2.3. <i>Discussió de les representacions múltiples presents en les simulacions</i>	141
7.2.4. <i>Discussió de les representacions dinàmiques de les simulacions</i>	142
7.2.5. <i>Discussió de les llicències gramaticals i les incorreccions visuals i/o conceptuals de les simulacions</i>	143
7.2.6. <i>Discussió de la relació entre requeriments de lectura, demandes cognitives i càrrega cognitiva</i>	144

SECCIÓ III: LES DIFICULTATS DE LECTURA D'IMATGES

CAPÍTOL 8. METODOLOGIA D'ANÀLISI DE LES DIFICULTATS DE LECTURA D'IMATGES **149**

8.1. RECOLLIDA DE LES DADES	152
8.1.1. <i>Recollida de dades pilot</i>	152
8.1.2. <i>Disseny del guió d'entrevista</i>	153
8.1.3. <i>Realització de les entrevistes</i>	154
8.1.4. <i>Selecció de les entrevistes</i>	155
8.1.5. <i>Recollida final de dades a través de les sessions del REVIR</i>	157
8.2. ANÀLISI DE LES DADES	158
8.2.1. <i>Transcripció de les entrevistes i construcció de les taules d'anàlisi</i>	158
8.2.2. <i>Identificació de les dificultats de lectura específiques de cada participant</i>	159
8.2.3. <i>Codificació per comparació de les dificultats identificades</i>	161
8.2.4. <i>Definició de les perspectives d'anàlisi</i>	162
8.2.5. <i>Anàlisi de la co-ocurrència de dificultats</i>	163
8.2.6. <i>Anàlisi de la recurrència de dificultats</i>	165
8.3. CONSIDERACIONS METODOLÒGIQUES REFERENTS A LA RECOLLIDA I ANÀLISI DE DADES REALITZAT	166

CAPÍTOL 9. ANÀLISI DE LES DIFICULTATS DE LECTURA D'IMATGES **169**

9.1. LA LECTURA DE L'ESTRUCTURA COMPOSITIVA (EC)	172
9.1.1. <i>Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva EC</i>	173
9.1.2. <i>Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva EC</i>	175
9.2. L'ASSIGNACIÓ DE RELLEVÀNCIA QUE ES DÓNA A CADA ELEMENT VISUAL (RE)	178
9.2.1. <i>Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva RE</i>	179
9.2.2. <i>Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva RE</i>	182
9.3. LA INTERPRETACIÓ SEMÀNTICA DELS ELEMENTS VISUALS (SEM)	185
9.3.1. <i>Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva SEM</i>	186
9.3.2. <i>Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva SEM</i>	187
9.4. LA INTERPRETACIÓ DE LES REPRESENTACIONS MÚLTIPLES (RM)	191
9.4.1. <i>Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva RM</i>	192
9.4.2. <i>Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva RM</i>	197
9.5. LA INTERPRETACIÓ DE LES REPRESENTACIONS DINÀMIQUES (DI)	200
9.5.1. <i>Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva DI</i>	201
9.5.2. <i>Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva DI</i>	203

9.6. LA INTERPRETACIÓ DE LA NATURALESA COMUNICATIVA DE LA REPRESENTACIÓ (NC)	206
9.6.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva NC	206
9.6.2. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva NC	208
9.7. LA LECTURA LITERAL D'INCORRECCIONS CIENTÍFIQUES O VISUALS DE LA SIMULACIÓ A (IS)	210
CAPÍTOL 10. SÍNTESI I DISCUSSIÓ DELS RESULTATS DE L'ANÀLISI DE LES DIFICULTATS DE LECTURA D'IMATGES	213
10.1. SÍNTESI DELS RESULTATS	214
10.2. ANÀLISI DE LA CO-OCURRÈNCIA DE LES DIFICULTATS DE LECTURA DE LA IMATGE	218
10.3. ANÀLISI DE LA RECURRÈNCIA DE LES DIFICULTATS DE LECTURA DE LA IMATGE	223
10.4. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	227
10.4.1. Discussió del sistema d'anàlisi	227
10.4.2. Discussió de la recurrència i co-ocurrència de dificultats de lectura	231
SECCIÓ IV: LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS DELS ESTUDIANTS ASSOCIADAES A LES DIFICULTATS DE LECTURA D'IMATGES	
CAPÍTOL 11: METODOLOGIA D'ANÀLISI DE LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS DELS ESTUDIANTS ASSOCIADAES A LES DIFICULTATS DE LECTURA	237
CAPÍTOL 12. ANÀLISI DE LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS DELS ESTUDIANTS ASSOCIADAES A LES DIFICULTATS DE LECTURA	243
12.1. ANÀLISI DE LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS ERRÒNIES RELACIONADES AMB LA SIMULACIÓ A	244
12.2. ANÀLISI DE LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS ERRÒNIES RELACIONADES AMB LA SIMULACIÓ B	252
CAPÍTOL 13. SÍNTESI I DISCUSSIÓ DELS RESULTATS DE L'ANÀLISI DE LES EXPLICACIONS CONCEPTUALS ASSOCIADAES A LES DIFICULTATS DE LECTURA	259
13.1. SÍNTESI DELS RESULTATS	260
13.2. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	264
13.2.1. Respecte les explicacions conceptuals errònies	264
13.2.2. Respecte els mecanismes de raonaments implícits	268
SECCIÓ V: RESULTATS, CONCLUSIONS I IMPLICACIONS	
CAPÍTOL 14. RESULTATS CONJUNTS DE LES PREGUNTES DE RECERCA P1, P2 I P3	277
CAPÍTOL 15. CONCLUSIONS DE LA RECERCA	285
15.1. CONSIDERACIONS REFERENTS AL TIPUS DE RESULTATS OBTINGUTS A PARTIR DE LA METODOLOGIA EMPRADA	286
15.2. CONCLUSIONS ENTORN DE L'OBJECTIU DE RECERCA O1	290
15.3. CONCLUSIONS ENTORN DE L'OBJECTIU DE RECERCA O2	292
15.4. CONCLUSIONS ENTORN DE L'OBJECTIU DE RECERCA O3	294
15.5. CONCLUSIONS ENTORN DELS MECANISMES DE RAONAMENT IDENTIFICATS	295
CAPÍTOL 16. IMPLICACIONS DE LA RECERCA	297
16.1. DE CARA A LA LECTURA D'IMATGES CIENTÍFIQUES	298
16.2. DE CARA AL DISSENY DE LES REPRESENTACIONS	300
SECCIÓ VI: REFERÈNCIES	
CAPÍTOL 17. BIBLIOGRAFIA	307
CAPÍTOL 18. ANNEXOS	319

Índex de figures

Figura 1. Captura de pantalla d'alguna de les simulacions educatives per a l'ensenyament de la Física que ofereix el projecte PhET.	5
Figura 2. Representació visual de la simulació A	9
Figura 3. Representació visual de la simulació B	9
Figura 4. Els cinc elements que considerem imprescindibles per abordar la lectura d'imatges	14
Figura 5. Els tres camps de coneixement (semiòtica, psicologia de la percepció i didàctica de les ciències) que permeten interrelacionar els cinc elements definits en la Figura 4	14
Figura 6. Les preguntes rellevants que provenen de cadascun dels tres camps teòrics seleccionats	15
Figura 7 Representació visual d'una simulació obtinguda a PhET	19
Figura 8. Els diferents sintagmes visuals que componen aquesta mateixa representació.	19
Figura 9. Categorització de les estructures representacionals de Kress i Van Leeuwen (1996).	20
Figura 10. Representació "narrativa" de l'espectre electromagnètic, extret de López i Pintó (2011)	20
Figura 11. Representació "classificativa" de l'espectre electromagnètic, extret de López i Pintó (2011)	21
Figura 12. Tipologies d'estructures analítiques proposades per Kress i Van Heulen (1996).	21
Figura 13. Representació analítica amb elements desconnectats. Imatge obtinguda de http://www.youtube.com/watch?v=KjzokmBzULw	22
Figura 14. Diagrama del valor informatiu d'una representació visual en funció de la posició que ocupa dins d'una composició (Veel, 1998).	22
Figura 15. Exemples de simulacions on apareix el codi esquerra-dreta per representar allò que ve donat i allò nou.	23
Figura 16. Classificació del valor informacional, proposada per Kress i Van Heulen (1996).	23
Figura 17. Classificació de la relació entre emissor i receptor proposada per Kress i Van Heulen (1996).	24
Figura 18. Representació científica i representació no científica d'un àtom.	25
Figura 19. Diagrama que representa el marcador "saturació de color" en quatre contextos comunicatius diferents. Figura extreta de Kress i Van Heulen (1996).	27
Figura 20. Dues representacions isomòrfiques d'una molècula amb diferents saturacions de color (naturalista i abstracta).	27
Figura 21. Definició diagramàtica de la iconicitat, obtingut de Moles (1991).	28
Figura 22. Elements textuais i elements meta-textuais de la simulació de la Figura 7.	29
Figura 23. Exemple de la representació de les quatre fases del funcionament d'un motor benzina.	32
Figura 24. Quatre formats diferents per presentar el cicle d'expansió-compressió d'un motor: imatge estàtica, imatge animada, imatge estàtica i text escrit i imatge estàtica i text oral.	32
Figura 25. Model de codificació, extret de Paivio (1986).	34
Figura 26. Model de la teoria Cognitiva d'Aprenentatge Multimèdia, extret de Mayer (1999)	35
Figura 27. Model de la Teoria de Càrrega Cognitiva, extret de Patsula (2004)	36
Figura 28. Relació entre la càrrega cognitiva intrínseca, extrínseca i germana, extret de Nguyen i Clark (2005)	36
Figura 29. Transformació de la representació de circuits elèctrics per reduir la càrrega cognitiva extrínseca, extreta de Girwitz (2007).	37
Figura 30. Model integrat de comprensió de text i imatge, extret de Schnotz (2002)	38
Figura 31. Exemple de dues representacions, tabular i gràfica, on la operació de recerca del mes amb valor màxim de pluja es realitza amb major facilitat en la representació gràfica. Disseny propi.	40
Figura 32. Processos cognitius que intervenen en la lectura, segons Kulhavy, Lee i Caterino (1985)	40
Figura 33. Exemple de representació on s'han identificades les "àrees d'interès" per un estudi de Bourcheix i Lowe (2010)	41
Figura 34. Processos cognitius que intervenen en la lectura, segons Winn (1994)	41
Figura 35. Representació d'una H formada per moltes S utilitzada en els tests fets per Navon (1977)	42
Figura 36. Imatges científiques utilitzades per estudiar la pregnància i la precedència. Extreptes de Jiménez (1999) i de Testa, Monroy, i Sassi (2002) respectivament.	42

Figura 37. Les funcions de les representacions múltiples: rols complementaris, restricció de la interpretació i construcció d'una comprensió més profunda. Extret de Ainsworth (1999)	44
Figura 38. En la simulació interveuen fins a quatre sintagmes visuals que el lector pot relacionar amb el canvi de temperatura.	45
Figura 39. Les representacions 1 i 2 són complementàries, i integrades ajuden a construir un significat conjunt. Les representacions 2 i 3 són diferents, i integrades poden portar a una interpretació errònia.	47
Figura 40. Representacions redundants de la llum, a través de la representació del raig i de la representació dels fotons. Extret de http://prof.danglais.pagesperso-orange.fr/animations/solarcells/index.htm	47
Figura 41. Elements dinàmics de la representació de la Figura 7.	48
Figura 42. Dos fotogrames obtinguts d'una simulació que explica el funcionament de les plaques fotovoltaïques i on es pot transmetre la idea errònia que un fotó es converteix en un electró. Extret de http://prof.danglais.pagesperso-orange.fr/animations/solarcells/index.htm	51
Figura 43. Quadre amb les tres dimensions de les representacions didàctiques a Biologia, proposat per Treagust i Tsui (2013).	54
Figura 44. La simulació conté representacions del món macroscòpic (1 i 2), del món microscòpic (3) i del món simbòlic (4).	55
Figura 45. Òrbita terrestre al voltant del Sol, obtinguda de Ares (2009)	56
Figura 46. Imatges captades en una animació educativa que s'utilitza per explicar el comportament vibratori de les partícules d'un sòlid a diferents temperatures, obtinguda de http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1062	57
Figura 47. Representació de dues membranes cel·lulars en una solució hipertònica i en una solució hipotònica utilitzada a Cook (2008)	57
Figura 48. Diagrama de la hipòtesi de treball extreta de la tesi de Ametller (2009).	58
Figura 49. Esquerra: Obra de Sando del Petre que representa alhora una parella despallada i un conjunt de dofins. Dreta: Representació bi-dimensional d'una casa que pot correspondre a dues maquetes tridimensionals diferents, extret de Deforge (1991).	59
Figura 50. Model de processament de la informació proposat per Danili i Reid (2004).	59
Figura 51. Bombetes enceses amb diferents graus d'intensitat lumínica. Autor desconegut.	60
Figura 52. Representació vectorial de les forces que actuen sobre un vehicle en una corba amb peralt i en un pla inclinat i. Extreteres de López i Pintó (2011).	63
Figura 53. Fotografia on apareixen grups d'estudiants al laboratori del REVIR.	74
Figura 54. Muntatge experimental de la pràctica EN	75
Figura 55. Estudiants visualitzant la simulació A en una sessió de treball REVIR en la pràctica EN	76
Figura 56. Muntatge experimental de la pràctica EL1	77
Figura 57. Disseny metodològic de la Secció II.	82
Figura 58. Simulació que tracta sobre equilibri tèrmic, obtinguda de la web "Física con ordenador" d'Angel Franco.	85
Figura 59. Simulació que reproduïx un laboratori de física nuclear amb un grau de realisme molt elevat.	86
Figura 60. Simulació sobre inducció electromagnètica, extreta de Walter Fend.	86
Figura 61. Procés seguit per a l'anàlisi conceptual de les simulacions	87
Figura 62. Exemple d'anàlisi sintàctic d'una oració escrita	89
Figura 63. Procediment dut a terme per analitzar visualment les simulacions A i B	90
Figura 64. Els requeriments de lectura ens permeten relacionar cada concepte i relació amb els elements visuals que li correspon.	91
Figura 65. (Esquerra) Dos estudiants del REVIR visualitzant la simulació A. (Dreta) Un estudiant que utilitza la simulació B per resoldre uns exercicis a casa.	94
Figura 66. Mapa conceptual que representa al sistema conceptual de la simulació A	95
Figura 67. Proposicions del sistema conceptual de la simulació A agrupades en subsistemes conceptuals.	97
Figura 68. Anàlisi sintàctica de la representació de la simulació A.	98
Figura 69. Anàlisi de la promiència visual per definició de contrastos.	99
Figura 70. Anàlisi de la promiència visual per quadrants.	99
Figura 71. Elements visuals dinàmics de la simulació A	100
Figura 72. Relació entre el desplaçament del bloc groc i la pujada de temperatura.	101
Figura 73. Estructura analítica de "zoom" entre els llibres i la representació de les partícules.	102

Figura 74. Desplaçament simultani del llibre groc en la representació macroscòpica i en la representació microscòpica.	102
Figura 75. Comparació de l'aspecte que té la disposició de les partícules quan la temperatura és alta i quan la temperatura és baixa.	103
Figura 76. Representació de la idea que els llibres estan envoltats per un entorn amb el que hi ha una constant transferència d'energia.	104
Figura 77. Representació del descens exponencial de la temperatura.	104
Figura 78. Representació simultània de la vibració d'algunes partícules i el despreniment d'altres partícules.	105
Figura 79. Exemple del desgast dels pneumàtics d'una roda produït pel fregament entre la roda i el terra.	106
Figura 80. Representació comú de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises.	106
Figura 81. Representació de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies a través del contorn irregular de les partícules	107
Figura 82. Suma de la representació contínua de la matèria i de la representació corpuscular de la matèria.	107
Figura 83. Assimetria en la relació partícules – fons entre el llibre de dalt i el llibre de baix.	108
Figura 84. Bonyes semicirculars corresponents a la forma de les partícules.	108
Figura 85. Esquerra: Perímetre regular de les partícules del sintagma VA4 quan la temperatura és baixa. Dreta: Perímetre irregular d'aquestes mateixes partícules.	109
Figura 86. Elements decoratius presents en la simulació A.	109
Figura 87. Diferència en la quantitat de partícules grogues abans d i després del fregament.	110
Figura 88. Representació de la "inèrcia tèrmica" d'un material, extret de López i Artigas (2012).	111
Figura 89. Captura de pantalla del moment en que, al fregar molt fort, les partícules grogues i les verdes es superposen lleugerament.	111
Figura 90. Mapa conceptual de la simulació B.	113
Figura 91. Proposicions del sistema conceptual de la simulació A agrupades en subsistemes conceptuals.	115
Figura 92. Anàlisi sintàctica de la representació de la simulació B.	116
Figura 93. Captura de pantalla en el moment en que s'il·lumina la bombeta.	117
Figura 94. Esquerra: Diferents posicions de l'agulla que mostren el seu recorregut. Dreta: Representació en forma de gràfic V(t) del senyal que marca l'agulla del sensor.	118
Figura 95. Elements visuals dinàmics de la simulació A	118
Figura 96. Anàlisi de la promiència visual per definició de contrastos.	119
Figura 97. Anàlisi de la promiència visual per quadrants.	119
Figura 98. Diferents captures de pantalla corresponents a quatre graus d'il·luminació diferent de la bombeta.	119
Figura 99. En la simulació B el circuit apareix connectat en sèrie amb la resta d'elements del circuit.	121
Figura 100. Un voltatge sempre s'ha de connectar en paral·lel als elements del circuit entre els que vol mesurar una DDP.	121
Figura 101. Sintagma visual conjunt format per tots els elements del circuit.	123
Figura 102. Integració de la il·luminació de la bombeta amb els girs de l'agulla del sensor.	124
Figura 103. Representació de les línies de camp magnètic mitjançant llimadures de ferro.	125
Figura 104. Superposició entre la bobina i les línies de camp.	126
Figura 105. Representació de la bobina com una àrea que és travessada per un conjunt de línies de camp magnètic.	127
Figura 106. Representació de les dues bobines, una amb 4 espires i l'altra amb 2.	128
Figura 107. Xarxa sistèmica amb les dimensions d'anàlisi dels requeriments de lectura definits.	130
Figura 108. Captura de pantalla de la simulació B cada cop que es reinicia.	137
Figura 109. Asimetria entre el comportament de les partícules del llibre groc i llibre verd.	145
Figura 110. Disseny metodològic de la Secció III.	150
Figura 111. Disposició espacial per a l'	155
Figura 112. Interpretació de la simulació A feta per un estudiant que considerava la imatge com una representació d'una cara amb cabells, ulls i boca.	156
Figura 113. Captura de pantalla de Altas.ti on apareixen 2 P-docs, algunes de les quotes de cada P-doc, els links entre les quotes i els codis que hem associat a cada quote.	162

Figura 114. Diagrama detallat del procés d'anàlisi de dades a partir de les entrevistes. Les fletxes vermelles corresponen als enllaços quotes–quotes, i les fletxes blaves els enllaços quotes–codis.	163
Figura 115. Captura de pantalla de Altas.ti on apareix una quota amb un fragment d'entrevista vinculat a 2 quotes de dificultats, cada una de les quals està alhora vinculada a dos codis, que són per tant co-ocurrents.	164
Figura 116. Captura de pantalla de Altas.ti on apareix la taula de co-ocurrència que genera el programa.	165
Figura 117. Captura de pantalla de Altas.ti on apareix la taula de re-ocurrència entre codis (files) i documents primaris (columnes).	165
Figura 118. Interpretació alternativa de l'estructura compositiva de la representació. La interpretació canònica l'hem definida en la Figura 73.	175
Figura 119. Connexió bijectiva entre els elements de la representació.	176
Figura 120. Connexió entre els bobines i l'imant com un "circuit" per on ha de passar l'imant donant voltes per les dues bobines.	177
Figura 121. En només sis segons, les partícules de VA3 s'han després del llibre i han desaparegut (VA3d2).	180
Figura 122. Representació de la prominència dels elements. Blanc: màxima prominència. Gris: mínima prominència.	181
Figura 123. Forma cilíndrica de la bobina que és interpretada com un "forat".	183
Figura 124. Semblança visual entre les partícules de la simulació A i les representacions més corrents utilitzades en el model cinètic-molecular.	186
Figura 125. Semblança visual entre la relació imant - sensor i la relació entre l'imant i una brúixola.	188
Figura 126. Semblança visual entre el moviment de l'agulla del sensor i el moviment d'obrir i tancar un interruptor.	188
Figura 127. Semblança visual entre les línies de camp i les isòbares d'un mapa meteorològic.	188
Figura 128. Representació de la interpretació semàntica que fa la participant PB10 de les línies de camp.	190
Figura 129. Diagrama de fluxos per distingir entre EC i RM	192
Figura 130. Presentació simultània de les partícules que vibren i les partícules que marxen.	195
Figura 131. Diferents combinacions en la integració dels diferents sintagmes de la representació.	197
Figura 132. Moment en que la bombeta s'il·lumina, coincidint amb que una línia de camp passa just per sobre d'aquesta bombeta.	199
Figura 133. Comparació entre les partícules quan es representa la temperatura alta i quan es representa la temperatura baixa.	202
Figura 134. Representació del descens exponencial de la temperatura.	202
Figura 135. Perímetre dels blocs de color sòlid VA2 i VA5, amb forma de semicercles.	207
Figura 136. Elements de diferent naturalesa comunicativa combinats en una mateixa representació.	208
Figura 137. Diferència en la quantitat de partícules grogues abans d i després del fregament.	210
Figura 138. Superposició de les partícules que es interpreta com una mescla / una barreja.	211
Figura 139. Combinació de no identificar els llibres i donar excés de rellevància als elements centrals.	219
Figura 140. Interpretació alternativa de l'estructura compositiva de la simulació A.	219
Figura 141. Combinació de dues dificultats de lectura RE2 i DI1 de les que es deriva una interpretació alternativa.	220
Figura 142. Diferents graus d'il·luminació de la bombeta.	221
Figura 143. Relacions entre els diferents elements visuals de la representació.	222
Figura 144. Representació de la situació en que el sensor no s'interpreta, no se li dona cap significat.	222
Figura 145. Disseny metodològic de la Secció IV.	239
Figura 146. Diagrama de flux que explica el procés de selecció de les explicacions conceptuals errònies dels participants.	241
Figura 147. Representació de tres tipus de comportaments del descens de temperatura: "exponencial", "lineal" i "amb retard".	248

Figura 148. Gràfica feta per un estudiant participant del REVIR que representa la predicció de la temperatura d'una làmina de coure en la pràctica EN.	248
Figura 149. Representació comú de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises.	250
Figura 150. Representació de la irregularitat mesoscòpica (esquerra) i del contorn semicircular corresponent a la forma de les partícules (dreta).	250
Figura 151. Suma de la representació contínua de la matèria i de la representació corpuscular de la matèria.	251
Figura 152. Exemples de models alternatius de circuit elèctric identificats en Driver, Squires, Rushworth, i Wood-Robinson (1994)	252
Figura 153. Representació de la explicació conceptual errònia "el sensor és un aparell que mesura la força de l'imant".	253
Figura 154. Interpretació del circuit basat en un raonament seqüencial lineal.	254
Figura 155. Captura de pantalla del moment en que l'imant passa per l'interior de la bobina i el sensor marca (+).	255
Figura 156. Representació basada en l'explicació de la participant PB10 on les línies de camp "delimiten" el camp magnètic	255
Figura 157. Exemples d'explicacions alternatives a la inducció electromagnètica.	266
Figura 158. Seqüència lògica basada en les premisses de treball que ens permet presentar de forma conjunta els resultats de les preguntes P1, P2 i P3.	279
Figura 159. Relació entre les diferents columnes de les taules que presentem a continuació i les tres preguntes de la recerca.	279
Figura 160. Disseny visual alternatiu al de la simulació A, amb una representació exhaustiva de les partícules.	301
Figura 161. Disseny visual alternatiu al de la simulació A, amb una representació exhaustiva de les partícules.	302
Figura 162. Proposta de combinació de gràfica de temperatura i termòmetre, extret de (Girwidz, 2007)	302
Figura 163. Representació d'una altra simulació del projecte PhET que també aborda la inducció electromagnètica.	303

SECCIÓ I: Plantejament de la recerca

En la Secció I presentem el plantejament i el problema de recerca d'aquesta tesi doctoral.

Aquesta secció consta dels següents capítols:

- Capítol 1: Introducció: La problemàtica de la lectura d'imatges en l'ús de simulacions.
- Capítol 2: Marc teòric, revisió bibliogràfica i antecedents de la recerca.
- Capítol 3: Objectius i preguntes de recerca.
- Capítol 4: Justificació de la unitat temàtica de la tesi.

**Capítol 1. Introducció: La
problemàtica de la lectura d'imatges
en l'ús de simulacions**

Les simulacions: una eina educativa basada en la comunicació visual

Les simulacions, els videojocs o els laboratoris virtuals són eines informàtiques cada vegada més utilitzades a escoles i instituts (Grimalt-Álvaro, Pintó, i Ametller, 2013; Hennessy, Deaney, i Ruthven, 2006; Rutten, van Joolingen, i van der Veen, 2012; Zacharia, 2003). En alguns casos els professors utilitzen aquests recursos educatius de forma esporàdica, tot i que cada vegada en més professors aquests constitueixen un recurs arrelat a la practica docent quotidiana en l'ensenyament de les ciències a l'educació secundària.

Però què és exactament una simulació? El terme “*simulació*” és molt ampli i inclou una gran varietat d'eines que poden tenir aspectes i configuracions molt diverses, però que totes elles es podrien englobar sota la definició proposada per Smetana i Bell (2011) segons la qual:

“Computer simulations are computer generated, dynamic models of the real world and its processes. They present theoretical or simplified models of real-world components, phenomena, or processes”.

Si parlem, de forma més específica, no de simulacions en general sinó de simulacions amb finalitats educatives, i de forma encara més específica de simulacions educatives per a l'ensenyament de la física a secundària, en la literatura especialitzada trobem que s'hi fa referència a través de diferents termes, com ara “*effective simulations*”, “*educational simulations*”, “*applets*”, “*physlets*” o fins i tot “*virtual labs*”, entre d'altres, en funció de si són aplicacions informàtiques executables on-line o off-line, de si presenten un fenomen en un context real o en un context de laboratori o bé de si s'utilitza un llenguatge Flash o Java.

Ara bé, tots aquests matisos escapen de l'interès del nostre treball, ja que en qualsevol dels casos les simulacions educatives tenen com a finalitat que l'estudiant les utilitzi i manipuli (ja sigui per resoldre un problema d'aula, per seguir una explicació del comportament d'un sistema, per realitzar una experiència modificant variables i observant la seva evolució, per fer prediccions, etc.), i que per tant, interaccioni amb elles a partir d'uns “inputs” que, en base al model computacional que les regeix, generin uns “outputs” que es reproduïen per pantalla. Dit d'una forma, podem entendre una simulació com un sistema d'interacció persona-ordinador¹ en la que la persona controla el comportament informàtic d'un model computacional representat per pantalla, i a través del control d'aquest model la persona genera canvis en la representació. Des d'aquesta perspectiva, la lectura i interpretació adequades de les imatges que apareixen en una simulació són elements imprescindibles per poder parlar d'una interacció persona-ordinador reeixida. És a dir, si no es llegeix adequadament les representacions visuals d'una simulació, és fa molt difícil parlar d'una interacció reeixida.

Per tant, interaccionar amb una simulació voldrà dir, d'una manera o altra, “llegir” les imatges que s'hi representen, i fer-ho adequadament. És per aquest motiu que Pintó, Couso, i Hernández (2010) proposen que:

¹ Extret de Viquipèdia (abril 2013): Encara no hi ha una definició concreta pel conjunt de conceptes que formen l'àrea de la interacció persona-ordinador. En termes generals, podríem dir que és la disciplina que estudia l'intercanvi d'informació entre les persones i els ordinadors. Aquesta s'encarrega del disseny, l'avaluació i la implementació dels aparells tecnològics interactius, tot estudiant la major causalística que els pugui arribar a afectar. L'objectiu és que l'intercanvi sigui més eficient: minimitzar errors, incrementar la satisfacció, disminuir la frustració i, en definitiva, fer més productives les tasques que envolten a les persones i el ordinadors.

In order to use computer simulations efficiently, it is essential to guarantee that students understand the meaning of the elements represented and have certain knowledge on the scientific topic that is tackled.

Però quins són aquests elements representats en una simulació educativa per a l'ensenyament de la física? Podem fixar-nos en una selecció aleatòria de nou simulacions (Figura 1) que apareixen disponibles en el lloc web del projecte PhET, considerat el repositori web per excel·lència on obtenir simulacions educatives de física per a secundària de forma simple i gratuïta².



Figura 1. Captura de pantalla d'alguna de les simulacions educatives per a l'ensenyament de la Física que ofereix el projecte PhET.

Fent una ràpida observació d'aquestes nou simulacions, trobarem que en els nou casos hi apareixen representacions virtuals de fenòmens físics, ja siguin fenòmens naturals o bé reproduïts a través d'un muntatge experimental de laboratori. En la majoria dels casos apareixen diferents escales de representació (macroscòpica i molecular), així com representacions d'instruments de mesura, representacions simbòliques de conceptes físics abstractes (com ara línies de camp, vectors, feixos de llum, zones de potencial, càrregues elèctriques, etc.) i diferents tipus de gràfics i símbols matemàtics. En tots nou casos les simulacions també inclouen barres d'eines, quadres de comandament o algun altre tipus d'interfícies que permeti la interacció amb l'estudiant que vulgui utilitzar la simulació.

² El projecte PhET (acrònim de Physics Education Technology) de la Universitat de Colorado ha estat en els darrers anys guardonat amb diferents premis educatius, valorat com un dels millors repositoris on-line de simulacions en informes d'associacions com MPTL (Multimedia Physics Teaching and Learning) o MERLOT (Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching) i finançat per prestigioses fundacions com la NSF (National Science Foundation). És també el primer lloc web que apareix quan s'introdueixen els termes "*physics simulations*" al cercador de Google, i ha estat destacat també com a repositori de simulacions per excel·lència en revisions bibliogràfiques sobre ús de simulacions educatives de ciències com el de Rutten, van Joolingen i van der Veen (2012).

Per tant, d'acord amb l'afirmació de Pintó, Couso, i Hernández (2010), per tal que els estudiants puguin utilitzar de forma efectiva qualsevol d'aquestes simulacions, serà necessari que llegeixin de forma adequada les representacions visuals que hi apareixen.

Però això realment és així? Llegeixen els estudiants de secundària adequadament tots aquests elements representats? I en cas que no ho facin, realment podem dir que les simulacions educatives que podem trobar en repositoris virtuals com el de PhET són realment útils per a l'aprenentatge de les ciències? Si intentem respondre aquesta pregunta fixant-nos en l'argumentació didàctica que utilitzen en la pròpia web de PhET hi trobarem escrit que un dels principals objectius que els seus autors persegueixen amb aquestes simulacions és:

“To help students visually comprehend concepts, PhET simulations animate what is invisible to the eye through the use of graphics and intuitive controls such as click-and-drag manipulation, sliders and radio buttons.”

En aquesta mateixa línia, Wieman, Adams, i Perkins (2008) afirmen en la prestigiosa revista *Science*, al referir-se a les simulacions de PhET, que:

“We find that an important element of educationally effective simulations is that students view these simulations much as scientists view their research experiments (...) visual representations to show the invisible (the motion of air molecules in a sound wave); multiple representations to support deeper understanding (pressure differences visualized by density of air molecules, by light and dark shading on the gray-scale view, and by the pressure versus time graph); (...) animated graphics tested to ensure correct interpretation; and distortion and simplification of reality to enhance educational effectiveness.”

Tenint en compte aquestes dues afirmacions fetes pels responsables del projecte PhET, podríem considerar que la justificació per la qual aquestes simulacions són potents eines educatives per a l'ensenyament de la Física és que “permeten a l'alumne veure imatges”. De fet, aquesta idea que “veure imatges” ajuda a entendre conceptes i per tant a aprendre ciències no és nova ni exclusiva d'aquests autors, sinó que podem considerar-la com una concepció molt estesa en el món de l'ensenyament de les ciències (i en general en tot l'ensenyament), a partir de la qual es justifica l'ús de representacions visuals en l'ensenyament de les ciències.

La lectura d'imatges en l'ensenyament i aprenentatge de les ciències

La lectura d'imatges ha estat i és una qüestió cabdal dins del camp d'estudi de l'ensenyament i aprenentatge de les ciències. Mostra d'això és que els darrers anys s'han publicat nombrosos llibres i “*handbooks*” que aborden de forma específica la qüestió de la “visualització” i les “representacions” com a mecanisme clau en l'aprenentatge de les ciències: “*Scientific Visualization in Mathematics and Science Teaching*” (Thomas, 1995), “*Visualizations in Science Education*” (Gilbert, 2005), “*Multiple Representations in Chemical Education*” (Treagust i Gilbert, 2009), “*Visualizations in Mathematics, Reading and Science Education*” (Phillips, Norris, i Macnab, 2010), “*Reading for Evidence and Interpreting Visualizations in Mathematics and Science Education*” (Norris, 2012) o “*Multiple Representations in Biological Education*” (Treagust i Tsui, 2013). Aquesta rellevància de la visualització com a element didàctic no hauria de sobtar si es té en compte el consens que hi ha en l'estudi de la naturalesa de les ciències, ja que la comunicació visual és un element fonamental i indescindible del coneixement científic. Lemke (1998) parla de les imatges

com un element intrínsec a la naturalesa de les ciències i a la pròpia construcció del coneixement científic, afirmant que aquestes no són simples objectes de decoració ni serveixen per complementar la informació que apareix en text escrit, sinó que són elements comunicatius imprescindibles. Perini (2005) afirma que la ciència moderna està farcida d'elements no-lingüístics, i que els científics no utilitzen només paraules i fórmules algebraiques sinó diagrames, gràfics, fotos, vídeos i tota mena d'imatges. Kress i Ogborn (1998) utilitzen aquesta naturalesa "visual" de la ciència per justificar la necessitat que professors i estudiants puguin treballar adequadament amb diferents tipus de sistemes de representació, i que s'han de desenvolupar habilitats de lectura d'imatge per treure profit del potencial comunicatiu de les representacions visuals. Aquesta gran rellevància de les representacions visuals també ha portat a conduir recerques sobre com dibuixen els propis alumnes i com el dibuix amb llapis i paper ajuda en l'aprenentatge de les ciències (Bigio, 2011), i també ha portat a discutir com l'entrada de tecnologies digitals a les escoles (és a dir, la digitalització de l'educació) porta a noves formes de comunicació visual amb imatges, ja sigui amb ordinadors, dispositius mòbils o pissarres digitals interactives (Hennessy, Deaney, i Ruthven, 2006).

En conclusió, una premissa que podem trobar implícita i molt arrelada en totes aquestes contribucions a la literatura és el paper central que atorga a les imatges com a eines de comunicació, interacció i aprenentatge, que es troben "en el ADN" de les ciències, sense les quals seria impossible representar molts conceptes i idees científiques (xarxes tròfiques, objectes de laboratori, camps de forces, gràfics matemàtics, etc.). Aquesta idea es pot resumir en l'afirmació que fan Phillips et al. (2010):

"Depicted visual representations provide students information that other means of instruction do not, allowing the student to develop deeper and richer concepts than they otherwise might".

En conclusió, podem afirmar que existeix una idea força estesa que les representacions visuals constitueixen un element clau en l'ensenyament de les ciències, i són, alhora, un dels leïtmotiv que porta a mestres, professors, editorials i tota mena d'institucions educatives a dissenyar, compilar, promoure i usar simulacions educatives que ajudin a representar conceptes, fenòmens i models científics.

Però ens preocupem veritablement per la lectura d'imatges científiques?

Ara bé, aquest paper tan important que, de forma generalitzada, s'atorga a les imatges que apareixen representades en simulacions contrasta, i bastant, amb la poca atenció que aquestes imatges reben quan s'estudia el seu valor educatiu real i la seva veritable efectivitat per ajudar als estudiants. Mentre que, com hem vist fins ara, molts autors asseguren que les imatges són molt importants per aprendre ciències, poques recerques han anat a fons investigant si els estudiants, en utilitzar simulacions, realment estan llegint i entenent les representacions visuals que hi apareixen tal com s'espera d'ells o si, per contra, es troben amb dificultats que provoquen interpretacions errònies de les imatges representades. Dit d'una altra manera, poques recerques s'han centrat en analitzar si els estudiants **llegeixen les imatges de forma canònica**³.

Si ens fixem, per exemple, en la revisió crítica de la literatura duta a terme per Smetana i Bell (2011) on revisa 61 estudis relacionats amb l'efecte educatiu de simulacions per a l'ensenyament i aprenentatge de les ciències en el període 1972-

³ Ens referim a "canònica" com "adequada". Definirem aquest terme amb major claredat al principi del capítol 2.

2010, trobem que cap d'aquests estudis fa cap referència a si els estudiants realment entenen o no les imatges representades en simulacions. Alhora, al llibre de (Norris, 2012), expressament dedicat a la visualització a ciències i matemàtiques, en alguns capítols s'aborden dificultats conceptuals dels estudiants quan llegeixen però no dificultats de lectura; i en els llibres de Gilbert (2005) i de Phillips, Norris, i Macnab (2010), tot i abordar també la visualització d'imatges científiques, donen una importància gairebé nul·la a quines són les possibles dificultats que es deriven de la lectura d'imatges. Aquesta falta d'atenció al paper específic de les representacions visuals en el procés d'ensenyament i aprenentatge de les ciències, la trobem també a Perales (2006), que adverteix de l'escassetat de referències bibliogràfiques al paper concret de les imatges i com treballar amb elles en l'ensenyament i aprenentatge de les ciències.

Perquè passa això? Si sovint s'argumenta que les imatges científiques que apareixen en les simulacions ajuden a la comprensió i aprenentatge de les ciències, perquè en canvi rarament s'entra a fons a analitzar què és realment el que els estudiants llegeixen i interpreten, i per tant, a comprovar l'efectivitat real de la comunicació entre simulació i estudiant des del punt de vista de les seves representacions visuals? A què es deu aquest desfasament que hi ha en la didàctica de les ciències entre la importància que se li dóna a les imatges de les simulacions i la importància que se li dóna a la investigació sobre les imatges de les simulacions? En la nostra opinió, això és fruit de la concepció i l'assumpció generalitzada que les representacions visuals ajuden *per se* als estudiants a aclarir conceptes científics, és a dir, que llegir una imatge i entendre-la són dos processos equivalents. És a dir, considerem que aquesta contradicció es causada, al menys en part, per la concepció estesa que quotidianament s'expressa com "una imatge és sempre millor que mil paraules"⁴.

Però realment una imatge val sempre més que mil paraules en l'ensenyament de les ciències? Si per respondre a aquesta pregunta tenim en compte els estudis centrats en analitzar com són les imatges científiques educatives i com les llegeixen els estudiants (Ametller i Pintó, 2002; Cook, Wiebe, i Carter, 2008; Girwidz, 2009; Perales i Jiménez, 2002; Perales, 2006; Stylianidou i Ogborn, 2002), en tots els casos s'ha trobat que la lectura d'imatges científiques no és mai (o gairebé mai) trivial, i que existeixen aspectes particulars que els estudiants han de saber llegir i descodificar per interpretar adequadament el significat de la imatge i de tots els seus elements. Si aquesta ha estat la conclusió a la que han arribat els estudis que han analitzat la lectura d'imatges "analògiques" (és a dir, imatges estàtiques amb suport imprès com ara un llibre de text, un dibuix a la pissarra o una fitxa de classe), tot fa pensar que la lectura d'imatges "digitals" representades en les simulacions educatives de física tampoc serà ni molt menys trivial, i que també estarà subjecta a interpretacions errònies i a dificultats de lectura equivalents a les trobades en recerques anteriors o fins i tot de noves, que depenguin de la naturalesa dinàmica de les representacions digitals.

La nostra motivació: abordar a fons la lectura d'imatges a través de les dificultats que intervenen

Per aquest motiu, l'interès d'aquesta recerca serà conèixer les dificultats de lectura que apareixen quan es demana a als alumnes de secundària que llegeixin, interpreten i provin de comprendre què és allò que el dissenyador de la simulació ha volgut transmetre a través del seu disseny. Per fer-ho, aquesta recerca es centrarà en el

⁴ L'expressió "*Una imatge val més que deu mil paraules*" va aparèixer en premsa a partir dels anys 20 del s.XX, on es va associar aquesta expressió al proverbi xinès "一图胜万言". Amb el temps, aquest proverbi s'atribuiria popularment al filòsof Confuci.

procés de lectura que fan els estudiants de secundària quan llegeixen les representacions visuals que apareixen en algunes simulacions educatives de la plataforma educativa PhET. Més concretament, la recerca que aquí presento pretén analitzar com els estudiants de secundària llegeixen dues simulacions de física especialment seleccionades per l'ocasió, i quines són les dificultats amb que aquests estudiants es troben al fer-ho. Ens hem centrat en dues simulacions educatives adreçades a estudiants de secundària que, segons afirmen els seus propis autors, han estat dissenyades per ensenyar dos fenòmens científics determinats: La primera simulació (figura 2) aborda l'escalfament que es produeix quan dues superfícies estan en fricció entre elles, mentre que la segona (figura 3) tracta la inducció electromagnètica que es produeix durant la interacció entre un imant en moviment i una bobina connectada a un circuit elèctric.

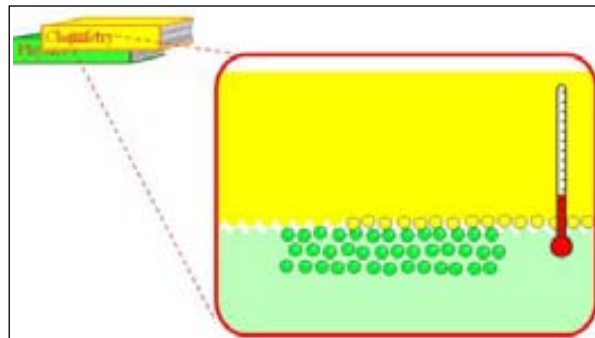


Figura 2. Representació visual de la simulació A.

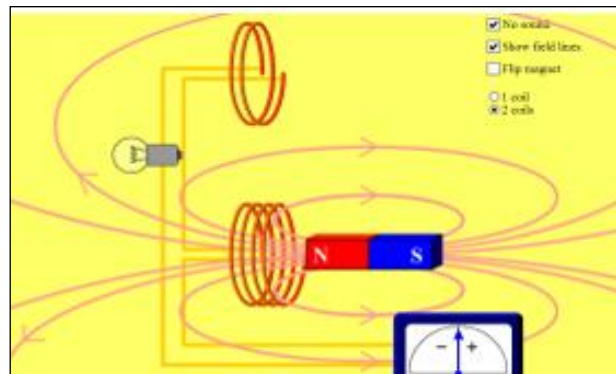


Figura 3. Representació visual de la simulació B.

A través d'aquest estudi, en el que entrevistarem una vintena d'estudiants d'entre 14 i 16 anys mentre utilitzen aquestes dues simulacions, esperem identificar les dificultats de lectura que intervenen durant el procés de lectura, i també la manera com aquestes dificultats puguin afectar a la comprensió del contingut científic representat a través d'aquestes dues simulacions.

**Capítol 2. Marc teòric, revisió
bibliogràfica i antecedents de la
recerca**

Abans d'endinsar-nos en la revisió bibliogràfica que presentarem al llarg d'aquest capítol, hem afegit dues qüestions prèvies. D'una banda, volem proposar algunes definicions preliminars per aclarir què entenem exactament quan ens referim a “lectura”, “lectura d'imatges” i “lectura canònica d'imatges”. De l'altre, volem justificar breument la manera amb la que hem estructurat el marc teòric i perquè aquest es combina camps teòrics diferents.

Definicions preliminars

En el capítol anterior hem utilitzat les expressions “la lectura d'imatges” i “llegir” imatges quan, en realitat, en la major part de definicions que puguem trobar del terme “llegir / lectura” estan restringides a l'acció de llegir un document escrit, és a dir, un text. Per exemple, l'Institut d'Estudis Catalans defineix “llegir” com:

“**Llegir** v.tr.: || 1. Distingir i anar dient oralment o mentalment el sons i paraules figurats per les lletres d'un text, per tal d'adquirir coneixença del contingut d'aquest. || 2. Endevinar (els pensaments, els sentiments, etc.) per aspecte exterior.”

Així doncs, perquè parlem de “la lectura d'imatges” si només es pot “llegir text”? Ens referim a “llegir imatges” o bé a “llegir representacions visuals” (de fet, al llarg del treball utilitzarem indistintament “imatge” i “representació visual” com a sinònims) en un sentit metafòric, utilitzant el terme en sentit anàleg al de la lectura de textos escrits. De fet, aquesta expressió no és nova, doncs en la literatura podem trobar múltiples referències al terme “*Reading Images*” (Ametller i Pintó, 2002; Kress i van Leeuwen, 1996; Martin i Veel, 1998). A partir d'aquest ús metafòric del terme “llegir”, i basant-nos en el Diccionari de Lingüística de Tusón (2001) podem definir la lectura d'imatges/representacions visuals com:

Lectura d'una imatge / representació visual: *Acció d'interpretar els elements visuals que componen una imatge / representació visual per tal d'adquirir coneixença del seu significat i la seva funció.*

Ara bé, com hem argumentat fins ara, la lectura d'imatges (i molt especialment la lectura d'imatges científiques per a estudiants d'ESO) no es pot pressuposar o donar per garantida. És a dir, el simple fet que un estudiant d'ESO es miri una imatge amb deteniment en un context comunicatiu d'aula no implica que la llegeixi adequadament, i per tant, que la interpreti tal i com l'autor d'aquesta representació pretenia que fos interpretada en aquest mateix context comunicatiu. D'altra banda, tampoc es pot caure en una excessiva simplificació afegint qualificatius al terme “lectura” amb poc de rigor com ara “els estudiants llegeixen bé una imatge” o “els estudiants llegeixen malament una imatge”, ja que la lectura de qualsevol representació admet una immensa varietat d'interpretacions i matisos que, com veurem més endavant, tenen una enorme càrrega sociocultural i són dependents del context comunicatiu. I en darrer lloc, la definició de lectura d'una imatge exposada tampoc és totalment aclaridora, ja que en aquesta definició hem utilitzat termes com “interpretar” o “significat”, quan en realitat aquests són termes d'una gran complexitat i que compten amb una gran varietat d'accepcions.

Per tots aquests motius, és necessari definir un terme que serveixi per referir-nos a l'acció que fa un estudiant al interpretar una representació visual tal i com l'autor d'aquesta representació hagués volgut que fos interpretada per un estudiant d'aquesta mateixa edat. A aquesta acció l'anomenarem “lectura canònica” i la definirem de la següent forma:

Lectura canònica d'una imatge / representació visual: *Acció d'interpretar els elements visuals que componen una imatge i que porta al lector a adquirir coneixença del significat i la funció que l'autor de la imatge pretenia comunicar a través d'ella en un context comunicatiu determinat.*

En darrer lloc, volem fer una última definició. La temàtica en que es centra aquest treball no és en la lectura d'imatges en general, sinó concretament en la lectura d'imatges que apareixen per pantalla quan un estudiant fa córrer una simulació educativa de física. Evidentment, una simulació no és només una representació visual, sinó que inclou un codi escrit amb algun llenguatge de programació que un ordinador tradueix en la representació visual que apareix per pantalla. Alhora, altres autors s'hagin referit al fet de la "visualització" de les simulacions (Braga, Phillips, i Norris, 2012; Gotwals, 1995; Phillips et al., 2010), tot i que nosaltres, per simplicitat, al llarg del treball parlarem de "llegir una simulació" o "lectura d'una simulació" per referir-nos a "llegir la representació visual que apareix per pantalla quan es fa córrer una simulació educativa".

Presentació dels camps teòrics que configuren el nostre marc teòric: la semiòtica, la psicologia de la percepció i la didàctica de les ciències

Un cop definit què entenem per lectura d'imatges cal preguntar-se com podem analitzar la lectura que fan els estudiants d'ESO de les imatges que apareixen en simulacions educatives. És a dir, cal preguntar-se quins són els camps de coneixement contemporani que han abordat la lectura d'imatges amb anterioritat i, per tant, quins camps ens poden ser útils per configurar un marc teòric propi que ens permeti un coneixement òptim sobre aquesta qüestió.

Abans d'entrar a discutir quins són aquests camps de coneixement considerem que, com a mínim (i sense voler entrar encara a discutir a fons cadascuna d'aquestes idees) és imprescindible prendre en consideració cinc elements: (1) la representació externa pròpiament dita (és a dir, la imatge en sí mateixa), (2) el contingut científic que es representa a través de la imatge, (3) el context sociocultural i comunicatiu en el qual està inserit el procés de lectura, (4) els processos cognitius que es donen en la lectura, i (5) els coneixements previs del lector i les seves preconcepcions (tant les preconcepcions científiques com les preconcepcions del context comunicatiu). Per combinar aquests cinc elements fonamentals representats en la Figura 4 és necessari tenir en compte la literatura de tres camps teòrics o tres marcs conceptuals diferents, com exposem en la Figura 5: la semiòtica, la psicologia de la percepció i la didàctica de les ciències.

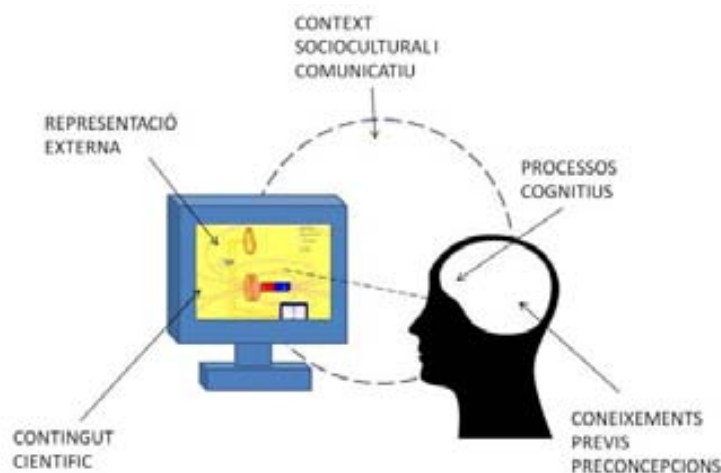


Figura 4. Els cinc elements que considerem imprescindibles per abordar la lectura d'imatges

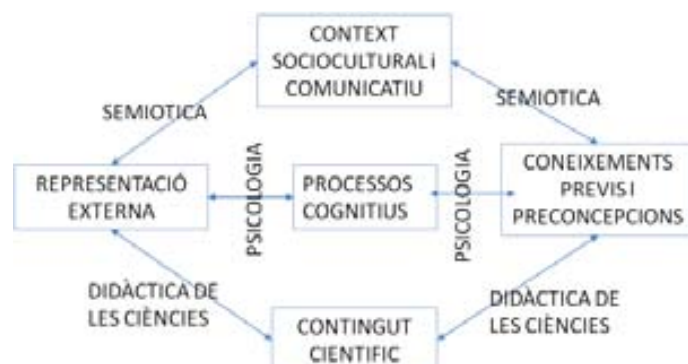


Figura 5. Els tres camps de coneixement (semi tica, psicologia de la percepció i did ctica de les ci ncies) que permeten interrelacionar els cinc elements definits en la Figura 4

En primer lloc, analitzar la lectura d'imatges científiques passa per preguntar-nos com són les representacions externes que els alumnes han d'interpretar, és a dir, quines són les seves característiques visuals i quin sentit i significat tenen en un context comunicatiu determinat. Això ens porta al camp de la **semi tica**, la disciplina que permet analitzar amb quins codis i signes compta el llenguatge visual (els colors, les formes, la mida, la posició, el tipus de traç i de textures, la perspectiva, etc.), i quines regles regeixen aquest llenguatge (la gramàtica visual) en un context sociocultural i comunicatiu determinat.

Ahora, analitzar aquesta lectura d'imatges científica també implica analitzar el conjunt de processos perceptius i cognitius relacionats amb la lectura i la seva relació tant amb la representació externa com amb els coneixements previs. Això ens porta al camp de la **psicologia de la percepció**, camp que aborda els models cognitius que expliquen la lectura d'imatges, els processos cognitius que intervenen en la lectura (codificació, memòria a curt i llarg termini, precedència, etc.) i la interpretació a nivell cognitiu de diferents formes de presentar la informació (imatges estètiques, representacions múltiples, informació dinàmica, etc.), així com els principis de disseny visual que se'n deriven.

En tercer i últim lloc, analitzar la lectura d'imatges científiques no pot fer-se sense tenir en compte el fet didàctic que això representa, cosa que ens porta a adoptar també la perspectiva de la **didàctica de les ciències**. Això implica, d'una banda, concebre les imatges com la representació d'un contingut científic determinat (en aquest cas, de

física) i per tant, comprendre les particularitats d'aquest contingut com inherents a la pròpia representació del coneixement. A més, la perspectiva didàctica de la lectura d'imatges ens permet concebre la lectura com un procés que parteix sempre d'uns coneixements previs, i que també està fortament marcat pels raonaments espontanis que fan els estudiants.

Aquests tres camps teòrics exposats són complementaris entre ells, ja que aborden preguntes rellevants referents a diferents aspectes de la lectura d'imatges científiques (Figura 6). Cal dir, però, que presentar aquestes tres perspectives no vol dir negar l'existència d'altres perspectives que permetessin, per exemple, incloure la dimensió emocional de les representacions i la lectura, la dimensió artística, la dimensió epistemològica de la lectura, etc., sinó simplement no s'han tingut en compte.

Semiòtica / Gramàtica visual	Psicologia de la percepció (la lectura com a procés mental)	Didàctica de les ciències (la lectura com a fet didàctic)
<ul style="list-style-type: none"> • Quins són els elements constituents de les imatges i com s'organitzen? • Quines regles gramaticals regeixen els significats i les funcions de les imatges? 	<ul style="list-style-type: none"> • Quins models cognitius expliquen la lectura com a procés perceptiu i cognitiu? • Quins processos perceptius intervenen en la lectura d'imatges i quin efecte tenen sobre la interpretació? 	<ul style="list-style-type: none"> • Com és el contingut científic que es representa a través d'imatges? • Com intervenen les preconcepcions i els raonaments espontanis en el disseny d'imatges i en la lectura d'imatges?

Figura 6. Les preguntes rellevants que provenen de cadascun dels tres camps teòrics seleccionats

De fet, aquestes tres perspectives no només són complementàries, com prova d'argumentar Perales (2006), sinó que existeixen precedents en la literatura on aquests diferents camps s'han interrelacionat i combinat. Per exemple, en molts casos s'han utilitzat els principis psicològics de lectura d'imatges per aplicar-los des del camp de la didàctica de les ciències a la lectura d'imatges estàtiques, animacions o simulacions (Ardac i Akaygun, 2005; Cook et al., 2008; Cook, 2006; Jiménez, 1998; Perales, 2006; Plass, Homer, i Hayward, 2009). Alhora, en molts altres casos s'han aplicat a l'ensenyament de les ciències les teories semiòtiques de la multimodalitat (Lemke, 1998; Márquez, Izquierdo, i Espinet, 2006; Martín i Veel, 1998) i també s'ha aplicat a l'ensenyament de les ciències la gramàtica de les imatges (Ametller i Pintó, 2002; Colin, Chauvet, i Viennot, 2002; Pintó i Ametller, 2002a; Stylianidou i Ogborn, 2002; Testa, Monroy, i Sassi, 2002).

2.1. La semiòtica: La gramàtica de les imatges

En la teoria semiòtica meta-funcional de Halliday (1978), un sistema comunicatiu determinat pot ser considerat com un llenguatge si compleix tres funcions lingüístiques: (a) **La funció ideacional**, que permet interpretar i organitzar les experiències en el món real i conformar-se una visió d'aquest món, (b) **la funció interpersonal**, que permet donar significat expressiu i conatiu de la comunicació lingüística, mitjançant la que s'estableixen i es mantenen relacions socials, rols comunicatius i es consolida la identitat dels parlants; i (c) **la funció textual** és la que permet dotar de significat contextual, i que permet la creació de textos (unitats comunicatives) de forma apropiada i pertinent per a realitzar practiques socials específiques. A partir d'aquest paradigma, autors del camp de la semiòtica social (Kress i van Leeuwen, 1996, 2002) - i també autors que han estudiat la semiòtica aplicada a l'ensenyament de les ciències (Kress i Ogborn, 1998; Martin i Veel, 1998)-, han argumentat que les imatges constitueixen un llenguatge propi en tant que compleixen aquestes tres funcions lingüístiques proposades per Halliday.

Això porta als autors del camp de la semiòtica a parlar del llenguatge de les representacions visuals, i per tant, de la gramàtica que hi ha associada. Dit d'altra forma, la premissa o la justificació que les representacions visuals conformen un llenguatge és el que ha permès als autors provinents de la semiòtica analitzar les imatges de forma gramatical i és, per tant, el que ens permetrà fer-ho també a nosaltres al llarg d'aquest treball. Per fer-ho, assumim que qualsevol procés de comunicació l'emissor (en el nostre cas, les persones que han dissenyat la simulació) estableix una comunicació amb el receptor (en el nostre cas, els estudiants de secundària) a través d'un missatge (en aquest cas, la representació visual de la simulació en qüestió) que s'ajusta a uns codis i unes regles comunicatives, i per tant, a una gramàtica. Com asseguren Kress i Van Leeuwen (1996) aquests codis i regles poden semblar transparents, però no per això deixen de regir el procés comunicatiu:

“Visual communication is always coded. It seems transparent only because we know the code already, at least passively – but without knowing what it is we know, without having the means for talking about what it is we do when we read an image. A glance at the ‘stylized’ arts of other cultures should teach us that the myth of transparency is indeed a myth. We may experience these arts as ‘decorative’, ‘exotic,’ ‘mysterious’ or ‘beautiful’, but we cannot understand them as communication, as forms of ‘writing’ unless we are, or become, members of these cultures.”

Anys més tard, aquests mateixos autors (Kress i van Leeuwen, 2002), tornen a referir-se als codis gramaticals de les representacions visuals de la següent manera:

“What makes a grammar grammar-like is that it has characteristics that can be contravened. In other words, a group’s sense of regularities of the resource allows it to recognize when these regularities have (not) been met. In older-fashioned terms, we can say that we know that there is a grammar when we can recognize an ungrammatical use of the resource.”

Així doncs, assumint que existeix el llenguatge de les representacions visuals, i tenint en compte que les regles que regeixen tot llenguatge es descriuen amb una gramàtica, toca preguntar-nos si la **gramàtica de les representacions visuals** descriu les normes de la comunicació visual de la mateixa manera que la gramàtica del text descriu les normes de la comunicació amb textos escrits. És a dir, es pot parlar com

succeeix en la gramàtica del text escrit, de diferents nivells gramaticals (sintàctic - morfològic, lèxic - semàntic i pragmàtic)? En aquest sentit, la posició de Kress i Van Leeuwen (1996) té dues vessants. D'una banda, afirmen que:

“Just as grammar of language describe how words combine in clauses, sentences and texts, so our visual grammar will describe the way in which depicted people, places and things combine in visual “statements” of greater or lesser complexity and extension.

De l'altre, aquests mateixos autors que defensen la necessitat de parlar d'una gramàtica visual, no es decanten per “importar” de forma literal les teories provinents de la lingüística, sinó de noves i independents, basades en les funcions lingüístiques de Halliday anteriorment exposades:

“We have not imported the theories and methodologies of linguistics directly into the domain of the visual, as has been done by others working in this field. For instance, we do not make a separation of syntax, semantics and pragmatics in the domain of the visual; we do not look for (the analogues of) sentences, clauses, nouns, verbs, and so on, in images. We take the view that language and visual communication can both be used to realize the ‘same’ fundamental systems of meaning that constitute our cultures, but that each does so by means of its own specific forms, does so differently and independently”

En canvi, com aquests mateixos autors afirmen, en altres casos sí que s'ha adoptat la idea dels nivells de la gramàtica del text i les adopten a la gramàtica visual. Així ho va fer Dondis (1973), al menys parcialment, en el seu llibre traduït com “*La sintaxis de la imagen*” i també es pot trobar en múltiples assajos de semiòtica aplicada a la publicitat i altres esferes de la comunicació audiovisual (Megah, 2010; Radulescu, 2012). En aquest sentit, Radulescu (2012) argumenta que:

Semióticamente hablando (...) cuenta con una semántica, una morfosintaxis y una pragmática; vistas en conjunto, con una gramática. La gramática de la imagen es un conjunto de interacciones que genera el sentido a través de una pragmática (acción de comunicación) que actualiza en el acto de recepción la semántica propuesta por la imagen y respaldada por la estructura compositiva o sintáctica.

Finalment, aquesta “importació” dels nivells de la gramàtica del text escrit (sintàctic, semàntic i pragmàtic) també els fa Plass et al. (2009), referint-se als processos de lectura com:

“At a minimum, they include (a) identifying the important features of a visual display, which is referred to as surface-level processing or external identification, (b) relating the visual features to their meaning, i.e., semantic processing, and (c) constructing the communicated message, i.e., pragmatic processing”.

En conclusió, podem afirmar que existeix una gramàtica visual, però existeix una certa discussió sobre si per estudiar les regles que regeixen aquesta gramàtica és útil o no importar els nivells gramaticals de la lingüística estricta (és a dir, la lingüística del text escrit). Nosaltres considerem que sí ens és útil, i tractarem de justificar-ho en la secció II, on utilitzarem els nivells sintàctic, semàntic i pragmàtic per classificar els tipus de requeriments de lectura que un estudiant haurà de superar per poder dur a terme una lectura canònica de les simulacions. Tot i així, més enllà d'aquesta discussió, existeixen un conjunt de denominadors comuns en qualsevol anàlisi gramatical d'una

representació visual. El primer és l'existència d'elements mínims no significatius constituents d'una imatge: el punt, la línia, el color, la forma, etc. En segon lloc, podem parlar dels elements mínims significatius (és a dir, els constituents d'una representació que tenen significat per sí mateixos), als quals, en el nostre cas, anomenarem sintagmes visuals. Alhora, podem considerar que la combinació d'elements mínims (significatius o no significatius) conformen a una composició visual. Finalment, que existeix una relació entre l'emissor i el missatge, el que anomenem modalitat. A continuació discutim cadascun d'aquestes idees.

2.1.1. Els elements mínims no significatius i els elements mínims significatius d'una imatge

De la mateixa manera que un text es compon en primera instància de lletres, qualsevol imatge, per simple que sigui, està formada de diferents elements visuals mínims no significatius, que Dondis (1973) anomenà els elements morfològics. En qualsevol llibre d'anàlisi de la imatge o de la fotografia (per exemple, Vilafañe, 1988) s'exposen quins són aquests elements, que en funció de l'interès de cada cas són el punt, la línia, el pla, la mida, la forma, la textura, la nitidesa, la il·luminació, el contrast, la tonalitat, la perspectiva, la saturació de color, etc. A més, si es tracta d'una representació dinàmica (no només una simulació, sinó també una animació o un vídeo) caldria afegir nous elements morfològics com el temps, la velocitat, les transicions (aparició d'elements), etc., les quals discutirem també més endavant (2.2.4). Tots aquests elements, que podem considerar com les "peces" amb les que es construeixen les imatges (estàtiques o dinàmiques) els anomenem elements mínims "no significatius" perquè per si sols no tenen un significat propi i independent, de la mateixa manera com succeeix amb les lletres d'una paraula o una oració.

En canvi, podem considerar que la combinació de formes, colors, textures, posicions, mides, etc., constitueixen elements visuals els quals per si sols sí que tenen significat, de la mateixa manera com la combinació de lletres en el text escrit permet construir paraules i sintagmes amb significat. A aquests elements els anomenarem **sintagmes visuals**, i els definirem com cadascuna de les unitats d'interpretació corresponent a un o més elements significatius que configuren una imatge. Cada sintagma visual ocupa un espai determinat en la representació global i, a més d'un significat, té unes característiques visuals i informatives pròpies que no tenen perquè coincidir amb les de la resta de sintagmes.

Per exemple, la Figura 7 és una representació visual corresponent a una simulació educativa sobre canvis de fase d'un material, que ha estat obtinguda del projecte PhET. Aquesta representació està composta per diferents elements mínims no significatius (punts, ratlles, colors, formes, fons, ombres, reflexos, etc.) que a la seva vegada conformen sintagmes visuals degudament distribuïts per l'espai, i en alguns casos superposats entre ells. Per exemple, el color blau del baròmetre no constitueix per si sol un element significatiu, i per tant, és un element mínim no significatiu (Figura 8, esquerra). En canvi, el color blau, sumat a la resta d'elements del seu voltant configuren un sintagma visual que representa un sensor de pressió (Figura 8, dreta). Altres sintagmes visuals de la representació serien l'èmbol, la representació molecular de la matèria que canvia de fase, els instruments de mesura com el baròmetre o el termòmetre, etc.

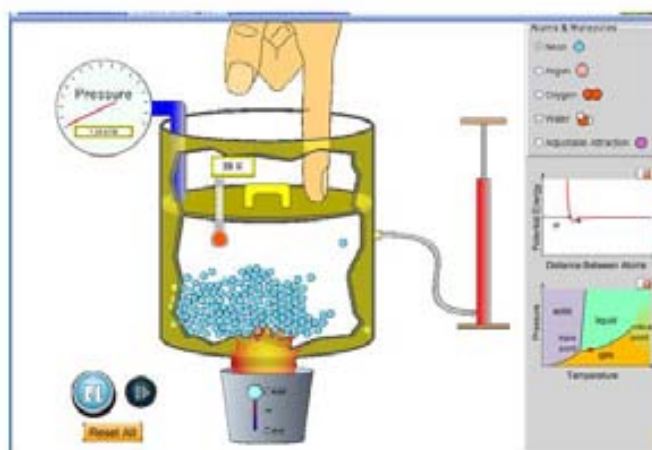


Figura 7 Representació visual d'una simulació obtinguda a PhET

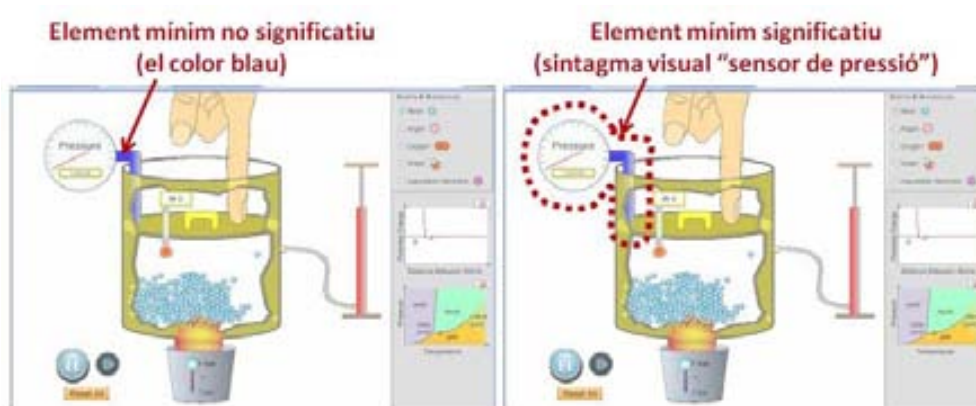


Figura 8. Els diferents sintagmes visuals que componen aquesta mateixa representació.

Cada un d'aquests sintagmes visuals té unes característiques visuals pròpies, que en alguns casos comparteixen amb altres sintagmes de la representació i en d'altres casos no. Per exemple, en aquest cas, els diferents elements visuals representats no comparteixen grau d'iconicitat (hi ha elements molt icònics i altres de molt realistes), escala de representació (hi ha elements de mides diferents), modalitat exhaustiva intensiva, modalitat topogràfica o topològica, macroscòpica i molecular, etc.

2.1.2. La composició de sintagmes visuals

De la mateixa manera que les paraules i els sintagmes degudament combinats conformen textos, a la combinació de sintagmes visuals el podem anomenar **composició**.

L'estructura compositiva d'una representació

De fet, la manera com els diferents elements visuals es combinen i s'interrelacionen és un dels aspectes més rellevants de l'anàlisi visual de les imatges des del punt de vista semiòtic a la literatura. Kress i Van Leeuwen (1996) van referir-se a aquesta manera de combinar els elements visuals anomenant-la **estructura representacional**, tot i que, posteriorment, algunes recerques centrades en l'anàlisi visual de representacions científiques (Ametller i Pintó, 2002; Colin et al., 2002; Pintó i Ametller, 2002b; Stylianidou i Ogborn, 2002) s'hi ha referit amb el terme **estructura compositiva** sota la definició:

“In all the cases, the importance of compositional structures of the images – that is the meaning attached to the spatial arrangement of the different elements of the image – can be observed”.

Per tant, al llarg del nostre treball, ens referirem al terme estructura representacional o bé compositiva de forma indistinta, assumint que qualsevol representació utilitzada per ensenyar algun contingut científic pot entendre's com una composició de sintagmes visuals. Segons Kress i Van Leeuwen (1996) l'estructura representacional d'una imatge pot ser narrativa o bé conceptual, i dintre de les estructures conceptuais, es distingeixen les estructures anomenades analítiques, les classificatives i les simbòliques (veure Figura 9). En el cas de les representacions que apareixen en les simulacions educatives de física (és a dir, representacions de caràcter científic), normalment compten alhora amb una estructura narratives (en tant que es representen fenòmens dinàmics) i una estructures conceptuais (en la que es representa una relació entre idees). Dins d'aquestes segones, parlarem d'estructures classificatives quan la estructura de la imatge tingui com a funció representar taxonomies, mentre que les analítiques tenen com a objectiu representar la relació entre parts o bé la relació part-conjunt.

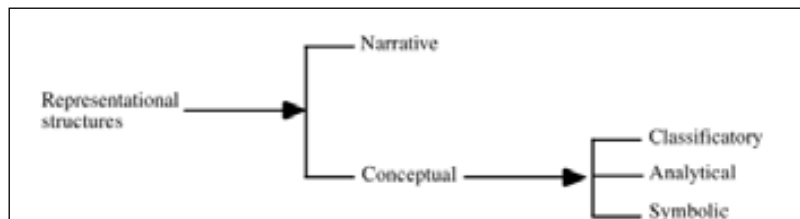


Figura 9. Categorització de les estructures representacionals de Kress i Van Leeuwen (1996).

Segons Stylianidou i Ogborn (2002), que van estudiar la lectura que feien estudiants de secundària a partir de representacions de mitjans de transport, la interpretació canònica de l'estructura compositiva constitueix un factor clau en la lectura d'una imatge complexa. Per mostrar aquesta importància, hem volgut il·lustrar amb un exemple que ja vam utilitzar a López i Pintó (2011): La representació de la Figura 10 (representació d'un espectre electromagnètic) és un exemple de com l'estructura de la imatge pot ser un factor problemàtic en el procés de lectura entès com el procés de descodificació d'aquesta estructura. En aquest cas, per al lector expert és fàcil descodificar el missatge que es troba darrere de la imatge: *“les diferents ones electromagnètiques de l'espectre ordenades en funció de la seva freqüència o longitud d'ona”*. No obstant, la representació també permet la interpretació de *“apareix una ona inicialment ampla que es fa cada vegada més estreta”*. En aquest cas, veiem com una mateixa estructura representacional admet dues interpretacions (una primera de classificativa – canònica- i una segona de narrativa – no canònica, doncs s'allunya del sentit inicial amb que ha estat dibuixada).

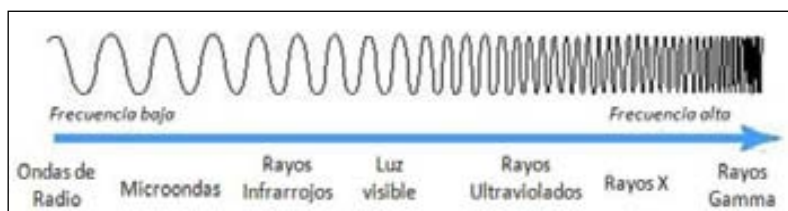


Figura 10. Representació “narrativa” de l'espectre electromagnètic, extret de López i Pintó (2011)

En canvi, la composició de la Figura 11 compta amb una estructura compositiva que és més fàcilment interpretable com una estructura classificativa en comptes de narrativa, ja que aquesta segona representació presenta cada tipus d'ona amb una longitud diferent.

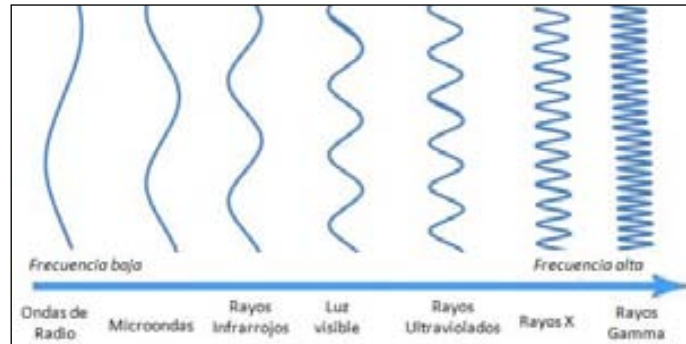


Figura 11. Representació "classificativa" de l'espectre electromagnètic, extret de López i Pintó (2011)

Les estructures analítiques, com hem dit, són aquelles que a través de la interrelació dels seus elements visuals expressen una relació de "part-conjunt" o de "element-sistema". Segons Girwidz (2002) i Stylianidou i Ogborn (2002), les representacions utilitzades en física són majoritàriament analítiques, ja que per la seva naturalesa sovint hi apareix representat un sistema compost per elements d'aquest sistema. Per tant, dels diferents tipus d'estructures compositives de la Figura 9 en aquest treball ens centrarem en el component analític de les representacions científiques. Segons Kress i Van Leeuwen (1996), existeixen diferents tipologies d'estructures analítiques (Figura 12). L'estructura compositiva d'una representació visual pot ser d'una banda espacial (quan es representen espacialment les diferents parts d'un sistema) i de l'altra temporal (quan la representació espacial té un sentit temporal, com succeeix en els gràfics d'evolució temporal). Dins de les estructures analítiques espacials, aquestes es poden interpretar des del punt de vista del tipus de procés, des del punt de vista de la precisió i des del punt de vista de l'abstracció.

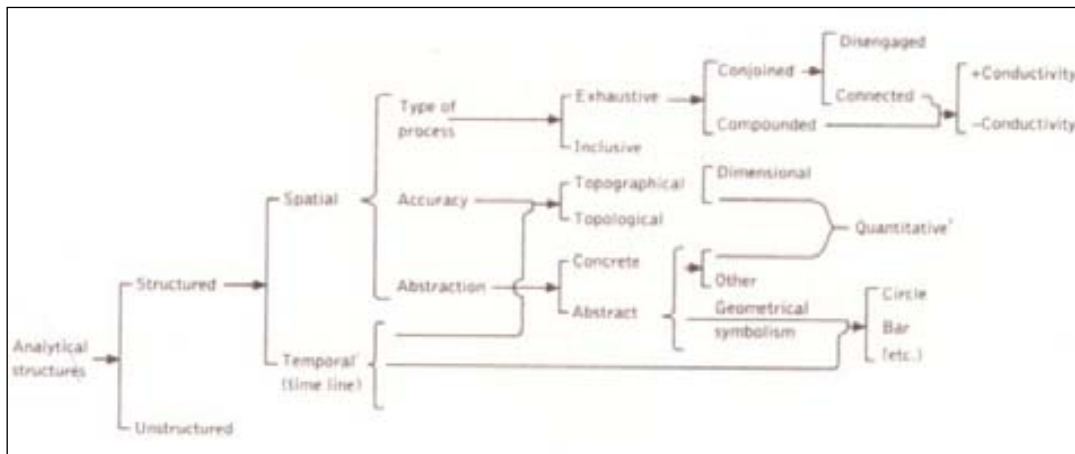


Figura 12. Tipologies d'estructures analítiques proposades per Kress i Van Leeuwen (1996).

Llegir de forma canònica una estructura compositiva analítica espacial implicarà, per tant, connectar de forma adequada els diferents elements de la representació, cosa que no sempre és fàcil. Per exemple, en la representació de la Figura 13 apareix un generador format per una bobina i un imant, i també apareixen les lletres N i S, que fan referència a la polaritat de l'imant. Ara bé, la manca d'una connexió clara entre l'imant i

les lletres no ajuda al lector a integrar aquests diferents elements visuals, i per tant, això afegeix una major complexitat en el procés d'interpretació de l'estructura analítica de les "parts" d'un generador.

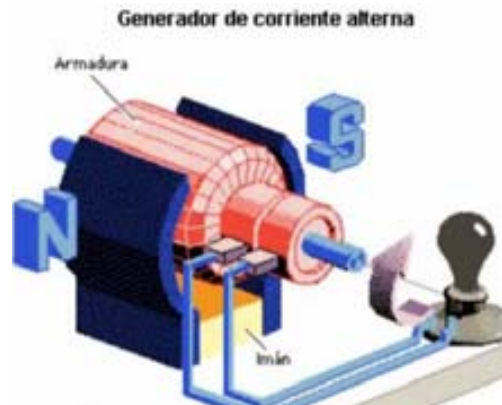


Figura 13. Representació analítica amb elements desconnectats.
Imatge obtinguda de <http://www.youtube.com/watch?v=KjzokmBzULw>

En resum, els exemples de les figures Figura 10 i Figura 13 permeten concloure que l'estructura compositiva d'una representació visual no és un afer trivial, i que la seva lectura pot portar a diferents interpretacions en funció de com es presenti la distribució, superposició i connexió dels diferents sintagmes visuals. Per tant, a l'hora d'identificar les dificultats relacionades amb la lectura d'imatges científiques, serà necessari tenir en compte com és l'estructura compositiva d'una representació i quina és la lectura que cadascú fa d'aquesta estructura.

El valor dels elements visuals en funció de la composició

Una altra propietat que porta associada cada sintagma visual inserit en una composició és el seu **valor informatiu**, que depèn, entre d'altres, de la posició que ocupa en la composició global cada element de la composició. Autors com Veel (1998), i els mateixos Kress i van Leeuwen (1996) han relacionat la distribució a l'ordre de lectura establert en les societats occidentals "d'esquerra a dreta i de dalt a baix". Així, els elements compositius de la part superior de la imatge són aquells "ideals", mentre que els de la part inferior són els "reals". Alhora, els elements compositius de l'esquerra de la imatge corresponen a la informació "vella", mentre que els de la dreta corresponen a la informació "nova" (Figura 14 i Figura 16).

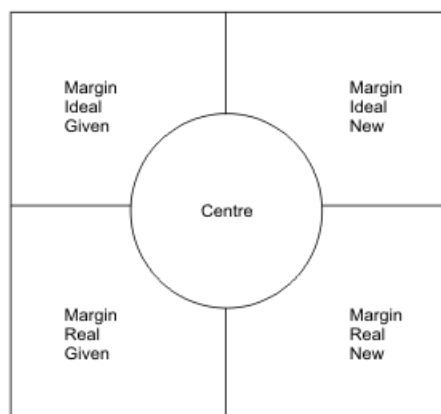


Figura 14. Diagrama del valor informatiu d'una representació visual en funció de la posició que ocupa dins d'una composició (Veel, 1998).

Si ens fixem, per exemple, en la Figura 15 apareixen les representacions de dues simulacions de física en les que s'utilitza aquest codi sociocultural implícit, en el que es parteix d'un element de l'esquerra de la representació (allò que ens ve donat) per acabar a la dreta (allò nou que representa la simulació).

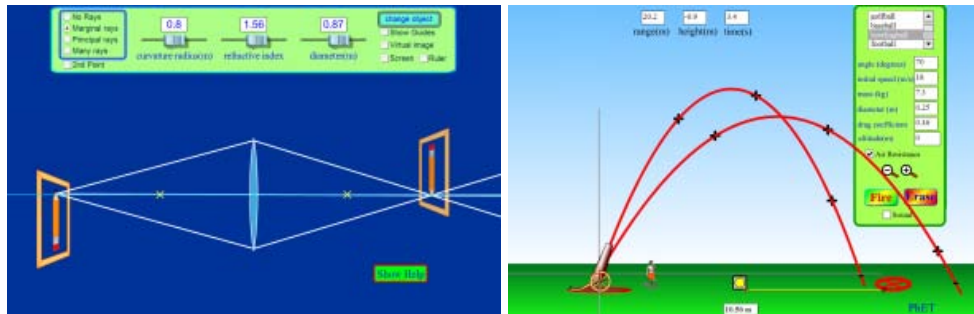


Figura 15. Exemples de simulacions on apareix el codi esquerra-dreta per representar allò que ve donat i allò nou.

Així, el valor informatiu de cada element d'una composició serà determinant en la lectura de les representacions, doncs un major valor informatiu donarà una major rellevància als elements centrals de la representació, i per tant, el lector establirà jerarquies en la importància que dóna a cada element visual. De la mateixa manera, la posició relativa de cada element determinarà l'establiment de relacions causals per part del lector basades en els raonaments espontanis dels estudiants, tal com veurem en l'apartat 2.3.4. Finalment, conjuntament amb el valor informatiu, altres característiques dels sintagmes visuals descrites per Kress i van Leeuwen (1996) que venen determinats per la seva pertinença a una composició són l'**emmarcatge** (de l'anglès "*framing*") i la **prominència** (de l'anglès "*salience*").

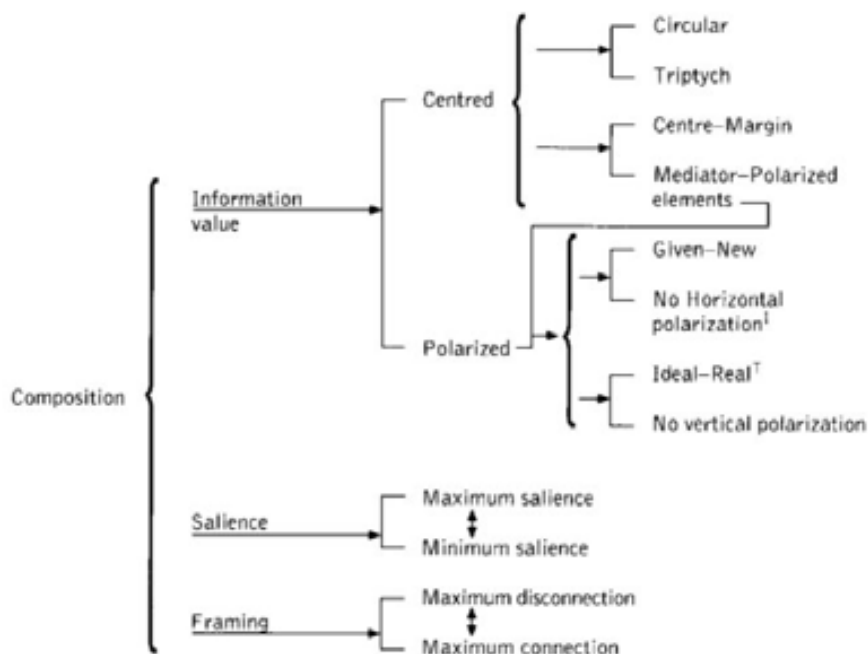


Figura 16. Classificació del valor informatiu, proposada per Kress i Van Leeuwen (1996).

2.1.3. La naturalesa comunicativa de la representació

De la mateixa manera que la semiòtica estudia com a través d'unitats de significat es construeixen textos coherents (funció textual del llenguatge) els quals serveixen per construir una visió del món (funció ideacional del llenguatge), la comunicació també porta a establir unes relacions socials entre emissor, receptor, missatge / discurs i context, al que anteriorment hem anomenat la funció interpersonal del llenguatge (Halliday, 1978; citat a Lemke, 1998). Tot i la gran complexitat que adquireix aquesta dimensió comunicativa del llenguatge, la qual escapa completament de l'abast d'aquest treball, des del punt de vista de l'anàlisi de la lectura de les simulacions educatives de física, hi ha dos aspectes importants a destacar. D'una banda, ens referirem a la relació **entre emissor, receptor i context** que s'estableix a través de la representació visual; i de l'altra, de la relació **entre l'emissor i el discurs**, el que des de la lingüística s'anomena modalitat.

La relació entre emissor, receptor i context que s'estableix a través de la representació

Donada la pròpia definició de llenguatge proposada anteriorment, i assumint que les representacions visuals constitueixen un llenguatge, cal assumir doncs que a través de qualsevol imatge també s'estableix una relació entre emissor (autor, editor o dissenyador de representacions visuals) i receptor (lector, estudiant, usuari, etc.), que determina el propòsit del document i el tipus de relació social que es genera entre ambdós en un context comunicatiu determinat. Així ho expressen Kress i van Leeuwen (1996), que es refereixen al "*interactive meaning*" i el descriuen des del punt de vista del contacte entre emissor i receptor, la distància social i l'actitud (Figura 17).

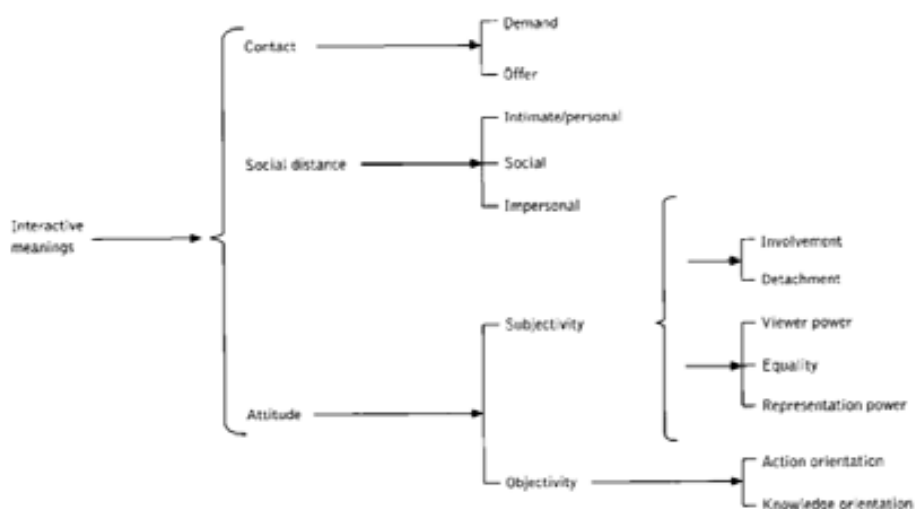


Figura 17. Classificació de la relació entre emissor i receptor proposada per Kress i Van Leeuwen (1996).

En el cas de les simulacions educatives que ens incumbeixen, aquesta "relació social" a la que ens referim i el "context comunicatiu" en el que es troba inserida està molt delimitat, ja que existeixen un munt de pressupòsits implícits en la comunicació. Per exemple, en el context en que un estudiant ha d'utilitzar una simulació educativa per fer alguna tasca escolar, es dona per suposat que el contingut científic representat és "veraç", i també que l'objectiu amb que ha estat dissenyada la representació és ajudar al lector a comprendre algun concepte o alguna relació determinada. Per exemple, les dues representacions que apareixen en la Figura 18 porten associades un propòsit social i una relació social diferent.

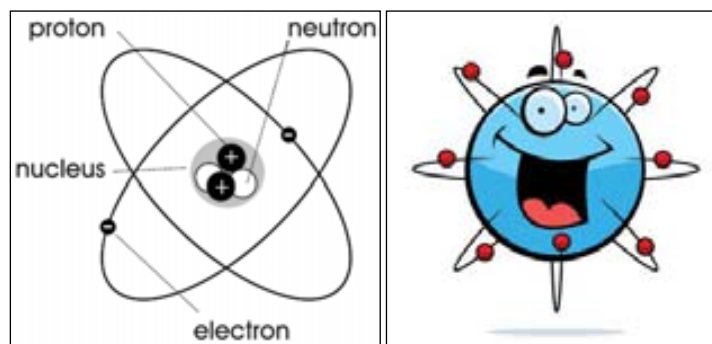


Figura 18. Representació científica i representació no científica d'un àtom.

D'una banda, en la representació de l'esquerra, existeix un conjunt d'elements visuals que determinen el propòsit social de la representació: l'ús de color blanc i negre determina sobrietat i neutralitat emocional, alhora que l'ús d'etiquetes verbals i símbols numèrics emana rigor i veracitat. D'altra banda, en la representació de la dreta, s'utilitzen colors, ombres i canvis en el gruix del traç, que determina dinamisme, i s'utilitzen faccions humanes (personificació) que signifiquen alegria i emoció. Per tant, dues imatges amb una estructura compositiva topològicament semblant (conformat per un nucli i uns electrons que orbiten al seu voltant) tenen un propòsit comunicatiu totalment diferent. La representació de l'esquerra té un propòsit que podríem catalogar com informatiu, explicatiu, científic; mentre que en la de la dreta el propòsit és emotiu, decoratiu, artístic.

Aquesta distinció entre una representació amb finalitat "científica" i una altra de "decorativa", es fa de forma espontània en molts contextos. De forma quotidiana es classifiquen les representacions visuals en funció del seu propòsit comunicatiu, parlant d'imatges realistes, decoratives, artístiques, publicitàries, educatives, científiques, infantils, emotives, explicatives, etc. Ara bé, existeix alguna classificació formal de les representacions visuals en funció de la seva naturalesa comunicativa, és a dir, en funció del propòsit social o de la relació emissor – receptor? Diferents autors han proposat tota mena de classificacions per analitzar la naturalesa comunicativa de les imatges, especialment de les imatges educatives per a l'ensenyament de les ciències. Levin, Anglin, i Carney (1987) parlen de cinc funcions comunicatives diferents que les representacions visuals exerceixen quan acompanyen al text escrit: la funció decorativa, la representativa, la organitzativa, la interpretativa i la transformacional, mentre que Perales i Jiménez (2002) parlen de les funcions d'evocació, definició, aplicació, descripció, interpretació i problematització. Kress i Van Leeuwen (1996) també proposen diferents classificacions, i distingeixen entre la voluntat comunicativa de les representacions realistes científiques i les representacions realistes naturalistes.

La relació entre emissor i discurs que s'estableix a través de la representació

Una segona idea estretament relacionada amb la relació emissor-receptor és la idea de la relació entre emissor i discurs que s'estableix en una representació visual. De fet, tant en els textos escrits com en les representacions visuals com en qualsevol altre sistema comunicatiu existeix una relació que regeix la manera com l'emissor (en el nostre cas l'autor, editor o dissenyador de representacions visuals) mostra la seva relació amb el discurs que genera (en el nostre cas, la simulació educativa com a producció discursiva). Des de la lingüística (Tusón, 2001) es defineix **la modalitat** com una propietat dels enunciats que expressa la relació del parlant amb allò que diu. La

modalitat és una propietat de totes les llengües⁵ i de tots els llenguatges, i s'expressa a través de formes i recursos lingüístic diversos.

Ara bé, abans d'endinsar-nos en la discussió sobre la modalitat cal fer un aclariment previ. El terme “modalitat” i el terme “mode comunicatiu” apareix en la literatura de forma polisèmica. Una primera accepció del terme “mode” és utilitzat per referir-se a les **diferents formes d'expressió** que intervenen en la interacció a l'aula: la parla, el text escrit, les imatges, els gestos, l'entonació de la veu, etc., i és especialment utilitzada pels autors que han abordat la interacció “multimodal” a l'aula de ciències (Lemke, 1998; Márquez et al., 2006). Una segona accepció del terme “mode” s'utilitza en la literatura com a sinònim de **canal o de medi perceptiu**: la vista i la oïda. Això succeeix especialment en el camp d'estudi de la comprensió de materials multimèdia (que discutirem en el següent apartat d'aquest 2.2 d'aquest capítol), on el terme “mode” serveix per referir-se als materials audiovisuals (àudio + vista) com materials “dual-mode”. En canvi, en el nostre treball, ens referirem a una tercera accepció del terme “mode” molt més particular i relacionada amb els codis gramaticals de la lectura de representacions visuals (que segons les accepcions anteriors serien mono-modals), basant-nos en la proposta de Kress i Van Leeuwen (1996):

The term ‘modality’ comes from linguistics and refers to the truth value or credibility of (linguistically realized) statements about the world. The grammar of modality focuses on such modality markers as the auxiliary verbs which accord specific degrees of modality to statements, verbs like may, will and must (cf. the difference between He may come and He will come) and their related adjectives (e.g. possible, probable, certain) and adverbs (see Halliday, 1985: 85–9). (...) The concept of modality is equally essential in accounts of visual communication. Visuals can represent people, places and things as though they are real, as though they actually exist in this way, or as though they do not – as though they are imaginings, fantasies, caricatures, etc. And, here too, modality judgments are social, dependent on what is considered real (or true, or sacred) in the social group for which the representation is primarily intended.”

Més endavant aclareixen aquesta concepció de “*what is considered real*” associada a les modalitats comunicatives:

“Does this mean that diagrams are less ‘real’ than photographs, and hence lower in modality, and that photography is more true than diagrammatic representation? Not necessarily. To the viewers for whom de Saussure’s diagrams are intended, they may in fact be more real than the photograph, in the sense that they reveal a truth which represents more adequately what the speech process is really like.”

Per establir aquesta definició de “mode” i de “modalitat”, Kress i Van Leeuwen (1996) van considerar la proposta que prèviament Habermas (1984) havia fet de les **orientacions de codi** (de l'anglès, “*coding orientations*”) com el conjunt de principis abstractes que informen de la manera en la que el text esta codificat per grups socials. Basant-se en aquesta idea, Kress i Van Leeuwen (1996) van definir **els marcadors de modalitat** com els elements mínims no significatius següents: la saturació de color, la diferenciació de color, la modulació de color, la contextualització, el grau d'abstracció i detall, la profunditat, la il·luminació i la brillantor. La Figura 19 representa com un d'aquests marcadors de modalitat (en aquest cas, **la saturació de color**) és utilitzat en quatre contextos comunicatius (científic-tecnològic, abstracte, naturalista i sensorial):

⁵ En anglès, per exemple, estem acostumats a parlar dels verbs modals “might, should, may”, etc.

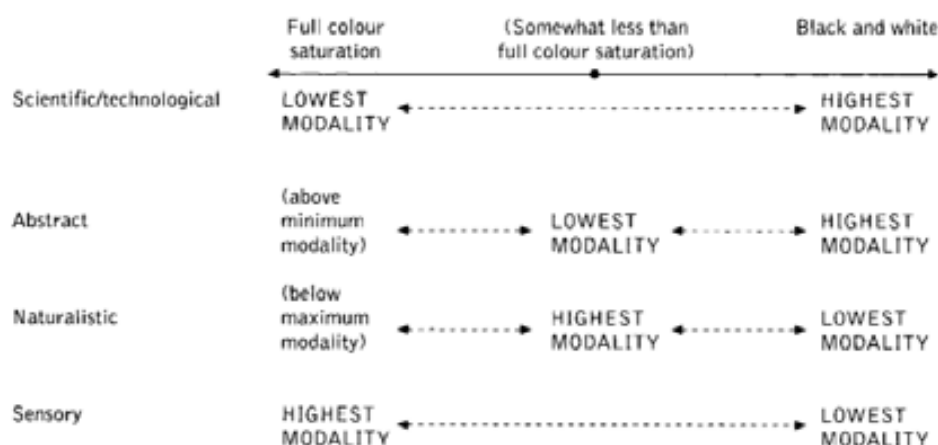


Figura 19. Diagrama que representa el marcador "saturació de color" en quatre contextos comunicatius diferents. Figura extreta de Kress i Van Leeuwen (1996).

De fet, el color com a marcador de modalitat ja ha aparegut anteriorment al comparar les dues imatges de la Figura 18. Basant-nos en la definició anterior de modalitat podem considerar que les dues imatges que apareixen (científica i decorativa) corresponen a dues modalitats diferents ja que utilitzen colors diferents. Ara bé, també podríem argumentar que les dues representacions contenen molts altres elements visuals que difereixen la una de l'altra. En canvi, en la Figura 20 presentem dues representacions idèntiques d'àtoms enllaçats en una molècula, amb l'excepció del color utilitzat⁶, el qual modifica la naturalesa comunicativa d'una i altra representació. La representació de l'esquerra compta amb contrastos de colors i tonalitats de blaus i grisos, mentre que la representació de la dreta és en blanc i negre. Segons aquests marcadors de modalitat, la representació de l'esquerra és una representació naturalista (en el sentit que reproduïx l'aspecte que tindrien els àtoms i els enllaços si fossin objectes reals), mentre que la representació de la dreta prova de ser abstracta i científica. Es tracta, per tant, de dues modalitats diferents.

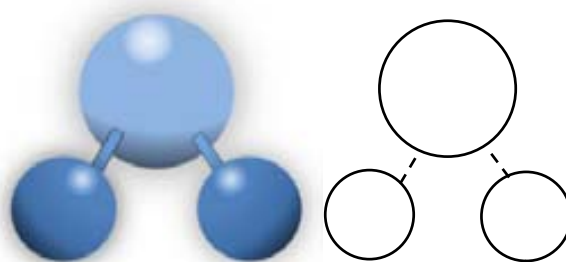


Figura 20. Dues representacions isomòrfiques d'una molècula amb diferents saturacions de color (naturalista i abstracta).

Al igual que el color, un altre marcador de la modalitat d'una representació és el seu grau d'abstracció. Moles (1991) defineix l'abstracció / la iconicitat d'una representació com la separació / la proximitat entre una representació visual i el seu objecte referent. Així, la iconicitat es defineix com el subconjunt de criteris comuns entre referent i representació (Figura 21).

⁶ En aquest cas parlem de l'ús del color des del punt de vista comunicatiu, no des del debat didàctic relacionat amb l'ús del color per representar àtoms i molècules. Discutirem aquesta segona qüestió en l'apartat 2.3.1.



Figura 21. Definició diagramàtica de la iconicitat, obtingut de Moles (1991).

La proposta de Moles (1991) ha estat traduïda en forma de gradació de 12 graus d'abstracció i iconicitat, on el màxim grau d'iconicitat correspon al mínim grau d'abstracció, i viceversa, tal com presentem en la Taula 1. Basant-nos en aquesta taula, podem veure com, per exemple, la representació de l'esquerra de la Figura 20 es trobaria en un grau d'iconicitat 5-6, mentre que la representació de la dreta es trobaria en un grau 3-4.

Iconicitat	Abstracció	Representació	Funció pragmàtica
11	1	Imatge natural	Reconeixement
10	2	Model tridimensional a escala	Descripció
9	3	Imatges de registre estereoscòpic	
8	4	Fotografia en color	
7	5	Fotografia en blanc i negre	
6	6	Representació realista	
5	7	Representació figurativa no realista	Artística
4	8	Pictograma	Informació
3	9	Esquema motivat	
2	10	Esquema arbitrari	
1	11	Representació no figurativa	Recerca

Taula 1. Taula amb els graus d'iconicitat i de realisme, obtinguda a Villafañe i Mínguez (1996)

Els elements metatextuals d'una composició visual

En darrer lloc, una darrera qüestió a tenir en compte per entendre la naturalesa comunicativa de les imatges (i en el nostre cas, en les imatges que apareixen en simulacions educatives de física) és el paper "metatextual" que en alguns casos poden exercir alguns dels sintagmes visuals d'una composició. Ens referim a allò "meta" en el sentit que proposen Lemarié, Lorch, Eyrolle, i Virbel (2008) en la distinció entre text i meta-text:

"The metatext is a coherent and cohesive set of metasentences with its own grammar (Pascual, 1991). In contrast to the text sentences whose referents are real-world elements, the metatextual part of the text refers to elements of the text itself. In this sense, the metatext in a text may be considered as a second-order representation. As an example, the sentence "This article is divided into four parts" is a metasentence because it conveys information about the text rather than about objects or events in the world. This distinction between sentences and metasentences parallels Harris's (1968, 1999) distinction between language and metalanguage. Language allows a speaker to refer to entities and events in the world, whereas metalanguage allows a speaker to refer to the language itself."

Aquesta perspectiva metatextual prové de la lingüística (i anteriorment, de la lingüística formal), però com venim fent al llarg del capítol, pot també aplicar-se de forma anàloga a la lectura de representacions visuals. De fet, en el cas específic de les simulacions educatives com les vistes fins ara aquesta idea és especialment útil per entendre el paper que juga aquells elements visuals que informen sobre la pròpia representació.

Si recuperem l'exemple amb el que hem començat a discutir sobre gramàtica visual (Figura 7) podem distingir entre dos tipus d'elements visuals (Figura 22). D'una banda, ens referirem als elements textuals com aquells que donen una informació científica al lector a partir de les seves característiques visuals. De l'altra banda, ens referirem als elements metatextuals com aquells que donen informació sobre la representació, en aquest cas sobre el seu estat de reproducció (aturat o en marxa) o sobre la possibilitat de modificar el contingut del recipient.

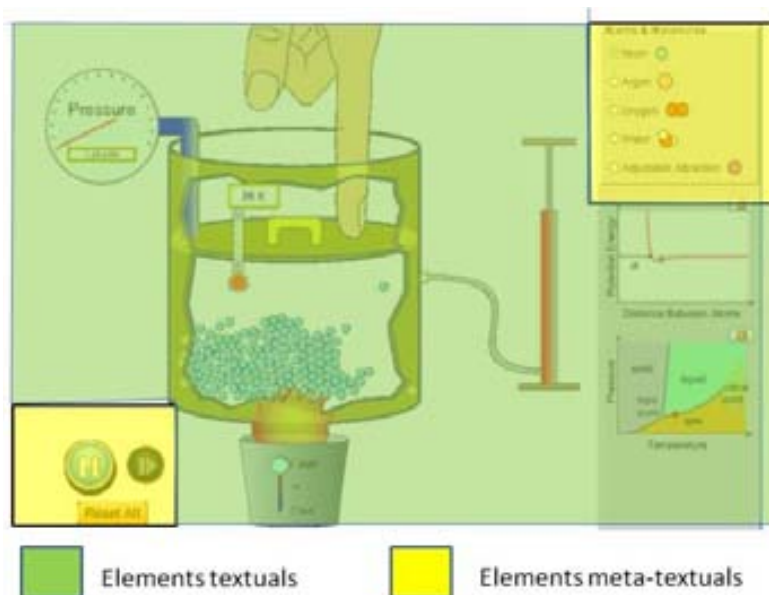


Figura 22. Elements textuals i elements meta-textuals de la simulació de la Figura 7.

En resum, els diferents aspectes de la naturalesa comunicativa de la representació (la relació social emissor – receptor, la relació emissor - text o la relació text - metatext) juguen un paper molt important en la lectura d'imatges, ja que aquesta serà canònica en la mesura en que el lector interpreti adequadament els diferents elements que determinen aquesta naturalesa comunicativa.

2.1.4. Crítica a l'anàlisi semiòtic de les imatges

Un cop presentats els diferents plantejaments que configuren la perspectiva semiòtica d'aquest treball, i que ens permetran en els capítols posteriors analitzar les imatges de les simulacions de física com a elements comunicatius, hem volgut també incloure una breu consideració crítica sobre el propi camp de la semiòtica. En aquest sentit, volem assenyalar que utilitzant el marc semiòtic per analitzar les imatges es corre el perill que la discussió de les regles gramaticals acabin eclipsant a les pròpies imatges i al seu contingut, i que per tant, hom acabi discutint més sobre semiòtica que sobre les imatges en si mateixes. Així succeeix, per exemple, a Yun-Ping (2013), que en el marc de la didàctica de les ciències es proposa analitzar les imatges de Biologia de llibres de text de Taiwan i Austràlia, però s'acaba centrant tant en les funcions ideacional, textual i interpersonal de les representacions que la discussió sobre el

sentit i el contingut didàctic de les representacions queda totalment de banda. A aquesta crítica es suma la consideració que fan Mengual i Català (2005) segons les quals les imatges són més fluides que una simple estructura determinada o la suma d'un conjunt de codis, i que no sempre podem determinar com "funcionen" com a eines comunicatives. Segons aquests autors cada imatge és única i irrepetible, i per tant les imatges són el punt de partida per la interpretació, mai el punt d'arribada. Per tant, la generalització de l'anàlisi de "com són les imatges" té moltes limitacions, i per tant, en l'anàlisi visual de les imatges caldrà sempre anar (com a mínim parcialment) cas per cas.

2.2. La psicologia de la percepció: La lectura d'imatges com a procés cognitiu

La perspectiva semiòtica que hem adoptat en el primer apartat del marc teòric (apartat 2.1) s'ha centrat en les imatges i les seves característiques visuals com a procés comunicatiu descrit per una gramàtica visual. Tanmateix, molts autors interessats en la lectura i la comprensió de representacions visuals no s'han centrat en analitzar el fet comunicatiu, sinó en els processos mentals que intervenen per tal que una informació present en un sistema de representació externa determinada sigui processada pel lector i tingui com a resultat una comprensió. Aquesta preocupació i interès per la lectura d'imatges ha portat durant les darreres dècades al desenvolupament d'un camp dins de la psicologia que podem anomenar com psicologia de la percepció, tot i que normalment els autors d'aquest camp l'anomenen el camp del "*graphics comprehension*"⁷. És un camp teòric i empíric molt lligat a la idea de "*Instructional Design Principles*", és a dir, a l'obtenció de criteris i principis de disseny de materials gràfics i visuals que ajudin al lector en el procés de comprensió de les representacions.

Conèixer els models que expliquen la lectura com a procés cognitiu ens ha de permetre posteriorment interpretar la lectura que els estudiants facin de la simulació A i B, i també ens permetrà identificar les dificultats de lectura que puguin aparèixer. Per aquest motiu, en aquest segon apartat del marc teòric exposarem les diferents teories i models sobre la codificació visual de la informació procedent de les representacions externes, incloent-hi les teories de codificació dual, la CTML, la CLT i la ICPT, que analitzen la relació entre el processament d'informació pels diferents canals sensorials i la seva vinculació amb la memòria humana. A més, també discutirem els principals principis i criteris genèrics en el disseny de materials multimèdia que s'han establert a partir d'aquestes teories. Tot seguit discutirem les tasques i les operacions mentals que es produeixen en la lectura d'imatges, i abordarem la lectura des del punt de vista perceptiu, discutint la reconfiguració de la percepció que es produeix en tot procés de lectura, centrant-nos en aspectes com l'atenció del lector o la precedència de les formes fortes d'una representació. Finalment, ens centrarem en dos camps d'investigació que poden semblar molt particulars i específics dins del camp de *Graphics Comprehension*, però que tindran una gran rellevància en el nostre treball: la lectura de representacions externes múltiples i la lectura d'imatges dinàmiques.

2.2.1. Els models cognitius de comprensió de text i gràfics

La voluntat de dissenyar i produir bons materials educatius que facilitin al màxim la comprensió de conceptes als estudiants ha estat una constant en el camp del *disseny instruccional*. Pensem, per exemple, en una representació comunament utilitzada per explicar el funcionalment d'un motor de combustible com la de la Figura 23.

⁷ Aquest és la denominació que dóna nom, per exemple al "*Text and Graphics Conference*" del EARLI-SIG2, que agrupa els investigadors en aquest camp a nivell internacional.

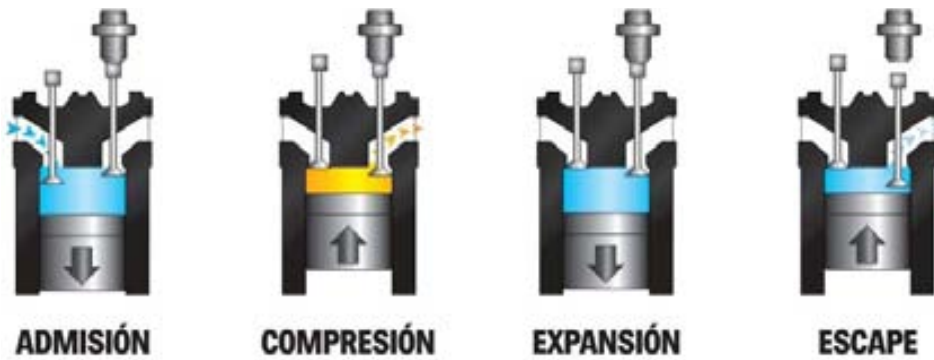


Figura 23. Exemple de la representació de les quatre fases del funcionament d'un motor benzina.

La combinació de diferents processos simultanis en el funcionament del motor, com la compressió i expansió del pistó, l'entrada i sortida de combustible, etc., impliquen una gran complexitat i, per tant, una gran dificultat per comprendre tot el que hi apareix representat. Donada aquesta dificultat, és natural que ens preguntem quins canvis i millores podríem introduir en la representació per tal de reduir la seva dificultat intrínseca. Podríem preguntar-nos, per exemple, si una animació que reproduís pas a pas el procés ajudaria a entendre millor l'expansió i la compressió del pistó, o si en canvi, representar el procés de forma animada encara dificultaria més la comprensió del lector.

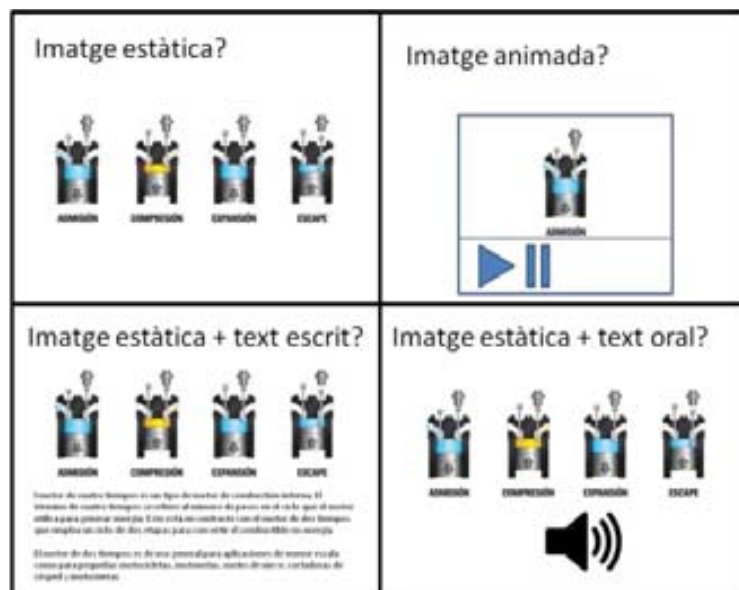


Figura 24. Quatre formats diferents per presentar el cicle d'expansió-compressió d'un motor: imatge estàtica, imatge animada, imatge estàtica i text escrit i imatge estàtica i text oral.

Alhora, també podríem preguntar-nos si un text escrit ajudaria a entendre millor el que hi apareix representat gràficament, o bé si aquest text escrit encara dificultaria més la comprensió, ja que el lector hauria de destinar una part de la seva atenció a llegir el text. De la mateixa manera, podríem preguntar-nos si aquesta mateixa explicació verbal podria fer-se de forma oral, de manera el lector seguís una explicació pel canal auditiu sense deixar d'observar la representació visual. Fins i tot podríem preguntar-nos si la millor manera de presentar aquest contingut seria combinant text escrit, text oral, imatges estàtiques i imatges dinàmiques, utilitzant algunes presentacions simultànies i altres de successives, preguntant-nos quin és l'ordre òptim de

presentació que ajudi al lector a comprendre els processos representats en tota la seva complexitat.

Qüestions d'aquesta índole són les que en les darreres dècades han portat a una infinitat de recerques provinents del camp de la psicologia respecte el disseny de representacions visuals i de materials educatius multimèdia en general (veure per exemple Ainsworth i Van Labeke, 2004; Ainsworth, 2008; Austin, 2009; Bourcheix i Lowe, 2010; Carolus, 2009; Cook, 2006; Larkin i Simon, 1987; Lowe, 2003; Mayer i Moreno, 2003; Meyer, Rasch, i Schnotz, 2010; Rebetez, Bétrancourt, Sangin, Dillenbourg, i Molinari, 2006; Schnotz i Lowe, 2003; Stelzer, Gladding, Mestre, i Brookes, 2009; Sun i Cheng, 2007; Swaak, van Joolingen, i de Jong, 1998; Tabbers, Martens, i Merriënboer, 2004; Winn, 1994; Zheng, Yang, Garcia, i McCadden, 2008). En la immensa majoria de casos, els experiments conduïts per determinar el disseny òptim de la presentació de continguts han estat empírics i quantitius, elaborats a base de comparar els resultats de la realització d'alguna tasca⁸ amb grups experimental i control, i amb la realització de pre-tests i post-tests. Les aportacions experimentals s'han anat combinant, revisant, contrastant i fins i tot contradient mútuament, generant així un conglomerat de resultats experimentals difícilment generalitzables. Per donar-hi resposta, en les darreres dècades també s'han proposat diferents models teòrics que aborden la lectura i comprensió de gràfics (i en molts casos, de gràfics combinats amb text), però la naturalesa extremadament empírica i particular dels resultats del camp han fet molt difícil la construcció d'aquests models, cosa que molts autors del camp han destacat com una de les seves majors mancances (Schwartz i Danielson, 2012).

Aquesta reflexió la podem trobar en Jiménez (1999), que va destacar en la seva tesi doctoral la mancança que el camp de la comprensió de gràfics tenia respecte els models teòrics explicatius d'aleshores:

“Junto a estos resultados, Levie y Lenzt (1982) reconocen la carencia de un modelo teórico que permita comprender por qué las ilustraciones facilitan el aprendizaje. La carencia de ese modelo hace que las investigaciones realizadas sean muy empíricas y no aporten criterios respecto a cómo mejorar las ilustraciones (...) En este sentido Duchastel (1989), reconoce la incapacidad de establecer las características de los elementos visuales susceptibles de favorecer la comprensión de los alumnos, e insiste en que los estudios realizados son de orden práctico pero pobres en el plano teórico. Señala que la disponibilidad tecnológica, más que otro criterio, suele determinar la realización de la ilustración y redundante en que la diversidad de interpretaciones realizadas por las personas respecto a las imágenes dificulta el diseño de las investigaciones.”

Revisant l'estat actual de l'art en aquest camp, hi ha hagut molts avenços respecte la discussió que proposaven aleshores. Al llarg dels subapartats 2.2.1 i 2.2.2 provarem de discutir quins són aquests models, quins principis se'n deriven i com aquests ens podran ajudar a comprendre les dificultats en la lectura d'imatges en simulacions educatives de física.

⁸ Tot i que en el camp de la didàctica el terme “tasca” no es gaire utilitzat, en el camp de la psicologia de la percepció sí que s'utilitza molt. En alguns casos s'utilitza el terme “*learning task*” per referir-se al que en didàctica anomenem una activitat d'ensenyament i aprenentatge. En altres casos s'utilitza el terme “*cognitive task*” per referir-se a algun tipus d'operació cognitiva. Aquesta importància del terme la trobem, per exemple, en la idea del DeFT (*Design + Function + Task*) utilitzat per Ainsworth (2006).

La codificació dual

Un dels primers models proposats en el camp de lectura és el de Paivio (1986), que proposà la idea de codificació dual, és a dir, la diferent codificació que el lector utilitza per processar informació visual i verbal (Figura 25). Segons aquest model, la informació continguda en una imatge es processa de forma diferent a la continguda en un text, ja que mentre la informació textual es processa de forma seqüencial, les imatges permeten una lectura superficial. A més, l'organització conceptual que es deriva de la lectura de textos o imatges també és diferent: l'una es fa a través d'un sistema verbal constituïts per unitats d'informació anomenades "*logogens*" i l'altra es fa a través d'un sistema no-verbal amb unes informacions anomenades "*imatges*", el que normalment s'anomenen imatges mentals. Aquestes unitats d'informació estan relacionades a través de les connexions referencials.

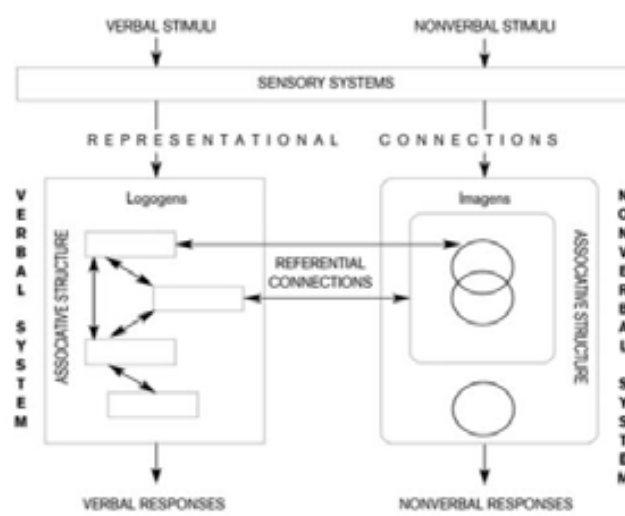


Figura 25. Model de codificació, extret de Paivio (1986).

Aquest primer model ens permet distingir, en primera instància, entre dues idees que fins ara havíem utilitzat de forma indistinta en el primer apartat del capítol: les imatges reals externes i les "imatges", és a dir, les imatges mentals o internes. Aquesta distinció serà cabdal pels autors provinents de la psicologia, que en molts casos utilitzaran el terme "representació externa" per parlar de les representacions visuals.

La Teoria Cognitiva de l'Aprenentatge Multimèdia (CTML)

Una versió més actualitzada del model de Paivio (1986) és la que proposen Mayer i Moreno (2002) (Figura 26), que ha estat utilitzada en nombrosos estudis sobre l'aprenentatge⁹ mitjançant animació multimèdia, és a dir, quan a un lector se li presenten simultàniament textos escrits i gràfics (siguin imatges estàtiques, fotografies, vídeos o animacions). A partir d'aquest model, s'introdueixen dues idees clau per explicar de forma més acurada com es produeix el processament d'informació multimèdia. En primer lloc, Mayer i Moreno (2002) afirmen que tot i que existeixen dos canals (visual i auditiu), la capacitat que té un lector de processar informació a través de cada canal és limitada, i que per tant, cal optimitzar la manera de combinar els diferents canals. En segon lloc, també proposen que paral·lelament a la naturalesa de

⁹ La definició que utilitzen molts estudis psicològics de "aprenentatge" és molt genèrica, ja que molt sovint es basa en una visió naïf de l'aprenentatge per memorització. Per tant, no és una definició que puguem compartir des de la Didàctica de les ciències. Discutirem aquesta qüestió quan parlem de la crítica a l'anàlisi cognitiu de la lectura d'imatges (apartat 2.2.5).

la informació, cal distingir entre tres tipus de memòria diferent: la memòria sensorial, la memòria de treball i la memòria a llarg termini. El processament (i per tant la combinació de la informació de paraules i imatges mentals) es produeix a través de la memòria de treball (d'ara en endavant, en algunes ocasions ens referirem com la WM). A diferència del model de Paivio, Mayer i Moreno incorporen la idea que el processament de la informació està fortament condicionada pel coneixement previ del lector, el qual es troba situat en la memòria a llarg termini.

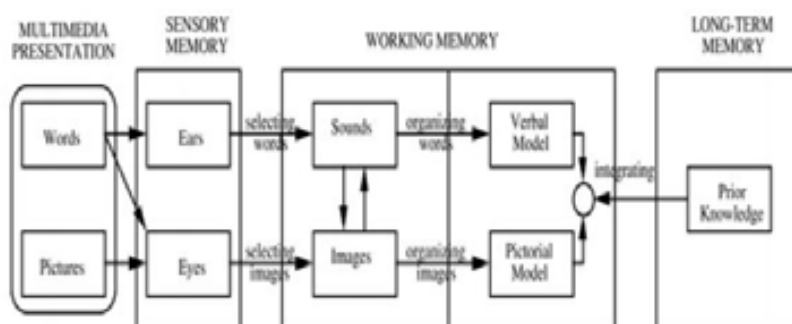


Figura 26. Model de la teoria Cognitiva d'Aprenentatge Multimèdia, extret de Mayer (1999).

Aquest model ha estat anomenat en la darrera dècada com la Teoria Cognitiva de l'Aprenentatge Multimèdia, i s'ha normalitzat amb l'acrònim de CTML. A partir d'aquesta teoria, moltes investigacions dutes a terme en aquest camp han desembocat en la formulació d'una sèrie de principis per afavorir l'aprenentatge multimèdia, els quals discutirem unes pàgines més endavant.

La Teoria de la Càrrega Cognitiva (CLT)

En paral·lel a la Teoria Cognitiva de l'Aprenentatge Multimèdia, una altra teoria que ha tingut molts adeptes dins d'aquest mateix camp és la Teoria de la Càrrega Cognitiva (CLT), proposada per Sweller, Van Merriënboer, i Paas (1998). Totes dues teories (CTML i CLT) comparteixen la idea de memòria de treball, i també que aquesta memòria de treball té una capacitat limitada en qualsevol lector. Ara bé, per relacionar la capacitat de recursos cognitius disponibles en la WM i la necessitat de recursos cognitius associats a una tasca de lectura, Sweller et al. (1998) es centren en la idea de la **càrrega cognitiva**. Segons aquests autors, i posteriorment segons Paas, Renkel, i Sweller (2004) i també segons les aportacions de diferents monogràfics sobre el tema¹⁰, la càrrega cognitiva és el conjunt de recursos cognitius necessaris per dur a terme una tasca de lectura i comprensió, de manera que si la demanda de càrrega cognitiva associada a una tasca determinada és inferior a la WM, el lector podrà efectuar adequadament la tasca de lectura. En canvi, si la demanda de càrrega cognitiva associada a la tasca de lectura és superior a la WM, el lector no podrà efectuar adequadament aquesta tasca, ja que es produirà una **sobrecàrrega cognitiva**.

¹⁰ Diferents revistes especialitzades han realitzat monogràfics sobre el tema. *Educational Psychologist* va dedicar l'any 2003 el volum 38(1). Més recentment, la revista *Computers in Human Behavior* va dedicar l'any 2009 el volum 25 (2) a discutir també sobre aquesta qüestió.

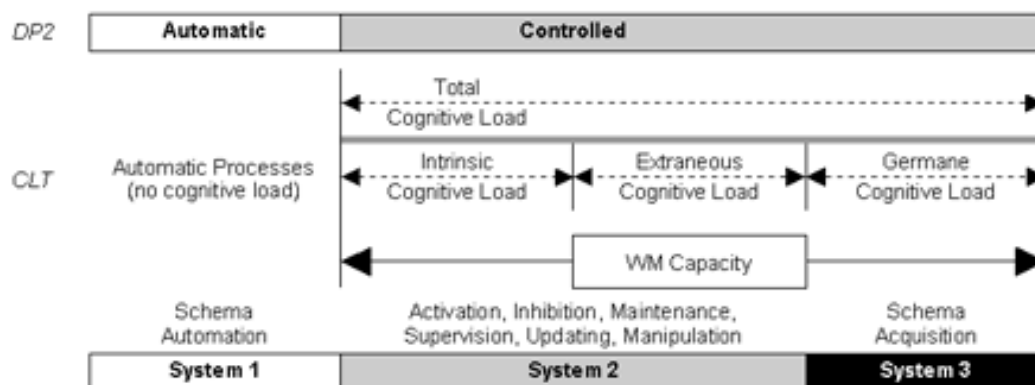


Figura 27. Model de la Teoria de Càrrega Cognitiva, extret de Patsula (2004).

Cada tasca de lectura demanda d'una càrrega cognitiva pròpia. Però no tota la càrrega cognitiva és igual. Una part dels recursos cognitius necessaris per aprendre depenen de la pròpia complexitat de la tasca, i en aquest cas aquesta part de la càrrega s'anomenarà càrrega intrínseca. A banda, l'esforç addicional determinat per la presentació de la informació és el que s'anomena la càrrega extrínseca. Finalment, els recursos cognitius destinats a construir i automatitzar esquemes¹¹ en la memòria de llarg termini s'anomena la càrrega cognitiva germana. D'aquesta manera la càrrega cognitiva total és la suma dels recursos cognitius destinats a la càrrega cognitiva intrínseca, els destinats a la extrínseca i els destinats a la germana (Figura 27). A partir d'aquesta premissa, el que conclou la CLT és que en qualsevol *disseny instruccional*, cal optimitzar els recursos cognitius disponibles en la memòria de treball per tal, d'una banda, evitar la sobrecàrrega cognitiva, i de l'altra, minimitzar la càrrega extrínseca per deixar recursos cognitius lliures per a la càrrega germana (Figura 28).

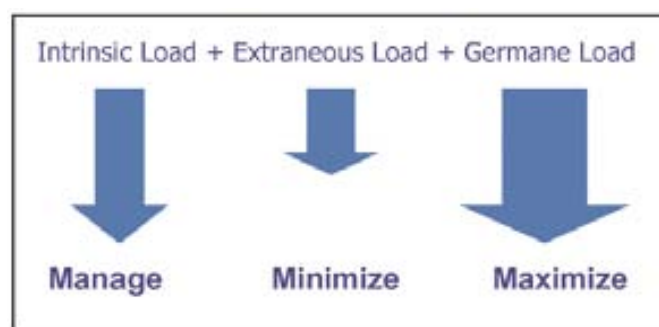


Figura 28. Relació entre la càrrega cognitiva intrínseca, extrínseca i germana, extret de Nguyen i Clark (2005).

En conclusió, la idea que es deriva de la CLT, d'alguna manera, és que cal presentar la informació (en el nostre cas, la informació visual) de la manera més senzilla i entenedora possible, de manera que la seva presentació no sigui un element que dificulti encara més la comprensió, i que ajudi de forma òptima a l'aprenentatge del lector. Aquesta idea també ha estat posteriorment batejada per Schnotz (2005) com **economia cognitiva**. Com a aplicació d'aquesta idea podem pensar, per exemple, en la discussió que presenta Girwidz (2007) sobre com presentar els circuits elèctrics per tal que la pròpia presentació ajudi a reduir la càrrega cognitiva extrínseca i permeti maximitzar la càrrega cognitiva germana.

¹¹ La Teoria dels Esquemes (de l'anglès, "*Schema / Schemata Theory*") és una branca de la psicologia basada en la idea de la memòria reconstructiva, segons la qual la memòria humana s'organitza en base a esquemes o xarxes d'informació.

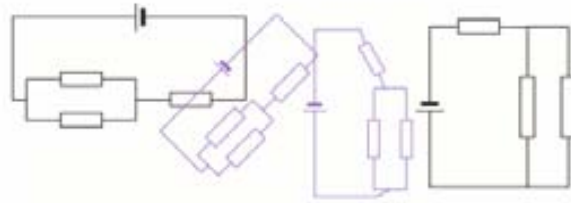


Figura 29. Transformació de la representació de circuits elèctrics per reduir la càrrega cognitiva extrínseca, extreta de Girwitz (2007).

El Model Integrat de comprensió de text i imatge (ITPC)

Finalment, un dels darrers models utilitzats des de la psicologia per analitzar la lectura i comprensió de textos és el Model Integrat de comprensió de text i imatges (ITPC), proposat per Schnotz (2002, 2004). En aquest model es suggereixen nous elements que intervenen en qualsevol procés de comprensió gràfica, ja que no es centra tant en la idea de si els sistemes de representació externa de la informació són paraules o imatges, sinó en si són de modalitat depictives (icòniques¹², pictòriques) o descriptives (simbòliques).

Una altra gran diferència entre el model de (Wolfgang Schnotz, 2002) i els models anteriorment exposats és que, en el cas del ITPC, durant la lectura d'un sistema de representació externa (sigui gràfic, textual o combinació dels dos) només es construeix un únic model mental. Per tant, no hi ha, com proposa Mayer un model verbal i un model pictòric que s'integren amb el coneixement previ, sinó un únic model mental que, en tot cas, es retro-alimenta amb una representació proposicional d'aquest model (Figura 30).

Aquest model també difereix respecte els anteriors en la redefinició del paper de la memòria a llarg termini (i per tant, del coneixement previ), que en la realització d'una tasca de lectura pot compensar la falta d'informació externa o la falta de memòria de treball. Finalment, aquest model també aborda la idea d'estil cognitiu dels individus i de com les diferències entre aquets estils fan que un lector pugui treure més profit d'un tipus de representació o un altre, i també dels factors motivacionals i afectius associats a les tasques de lectura.

¹² Hem abordat la qüestió de la iconicitat dins de l'apartat 2.1.3, des del punt de vista semiòtic.

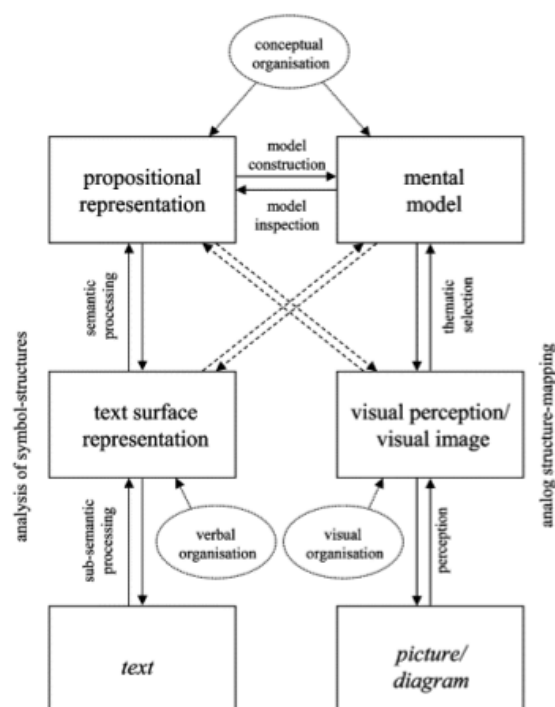


Figura 30. Model integrat de comprensió de text i imatge, extret de Schnotz (2002).

Principis de “disseny instruccional”

Com s’ha apuntat anteriorment, la principal finalitat científica de la recerca en el camp de la psicologia entorn de la lectura d’imatges i d’altres sistemes de representació externa ha estat l’elaboració de principis de disseny aplicables a tota mena de materials (llibres de text, pàgines web, materials multimèdia de tota mena, etc.). En la majoria de casos es tracta de principis derivats dels diferents models proposats per Paivio, Mayer i Schnotz, però alhora induïts (i fins i tot en alguns casos refutats) a partir d’un immens conglomerat de recerques empíriques. Ens referim, per exemple, al principi de divisió de l’atenció, de l’anglès “*Split-attention principle*” (Ayres i Sweller, 2005), que proposa que els lectors tenen major dificultat per integrar text i imatges si aquestes es troben separades, i que per tant, és important incloure etiquetes verbals dins del text més que no pas fora del text. El principi de modalitat (Moreno i Mayer, 1999) proposa que per comunicar una explicació verbal que complementi una representació visual, és millor utilitzar el canal auditiu, ja que el lector pot sentir l’explicació alhora que seguir observant la representació. El principi de redundància (Mayer i Moreno, 2002) adverteix de la problemàtica de presentar simultàniament text escrit i narrat, ja que això col·lapsa els dos canals i no permet destinar recursos cognitius a la comprensió dels gràfics. El principi de contigüitat (Moreno i Mayer, 1999), que adverteix de la importància de presentar de forma contigua les representacions amb proximitat conceptual. El principi de control de processament (Wolfgang Schnotz, 2005) afirma que el lector té majors facilitats de lectura si pot controlar la reproducció d’informació aturant-la i posant-la en marxa quan convingui. El principi de coherència (Muller, Lee, i Sharma, 2008) adverteix de la coherència entre text i imatges, i per tant de la importància de no utilitzar representacions visuals que no estiguin directament relacionades amb el contingut representat. El principi de diferències individuals (Austin, 2009) proposa que cada individu té habilitats diferents per a la lectura de gràfics i també diferent memòria de treball. Finalment, el principi de

l'efecte de pistes, de l'anglès “*cueing effect*” (Lowe i Schnotz, 2008), que proposen que introduir pistes (“*cues*”) en la representació ajuda a focalitzar l'atenció del lector.

Aquests principis, i molts d'altres que aquí ni tan sols esmentem per no estendre'ns, són principis genèrics i, com ja hem dit, estan ideats per esser aplicats a la lectura de sistemes de representació externa de qualsevol índole (ja siguin simulacions educatives de física o animacions, webs i materials multimèdia de qualsevol altre disciplina). En alguns casos, però, aquest principis s'han aplicat específicament a l'ensenyament de les ciències. Per exemple, Cook (2006) fa una interessant síntesi d'aquests principis per a la revista *Science Education*, i Plass et al. (2009) discuteixen també alguns d'aquests principis pel cas específic de les simulacions educatives de química.

En el nostre cas, hem de considerar aquests principis com un marc que ens ajudi a entendre les dificultats que puguem trobar en la lectura de les dues simulacions de física que hem triat. Aquests principis ens seran útils en tant que ens ajuden a pensar quines dificultats de lectura es poden evitar amb un bon disseny gràfic de les representacions visuals. A grans trets, algunes idees importants a tenir en compte seran evitar la redundància d'informació, evitar els elements distractors que no estiguin representats de forma coherent amb la resta de la representació, buscar la simplicitat i dotar les representacions de pistes (*cues*) visuals, assumir les diferències individuals i el seu coneixement previ.

2.2.2. Els processos cognitius en la lectura d'imatges

Ahora que des del camp de la psicologia de la percepció s'han proposat els models cognitius de comprensió de text i gràfics i principis de disseny instruccional, altres contribucions provinents també de la psicologia s'han centrat en descriure els processos cognitius que es donen lloc en la ment del lector durant aquesta lectura. Conèixer aquestes contribucions ens ha de permetre identificar alguns dels processos claus que es donen en la lectura d'imatges, per així poder interpretar de forma òptima les dificultats de lectura que puguem identificar.

La recerca visual

Una de les primeres interpretacions de la lectura d'imatges com a procés cognitiu va ser la de Larkin i Simon (1987), que van dividir les operacions cognitives associades al processament de representacions diagramàtiques en (1) la recerca visual de la informació representada, (2) el reconeixement d'aquesta informació i (3) la inferència d'aquesta informació per construir una explicació entorn de la representació externa. Segons aquests autors, **la recerca visual** té un gran potencial en la comunicació a través de representacions externes, ja que explotar els processos perceptuals permeten reduir les operacions de recerca i de reconeixement. Zhang i Norman (1994, citat a Ainsworth (2008)) van demostrar que l'esforç cognitiu es pot reduir quan els lectors poden seguir restriccions explícites de la representació sense necessitat d'interioritzar-les, i per tant, que els processos de percepció externa poden substituir algunes operacions cognitives, i segons Moles (1991) aquesta operació de recerca és, en el cas de la lectura d'imatges i a diferència de la lectura del text, superficial i no-lineal. Per exemple, en una operació de detecció perceptual de recerca en la Figura 31, on apareix representada una taula i un gràfic de barres. Per respondre a la pregunta “*En quin mes hi ha un valor de pluja màxim?*”, la detecció perceptual de la mida de les gràfiques estalvia al lector haver de “buscar” les dades en la columna i de “comparar” els diferents valors.



Figura 31. Exemple de dues representacions, tabular i gràfica, on la operació de recerca del mes amb valor màxim de pluja es realitza amb major facilitat en la representació gràfica. Disseny propi.

L'atenció visual

En paral·lel, Kulhavy, Lee i Caterino (1985) van explicar la lectura d'una representació externa a través de (1) els processos sensorials de detecció de les característiques visuals, (2) la codificació d'aquestes característiques que porta a la construcció d'una representació interna i (3) la inferència que es genera amb el coneixement de domini (Figura 32). En aquesta proposta, la identificació de les característiques visuals d'una representació no només ve donada pel procés sensorial, sinó també per l'**atenció**, que esdevé un element modulant d'aquest procés sensorial. Posteriorment, Kosslyn (2005) també proposa un diagrama d'operacions cognitives semblant, en la que l'atenció ocupa una part del que anomena "càrrega visual" (de l'anglès, "*visual buffer*").

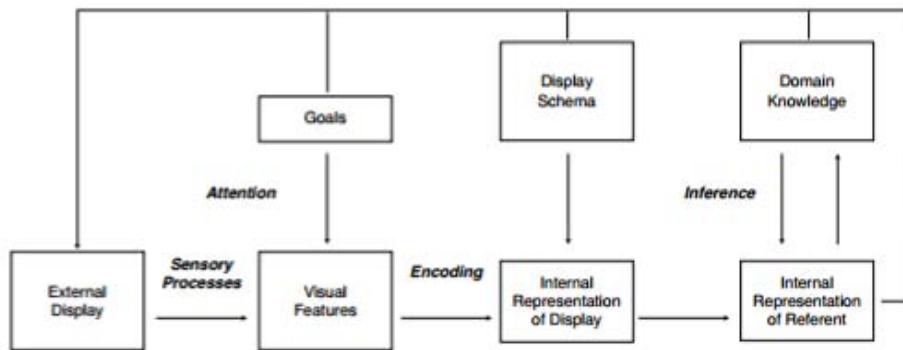


Figura 32. Processos cognitius que intervien en la lectura, segons Kulhavy, Lee i Caterino (1985).

Amb el temps i les innovacions tecnològiques, l'atenció com a procés cognitiu ha estat molt estudiat i fins i tot "mesurat" a través de mecanismes d'enregistrament òptic (*eye tracking*) destinats a mesurar la fracció temporal que cada lector destina a fixar la vista en cadascuna de les anomenades "àrees d'interès" d'una representació (veure, per exemple, la Figura 33). Segons Lowe (2003) l'atenció que un lector destina a cada element visual d'una representació ve donada per una combinació entre la seva prominència visual (parlem de prominència a partir del terme anglès "*saliency*") i la rellevància temàtica determinada pel contingut representat, i aquestes dues característiques d'una representació no sempre corresponen l'una amb l'altre. Quan això succeeix, el lector novell tendeix a centrar l'atenció en els aspectes superficials i per tant en la prominència visual, mentre que el lector expert és capaç de centrar

l'atenció en els aspectes més profunds, i per tant, en la rellevància temàtica. De fet, la qüestió de la **lectura superficial per falta d'atenció** a alguns elements visuals ha estat objecte de discussió en nombrosos estudis, tant per representacions que acompanyen el text (J. Peeck, 1994), en gràfics matemàtics (Maichle, 1994a) o en representacions visuals sobre energia (Stylianidou i Ogborn, 2002).



Figura 33. Exemple de representació on s'han identificades les "àrees d'interès" per un estudi de Bourcheix i Lowe (2010).

La precedència i la precedència

Un altre enfocament fet per descriure les operacions cognitives associades a la lectura d'imatges és el de Winn (1994), que presenta la lectura de representacions a partir d'un seguit de passos previs a la comprensió (Figura 34). Aquesta proposta destaca pel fet que entre la detecció i la identificació hi apareix l'**establiment de precedència** (de l'anglès "*precedence*"), tot i que podríem traduir-ho com la prioritat que tenen alguns elements visuals sobre uns altres, i l'establiment de precedència és un procés cognitiu que s'explica, des de la teoria psicològica de la Gestalt¹³ a partir d'una sèrie de criteris visuals: tancament, proximitat, continuïtat i similitud.

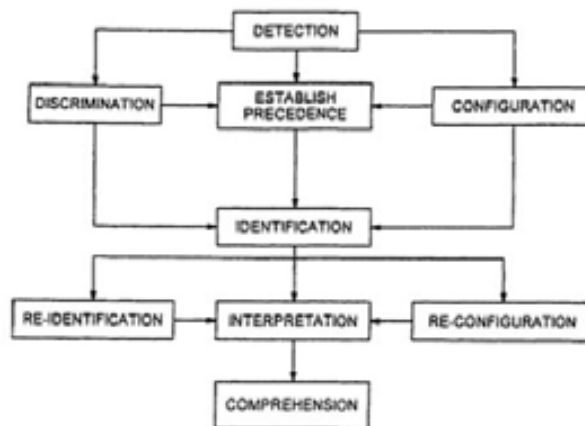


Figura 34. Processos cognitius que intervien en la lectura, segons Winn (1994).

¹³ La tesis central de la Teoria de Gestalt aplicada a la lectura d'imatges ve a dir que la percepció visual no és un procés d'associació d'elements aïllats, sinó un procés integral estructuralment associat a través del qual les coses s'organitzen com unitats o formes per motius profunds.

Segons Feschotte i Moles (1991) la precedència està molt relacionada amb la “pregnància”, que és la qualitat essencial que tenen les formes per imposar-se a la ment de qui les veu.

La precedència dels elements respecte el tot és una qüestió de graus: existeixen formes fortes en les que la cohesió del conjunt s’imposa abans que distingim els elements constituents. Així, un exemple d’aquesta pregnància o precedència de la forma d’una representació visual el trobem en els resultats de l’experiment fet per Navon (1977), on al enregistrar el temps de reacció necessari per detectar la presència de les lletres S i H en la representació de la Figura 35, els participants van establir precedència de la lletra H respecte la lletra S, doncs en aquest cas la H contenia una major pregnància que la S.

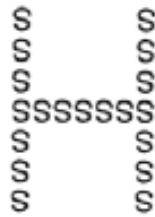


Figura 35. Representació d’una H formada per moltes S utilitzada en els tests fets per Navon (1977)

Aquestes idees de pregnància i de precedència també s’han aplicat en recerques en didàctica de les ciències. D’una banda, Jiménez (1999) va discutir la precedència de la forma de l’imant respecte la fletxa de rotació de la Figura 36 (imatge de l’esquerra), que feia al lector pensar que la rotació de l’espira era respecte l’eix de l’imant i no respecte l’eix de rotació representat. En paral·lel, la recerca duta a terme per Testa, Monroy, i Sassi (2002) també aborda va estudiar la precedència que alguns estudiants establien de la forma de V del gràfic, fent que no interpretessin el segon final en que la gràfica $x(t)$ roman horitzontal (Figura 36, dreta).

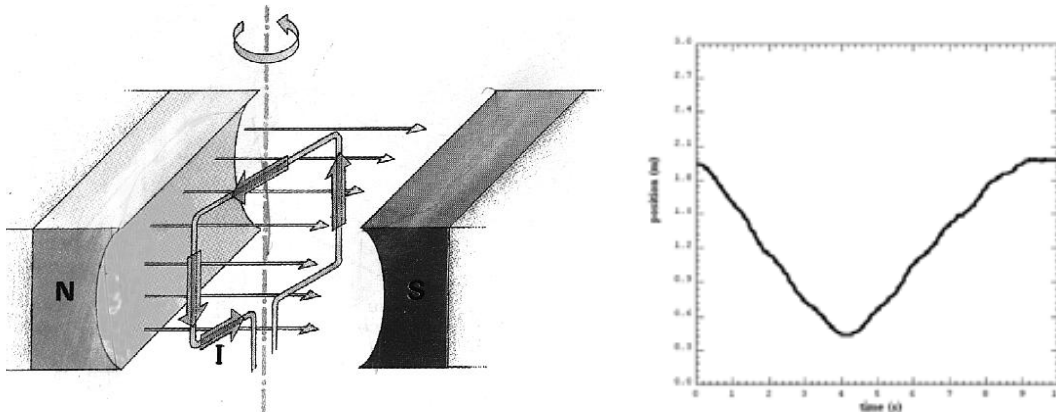


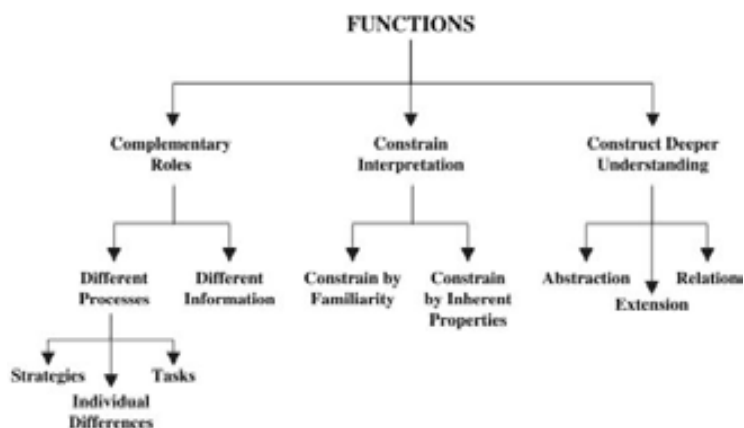
Figura 36. Imatges científiques utilitzades per estudiar la pregnància i la precedència. Extretes de Jiménez (1999) i de Testa, Monroy, i Sassi (2002) respectivament.

En conclusió, totes les descripcions dels processos cognitius que es donen durant la lectura d’imatges (Kulhavy et al., 1985; Larkin i Simon, 1987; Winn, 1994) tenen, com a denominador comú la concepció de la lectura com la combinació d’un seguit de processos cognitius, i que intervé un nivell sensorial (la vista) vinculat a la detecció dels elements visuals de forma superficial i directa; un segon nivell que permet al lector passar de la representació externa a la representació interna; i un tercer nivell relacionat amb la “inferència” o la “interpretació” de la imatge mental construïda. De

fet, aquesta idea està d'acord amb els nivells de Postigo i Pozo (2000) en la lectura de gràfics matemàtics: (1) nivell de processament de la informació explícita (s'identifiquen els elements més prominents), (2) Nivell de processament implícit (patrons, tendències, relacions existents) i (3) Nivell de processament conceptual (nivell superior de processament). A més, la proposta de Winn (1994) i els experiments que s'han fet sobre la pregnància de les formes permeten concloure que des de la perspectiva de la Gestalt, l'establiment de precedència és un procés cognitiu molt rellevant en la lectura, i per tant, que caldrà parlar especial atenció a aquesta qüestió a l'hora d'identificar i discutir les dificultats en la lectura d'imatges. Finalment, en aquests diferents models han aparegut qüestions relacionades amb la relació entre la visualització i el coneixement previ, i també amb la realització d'inferències per part del lector. Tot i així, aquestes qüestions seran abordades en l'apartat 2.3, ja que entenem que donat el contingut científic exposat en les simulacions que ens incumbeixen, no és la literatura en psicologia sinó la literatura en didàctica de les ciències qui té més elements a aportar.

2.2.3. La lectura de representacions externes múltiples

Una qüestió abordada des del camp de la psicologia de la percepció que pot semblar molt específica però que té una gran rellevància en el cas de la lectura d'imatges utilitzades en simulacions educatives és el paper de les representacions múltiples en la lectura. Per parlar de representacions múltiples, un dels termes més emprats en la literatura és el de **MER** (en anglès, "*multiple external representations*") (Ainsworth, 1999, 2006). L'anàlisi de la lectura amb representacions múltiples ha estat present en moltes recerques on s'han analitzat la lectura de representacions externes complexes on intervenen diferents fonts d'informació, qüestió de gran rellevància en l'ensenyament de les ciències¹⁴ (Ainsworth, Bibby, i Wood, 2002; Cook et al., 2008; Girwidz, 2007; Ploetzner, Lippitsch, Galmbacher, i Heuer, 2006; Sáez i Pintó, 2007; van der Meij i de Jong, 2006; Waldrip, Prain, i Carolan, 2006; Wood, Sadhbh, Petocz, i Rodd, 2007). Per abordar la lectura de representacions múltiples Ainsworth (2006) proposa un marc anomenat DeFT (*Design, Function and Tasks*), en el que recull i discuteix els resultats de molts estudis empírics en base a tres qüestions fonamentals: (1) Quins criteris de disseny s'han de seguir per utilitzar representacions múltiples? (2) Quines són les funcions que desenvolupen les representacions múltiples en el procés de lectura? (3) Quines tasques cognitives implica la lectura de representacions múltiples?



¹⁴ Fins i tot en els darrers anys l'editorial Springer ha publicat dos llibres sobre les MER en l'ensenyament de les ciències, "*Multiple Representations in Chemical Education*" (Treagust i Gilbert, 2009) i "*Multiple Representations in Biological Education*" (Treagust i Tsui, 2013).

Figura 37. Les funcions de les representacions múltiples: rols complementaris, restricció de la interpretació i construcció d'una comprensió més profunda. Extret de Ainsworth (1999).

La primera pregunta que planteja el DeFT ha estat resposta dins del camp de la psicologia a través de línies de disseny de coherència i contigüïtat espacial i temporal, sota la premissa que el processament integratiu i els costos cognitius per assolir la coherència de les representacions múltiples no excedeixen els beneficis del procés. De totes maneres, com que el nostre objectiu no és dissenyar simulacions en les que apareguin representacions múltiples sinó provar d'identificar quines dificultats de lectura troben els estudiants quan les llegeixen, en les properes pàgines discutirem especialment quines són les funcions i les tasques de les MER en la lectura d'imatges. Per fer-ho, ens basem en la taxonomia funcional que utilitza per descriure les funcions de les MER (Figura 37), amb alguns matisos. En primer lloc ens centrarem en el suport de les MER a processos cognitius diferents (veure "*different processes*" a l'esquerra de la taxonomia de la Figura 37, a sota de "*Complementary roles*"), i després discutirem sobre la idea del restricció de la interpretació de les representacions (veure "*constrain interpretation*" al centre de la taxonomia) i sobre la construcció d'una comprensió més profunda (veure "*Construct Deeper Understanding*" a la dreta de taxonomia). Finalment, discutirem sobre les informacions que contenen les MER (veure "*different information*", també a sota de "*Complementary roles*").

El suport a processos cognitius diferents

Segons Ainsworth (2006), una de les raons que han portat a un ús tan estès de les representacions múltiples és que això permet al lector beneficiar-se simultàniament de processos cognitius diferents, cadascun d'ells recolzat o induït per una representació diferent. La majoria de casos identificats en la literatura sobre com les MER donen suport a processos cognitius diferent estan centrats en distingir entre representacions diagramàtiques (el que normalment anomenem gràfics o imatges) i representacions sentencials o proposicionals (el que anomenem text escrit). En aquest cas, l'ús de representacions múltiples és evident, doncs les habilitats lectores, les estratègies de resolució de problemes o de comprensió lectora seran molt diferent si es tracta de llegir un text, de llegir una imatge o de llegir de forma combinada un text i una imatge.

Tanmateix, en el nostre cas no abordarem les MER com una combinació de text i imatge, sinó com la combinació de diferents imatges dins d'una mateixa composició, ja que entenem que aquest és el cas més habitual amb el que es troben els estudiants de secundària a l'hora de treballar amb simulacions educatives de física. Per discutir aquesta qüestió tornem a fixar-nos en la representació de la Figura 7, que al llarg del capítol ja hem analitzat des del punt de vista sintàctic, semàntic i pragmàtic. Aquesta vegada, però, ens fixarem en fins a quatre elements visuals que d'una manera o altra estan relacionades amb la representació de la temperatura en la simulació (Figura 38).

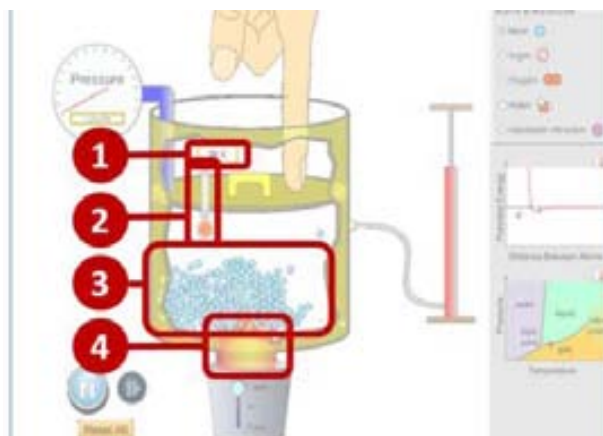


Figura 38. En la simulació interveine fins a quatre sintagmes visuals que el lector pot relacionar amb el canvi de temperatura.

En aquesta Figura 38 apareixen quatre elements visuals que el lector pot relacionar amb el canvi de temperatura: (1) el valor numèric que marca la temperatura amb graus Kelvin, (2) la representació gràfica d'un termòmetre de mercuri, (3) un conjunt de partícules que s'agiten a partir del model cinètic-molecular (4) una flama que pot tenir més o menys intensitat.

Perquè diem que aquesta representació múltiple de la temperatura dóna suport a processos cognitius diferents? D'una banda, perquè l'element visual 1 utilitza una representació sentencial, mentre que els elements 2 i 3 són diagramàtics. De l'altra, perquè mentre l'element visual 2 representa de forma gràfica un valor numèric simple (com més altura té el mercuri dins del termòmetre, més temperatura), l'element visual 3 és una representació molt més complexa amb centenars de partícules en moviment.

La restricció de la interpretació

Una segona funció de les MER és la d'ajudar al lector a desenvolupar una millor comprensió del contingut d'una representació a partir del contingut d'una segona representació que restringeix la interpretació que el lector pugui fer de la primera. Segons Ainsworth (1999), el fet de restringir aquesta interpretació pot venir donat per la **familiaritat** del lector amb una de les dues representacions (és a dir, la representació familiar per restringir la interpretació d'una representació menys familiar pel lector) o bé per les **proprietats inherents** d'una de les dues representacions.

Si pensem de nou en la representació de la Figura 38 podem veure una mostra d'aquesta restricció de la interpretació. Com hem dit, els elements visuals 1, 2 i 3 representen la temperatura del recipient. Ara bé, sabem que els canvis de temperatura en un recipient poden produir-se per diferents motius, ja sigui per radiació, per agitació mecànica, per contacte tèrmic, etc. En la simulació, l'element visual 4 representa una flama situada a sota del recipient al qual se li modifica la temperatura, i per tant, la representació de la flama restringeix la interpretació de la simulació respecte la causa d'aquest augment de temperatura.

Una comprensió més profunda

Una tercera funció de les representacions múltiples és la d'ajudar al lector a desenvolupar una comprensió més profunda del contingut representat, que transcendeixi la comprensió de cadascuna de les representacions de forma aïllada. Segons Ainsworth (2006), l'enllaç cognitiu entre representacions crea un tot que, des

del punt de vista cognitiu, és més que la suma de les parts. És a dir, una representació múltiple permet representar més que la suma de les representacions aïllades, arribant a una comprensió més profunda. De fet, aquesta idea no prové només del marc de les MER, sinó que és una tesi estesa en l'estudi de la interacció multimodal (Lemke, 1998; Márquez et al., 2006), en la idea de la flexibilitat cognitiva (Spiro, Feltovich, Jacobson, i Coulson, 1992) o en la idea de l'aprenentatge profund (Bransford i Brown, 1999). Segons com siguin aquestes representacions múltiples, aquesta comprensió profunda que transcendeix la comprensió aïllada de les parts possibilita una major abstracció a la comprensió, una major extensió i generalització del contingut representat o una major comprensió de la pròpia relació entre representacions. Per tant, segons Ainsworth (2006), la traducció d'un tipus de representació a una altra pot ser un objectiu educatiu en si mateix, i és un dels principals reptes educatius a l'hora de treballar amb representacions múltiples a l'escola.

Si pensem de nou en la representació de la Figura 38 trobem un cas concret d'aquesta relació en la combinació dels elements visuals 2 (el termòmetre) i 3 (la representació cinètic-molecular). La lectura d'aquesta simulació no només permet observar la relació entre calor (la flama) i la temperatura, sinó també ajuda a comprendre el model cinètic-molecular en sí mateix. Una traducció proposicional de la representació diagramàtica en aquesta simulació permet dir que *“la temperatura és major quan la intensitat de vibració de les partícules és major”*, i també que *“la temperatura és menor quan la intensitat de vibració de les partícules és menor”*. El que pretenem relacionar amb aquest exemple és que la representació múltiple dels elements 2 i 3 transcendeix en certa manera la informació específica de cada element de la simulació, i ajuda a construir el model cinètic-molecular en sí mateix.

La complementarietat de la informació

Una darrera qüestió que s'aborda en el marc DeFT és la de la naturalesa de la informació en les representacions múltiples. Ainsworth (2006) aborda aquesta qüestió dins de la complementarietat de rols de les MER, però donada la naturalesa de les representacions que són del nostre interès (simulacions educatives de física), hem cregut convenient discutir-ho en un punt propi. Dins del marc DeFT es parla en termes de si la informació que apareix en dues representacions és diferent o és compartida.

En la Figura 39 hem volgut centrar-nos de nou en la mateixa simulació que hem analitzat fins al moment, però aquesta vegada hem volgut destacar tres elements visuals: (1) el baròmetre que mesura la pressió amb una agulla, (2) el dit que representa la pressió externa que s'exerceix sobre l'èmbol i (3) el termòmetre de mercuri que ja hem discutit anteriorment. Podem considerar les informacions de les representacions 1 i 2 com compartides (ja que les dues fan referència a la pressió), mentre que les informacions de les representacions 2 i 3 com diferents (ja que una fa referència a la pressió i l'altra a la temperatura). En aquest sentit, podríem considerar una dificultat de lectura el fet de no connectar adequadament la representació 1 i 2, sense arribar a relacionar el moviment de l'èmbol produït pel dit (2) amb el moviment de l'agulla del baròmetre (1). Ara bé, també seria una dificultat de lectura el relacionar el dit (2) amb el termòmetre (3), comprenent que el dit mesura la temperatura de l'èmbol, ja que en aquest sentit els elements 2 i 3 no comparteixen aquesta informació.

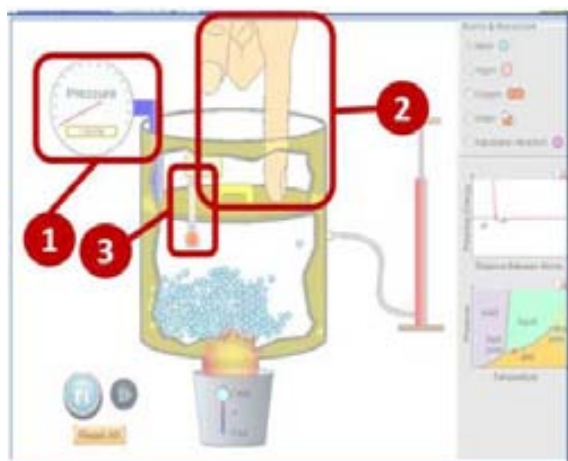


Figura 39. Les representacions 1 i 2 són complementàries, i integrades ajuden a construir un significat conjunt. Les representacions 2 i 3 són diferents, i integrades poden portar a una interpretació errònia.

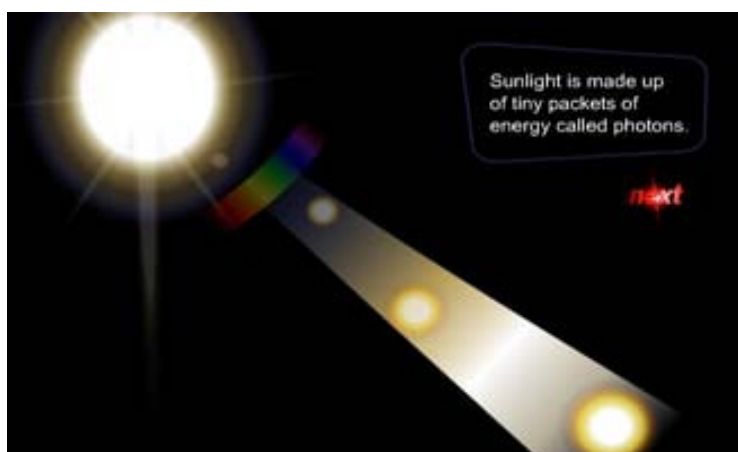


Figura 40. Representacions redundants de la llum, a través de la representació del raig i de la representació dels fotons. Extret de <http://prof.danlouis.pagesperso-orange.fr/animations/solarcells/index.htm>

Ara bé, tot i que Ainsworth (2006) parli en termes de “*informació compartida*” i “*informació diferent*”, per la nostra recerca ens interessa pensar en una classificació lleugerament diferent. En la Figura 40 apareix una imatge capturada d'una simulació existent a Internet (adreça), en la que apareix un raig de llum alhora que uns cercles il·luminats que representen fotons. Al nostre entendre, aquesta informació no es pot definir exactament ni com compartida ni com diferent, sinó com a **informació redundant**, basant-nos en la idea de redundància que apareix en els principis de disseny que hem discutit al final de l'apartat 2.2.1. Considerem important fer aquesta distinció perquè la representació simultània del raig i els fotons comporta el risc de comunicar al lector que rajos i fotons poden coexistir en el món físic, i no que són dues interpretacions dicotòmiques (ja que parlem o bé de fotons, o bé de rajos, però no de fotons i rajos alhora).

En resum, podem analitzar les MER en funció de si donen suport a processos cognitius diferents, de si restringeixen la interpretació, de si permeten una comprensió més profunda o de si contenen informació complementària o diferent. Per identificar les dificultats de lectura i comprensió de representacions visuals caldrà tenir en compte aquestes qüestions, i analitzar si els estudiants seran capaços de distingir quan dues o més representacions que contenen informacions redundants, si connecten

adequadament dues o més representacions que contenen informacions complementàries i si confonen representacions diferents.

2.2.4. La lectura de representacions dinàmiques

Al igual com succeeix amb les representacions múltiples (que no són més que una de les moltes línies de treball que hi ha dins del camp del *Graphic Comprehension*, per que hem considerat que mereixen un tractament especial), considerem que la lectura de representacions dinàmiques també mereixen una atenció particular, i per això tractarem de discutir el paper que aquestes tenen en la lectura de simulacions educatives de física. Les simulacions es constitueixen tant de “inputs” com de “outputs” que, per definició, impliquen algun canvi visual en la representació, ja sigui un canvi de color, un canvi de posició, moviment, etc. A més a més, les simulacions reproduïxen sovint fenòmens físics temporals, que evolucionen, reaccionen, canvien, etc., i que per tant, requereixen d’una animació per ser representats. Així passa, per exemple, si analitzem una vegada més la simulació de la Figura 7 des del punt de vista dels seus elements dinàmics, trobarem una gran quantitat d’elements mòbils, representats amb fletxes vermelles en la Figura 41:

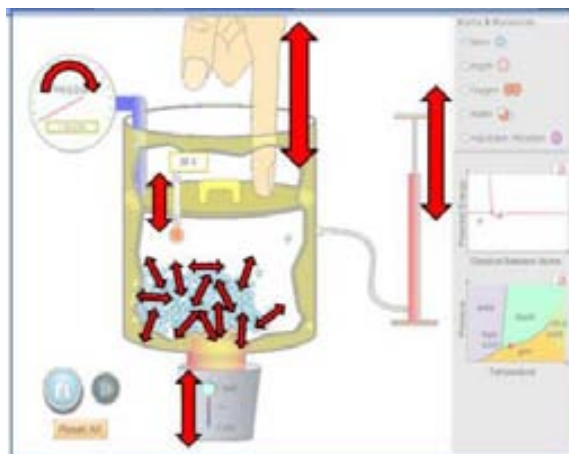


Figura 41. Elements dinàmics de la representació de la Figura 7.

Deixant a banda els elements de comandament i control de la simulació, entre aquestes elements que es desplacen o que es mouen en algun sentit trobem l’èmbol, l’agulla del baròmetre, el termòmetre, la barra d’escalfament, la bomba d’aire i, especialment, cadascuna de les partícules representades dins del recipient. És a dir, la representació està farcida d’elements dinàmics, i aquest dinamisme no només quantitativament dóna més informació que una representació estàtica, sinó que interacciona amb el lector fins al punt que es genera una nova dimensió comunicativa, amb nous codis, nous registres semiótics i noves tasques cognitives de lectura.

Aquest immens potencial que tenen les representacions dinàmiques ha portat, i molt especialment la creixent importància de la comunicació amb formats digitals (llibres digitals, pàgines web, vídeos i animacions online, etc.) ha impulsat la realització de nombrosos estudis sobre el paper de les animacions en la lectura i la comprensió visual (Rieber, 1990; Lih-Juan i Chan-Lin, 2000; Mayer, 2001; Hegarty, 2004; Hegarty, Kriz, i Cate, 2003; Tversky, Morrison, i Betrancourt, 2002), i també en el cas específic de simulacions educatives de física (Ploetzner et al., 2006; Ryoo i Linn, 2012).

Animacions, simulacions i representacions dinàmiques

Tot i que sovint els termes “animació”, “simulació” i “representació dinàmica” es confonen i s'utilitzen indistintament, existeixen alguns matisos que hem volgut destacar. En primer lloc, el terme **animació** pot tenir dues accepcions diferents. D'una banda, parlem **d'animació** com a un atribut, a una propietat de les representacions que contenen elements visuals en moviment. Segons (Tversky, Morrison, i Betrancourt, 2002) és animació tota aquella representació composta de “frames” (fotogrames) on cadascun d'ells apareix com una alteració de l'anterior amb l'objectiu de simular un canvi o moviment d'objectes reals, independentment del grau d'interactivitat de que disposi la representació. Segons aquesta accepció, direm “una imatge conté animació si conté elements que es mouen”. Una segona accepció del terme **una animació** és la de considerar-la com un recurs educatiu, una representació externa que conté elements en moviment. Si utilitzem aquesta segona accepció, hem de partir de la distinció que es fa des de la didàctica de les ciències entre una animació i **una simulació** en funció del grau d'interactivitat (Pintó et al., 2010). Segons aquesta accepció una simulació és un recurs virtual on el lector pot canviar paràmetres i variables per modificar el comportament del sistema, mentre que en les animacions no.

La mateixa polèmica que trobem amb el terme animació el trobem amb el terme dinamisme. Lowe (2003) proposa la idea de **representació dinàmica** que com a contraposició a les representacions estàtiques, que a més d'animacions inclou altres tipus de canvis en la representació. Segons aquesta definició, una representació dinàmica és aquella que té la capacitat de representar de forma directa canvis temporals. A més a més, segons Meyer et al. (2010) aquests canvis poden ser de tres tipus diferents:

- **Transformacions (canvis de forma):** Alteracions de les entitats gràfiques respecte a propietats com la mida, la forma o la textura.
- **Translacions (canvis de posició):** Inclouen el moviment d'elements visuals d'una posició a una altra que es poden percebre respecte un punt de referència.
- **Transicions (canvis d'inclusió):** Inclou l'aparició i la desaparició d'entitats de forma parcial o total, que poden entrar o sortir pels extrems de la representació o de qualsevol altre part de la representació.

Finalment, en altres casos s'ha parlat de representacions dinàmiques que no inclouen un canvi real de la representació, sinó la representació d'aquest canvi. Segons Ainsworth i van Labeke (2004) hi ha moltes maneres de representar el temps, ja sigui reproduint un fenomen directament, però també pot ser amb un gràfic on aparegui el temps en una representació estàtica, o presentant simultàniament múltiples representacions d'un objecte que pateix progressives modificacions.

La efectivitat d'una representació dinàmica

La discussió sobre quan cal incloure representacions dinàmiques en materials educatius de tota mena ha portat dins del camp de la psicologia a debatre sobre quan aquests tipus de representacions són efectives i aporten un benefici clar a la comprensió, i quan no. Davant d'aquesta discussió, molts autors han presentat estudis en que es demostren uns beneficis clars, però també algunes limitacions que cal tenir en compte. Tot i així, Price (2002) argumenta que la recerca amb animacions ha tingut sempre uns resultats molt diferents en funció de molts factors.

Schnotz i Rasch (2005) presenten la **funció possibilitadora** (de l'anglès, “*enabling function*”) de les representacions dinàmiques, és a dir, la funció de presentar informació visual nova i diferent a la que permet la representació estàtica, com ara la reproducció directa de trajectòries i tota mena de moviments. Segons Ainsworth (2008) això redueix la quantitat d'esforç cognitiu per comprendre sistemes dinàmics. Schnotz i Rasch (2005) també presenten la **funció facilitadora** de les representacions dinàmiques, segons la qual el dinamisme pot donar suport a la lectura d'elements estàtics fent, per exemple, ressaltar dinàmicament un o altre element visual per dirigir l'atenció del lector. De manera semblant, Lowe (2003) també parla del potencial del dinamisme per dirigir l'atenció del lector en un sentit determinat i per possibilitar processos cognitius que sense el dinamisme no serien possibles, i afegeix la funció de facilitar la **percepció tridimensional** de les representacions. Ainsworth (2008) encara afegeix més elements beneficiosos en la lectura de les representació, com ara els **afectius i motivacionals**, ja que una animació pot ser més vistosa i cridar més l'atenció que una imatge estàtica.

Aquests mateixos autors també han apuntat alguns aspectes negatius de les representacions dinàmiques, com ara la sobrecàrrega cognitiva associada a la lectura de representacions dinàmiques. Lowe (2003) parla més endavant de dos raons que expliquen els pocs beneficis que el dinamisme pot aportar a la lectura: d'una banda, l'**efecte aclaparador** (de l'anglès “*overwhelming*”), és a dir, la imposició al lector d'excessives demandes de processament; i de l'altra, l'**efecte decebedor** (de l'anglès, “*underwhelming*”), la reducció del grau de participació dels lectors en les tasques de processament. Degut a aquests dos efectes, Lowe (2003) afirma que la simple presentació d'elements dinàmics no beneficia l'aprenentatge en sí mateix, i que si el contingut de les representacions té un alt grau de complexitat visual això pot tenir conseqüències negatives pels lectors novells en aquest contingut per l'alta demanda cognitiva.

La combinació d'elements positius i negatius del dinamisme porta a Tversky, Morrison, i Betrancourt (2002) a argumentar que no és apropiat preguntar-se si “*Les animacions ajuden a l'aprenentatge?*” sinó “*Sota quines condicions les animacions poden ajudar a millorar l'aprenentatge?*”.

Ara bé, tot i que el dinamisme permeti presentar informació visual que no es pot representar de forma estàtica, aquesta informació també ha d'estar subjecta a unes regles gramaticals coherents amb el contingut representat. Per exemple, en la representació de la Figura 42, on apareixen dos fotogrames d'una animació que representa el funcionament d'una placa fotovoltaica: En el fotograma de l'esquerra podem veure com entren fotons (cercles grocs) a l'interior de la placa; i en el fotograma de la dreta es veu com aquests fotons “alliberen” electrons (cercles blaus), que posteriorment es desplacen fins al material conductor (franja vermella). En aquest cas, la transició d'elements (és a dir, l'aparició dels cercles blaus i la desaparició dels grocs) es pot considerar una llicència gramatical¹⁵ molt arriscada, ja que pot induir al lector a pensar que és el fotó el que es transforma en electró, violant així la idea de conservació de la càrrega i de la matèria.

¹⁵ Abordarem la qüestió de les llicències gramaticals a l'apartat 2.3.1

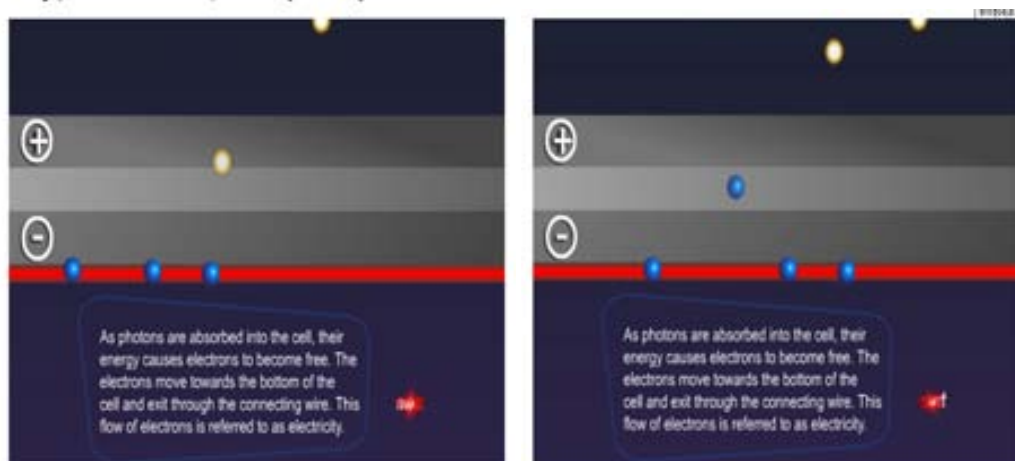


Figura 42. Dos fotogrames obtinguts d'una simulació que explica el funcionament de les plaques fotovoltaïques i on es pot transmetre la idea errònia que un fotó es converteix en un electró. Extret de <http://prof.danglais.pagesperso-orange.fr/animations/solarcells/index.htm>

Una darrera contribució rellevant associada a la percepció d'informació dinàmica la trobem en el camp de la Biomoció¹⁶, que han identificat que la percepció humana a l'acceleració (és a dir, la sensibilitat per percebre els canvis en la velocitat d'un objecte) no és sempre la mateixa per a les persones, i que aquesta sensibilitat varia en funció de la velocitat dels objectes i de la seva mida, de manera anàloga a la Llei de Weber-Fechner¹⁷ (Chang i Troje, 2009).

2.2.5. Crítica a l'anàlisi psicologista de la lectura d'imatges

El conjunt de plantejaments que configuren la perspectiva psicològica d'aquest treball ens permetrà en els capítols posteriors analitzar la lectura d'imatges a partir de idees com la càrrega cognitiva, la memòria de treball, l'atenció, la precedència, l'habilitat espacial, la integració de representacions múltiples o la lectura de representacions animades. Arribats a aquest punt, entenem que també és necessari fer un conjunt de consideracions crítiques sobre el propi camp de la psicologia. Amb aquestes consideracions no pretenem rebatre ni treure validesa a totes les recerques que s'han fet ni models teòrics que s'han proposat, sinó simplement assenyalen els riscos d'un enfocament estrictament psicològic i psicologista igual que en l'apartat 2.1.4 hem fet amb la crítica a l'anàlisi semiòtic de les imatges.

En primer lloc cal tenir en compte que el camp de la lectura de gràfics es basa majoritàriament en recerques empirismes. Els resultats de cada recerca corroboren, complementen o refuten les recerques anteriors, però constantment hi ha nous principis, noves excepcions i un volum molt important de resultats internament contradictoris. És molt comú veure en les recerques d'aquest camp com, davant de resultats poc concloents, els autors sempre inclouen en la discussió dels resultats la idea que cal molta més recerca addicional per entendre un o altre aspecte de la lectura. A més a més, a vegades pot semblar que alguns dels principis psicològics s'utilitzen com a "coixins" per a discutir els resultats contradictoris: principi de diferències individuals, o principi de propietats inherents de la representació.

¹⁶ Traducció de l'anglès "Biomotion". Veure, per exemple: <http://www.biomotionlab.ca/>

¹⁷ La llei de Weber-Fechner és una llei provinent del camp de la psicofísica, i relaciona el llinard de la percepció d'un estímul amb la magnitud d'aquest estímul (en el nostre cas, visual).

En segon lloc, en moltes de les recerques que tracten d'avaluar la lectura d'imatges que fan estudiants i altres participants es juga amb una gran ambigüïtat i falta de definició i concreció sobre què s'entén per aprendre. Sovint es defineixen un seguit de "*learning outcomes*" que es mesuren a través de pre-testos i post-testos, però rarament els objectius d'aprenentatge associats a una visualització estan ben definits. Això porta a que en moltes recerques el problema que quedi clar quan estan parlant d'aprenentatge i quan simplement s'està parlant de memorització. Per exemple, en les instruccions que es donen als lectors en la recerca de Rohde, Rumann, Opfermann i Schmuck (2013) per llegir unes representacions visuals sobre química orgànica, es demana als participants "*try to learn as much as you can*", cosa que demostra una concepció molt naïf de què és l'aprenentatge. En alguns casos inclús es mostra amb una visió de l'aprenentatge molt conductista, molt transmissiva, memorística i/o mecanicista.

Finalment, una darrera crítica important que cal destacar d'aquest camp de recerca és que quan s'estudia la lectura d'imatges no s'aborda el contingut d'aquestes representacions, o es fa de forma molt superficial. Des del punt de vista de la didàctica de la ciència aquesta és una mancança molt important, ja que per a la conducció d'estudis en molts casos s'utilitzen com a materials representacions científiques. Segons Schwartz i Danielson (2012), en la majoria dels casos, s'ha prestat poca atenció a les propietats de les imatges com objectes comunicatius, i també a la seva correspondència amb les habilitats amb que els estudiants les interpreten. De fet, un altre element molt habitual en la discussió de resultats contradictoris en aquest tipus de recerques és referir-se a "la complexitat de la representació", assumint que aquesta complexitat impedeix arribar a resultats concloents sobre els principis de disseny. Aquesta falta d'atenció al contingut de les representacions (en molts casos, contingut científic) dificulta la distinció entre la càrrega cognitiva intrínseca i extrínseca. En aquest sentit, Betrancourt, Ainsworth, Vries, Boucheix, i Lowe (2012) afirmen que la casuística existent en les representacions visuals és massa gran com per tenir qualsevol taxonomia general per a la classificació d'imatges que ajudi a determinar criteris universals de representacions visuals "millors" o "pitjors".

2.3. La lectura d'imatges com a fet didàctic: contingut científic i preconcepcions i raonaments dels estudiants

Tant en la reflexió crítica que hem fet tant a la perspectiva semiòtica de la lectura d'imatges (apartat 2.1.4) com en la feta a la perspectiva psicològica de la lectura d'imatges (apartat 2.2.5) han aparegut un seguit d'elements de discussió que justifiquen la necessitat d'abordar aquesta mateixa lectura d'imatges des del punt de vista de la didàctica de les ciències. D'una banda, cal destacar la falta d'atenció que aquests dos enfocaments (semiòtic i psicològic) atorguen al contingut científic propi de la imatge que ha de ser llegida. D'altra banda, cal destacar l'assumpció errònia que sovint apareix segons la qual la lectura es una mera transmissió d'informació i no una transformació, construcció i reconstrucció dels conceptes representats en base als raonaments i les preconcepcions del lector sobre el contingut. En aquest sentit, estem d'acord amb la discussió sobre aquest component transformatiu de les representacions visuals que proposen Colin et al. (2002).

Communications are not simply "received" but are re-made, re-constituted, transformed by the receiver. Communication has to be seen as action; as minds acting on other minds which then act in response. (...) Among the multiple factors, images are a critical vehicle for (transformative) information transmission. To what extent and how do images fail to convey a given message? Do they raise unexpected difficulties? Do they reinforce learners' previous ideas? To what extent and how do the teachers consider these questions?

Des del convenciment que els aspectes didàctics de la lectura d'una representació científica són centrals en l'anàlisi de les dificultats que puguin sorgir en aquesta lectura, en aquest tercer apartat 2.3 del marc teòric abordarem aquelles aportacions que s'han fet a la lectura d'imatges des de la didàctica de les ciències en general i des de la didàctica de la física en particular. Per fer-ho, en primer lloc farem alguns aclariments necessaris sobre les especificitats del contingut que apareix en les representacions científiques, plantejant com els nivells de representació del món es combinen amb les modalitats representatives discutides en l'apartat 2.1, i com les representacions científiques utilitzen (i a vegades abusen de) llicències gramaticals. En segon lloc, abordarem la idea que l'observació està íntimament lligada a les preconcepcions sobre el món (en el nostre cas, sobre els models científics), i que per tant, aquesta mai és neutra ni objectiva. A partir d'aquí, presentarem les concepcions alternatives presents en els estudiants de secundària respecte el contingut científic específic que apareix representat en les simulacions A i B que hem seleccionat pel nostre estudi. Finalment, discutirem alguns dels raonaments espontanis associats al "sentit comú" que s'han identificat en la literatura, i com aquests difereixen dels raonaments científics que es calen per una interpretació canònica de representacions visuals científiques.

2.3.1. Les especificitats del contingut en les representacions científiques

Tot i que l'objectiu d'aquest treball no és abordar el disseny d'imatges que representin continguts científics sinó la lectura que els estudiants d'ESO fan d'aquestes imatges, existeix una extensa literatura sobre com han de ser aquestes imatges per millorar el seu paper com a eines d'ensenyament i aprenentatge. A partir d'aquesta qüestió emergeix el debat entorn de com les especificitats del contingut científic intervé en la manera de representar idees científiques. Per exemple, s'ha discutit el paper de les

imatges com a “evidències científiques” (Jiménez i Perales, 2002), com cada tipus de representació (gràfica / matemàtica, abstracta, pictòrica, fotogràfica, etc.) ajuda a comprendre cada tipus de concepte físic (Braga et al., 2012; Girwicz, 2002), o com els diferents nivells de representació de les imatges científiques.

Els nivells de representació del món des del punt de vista científic

Aquests nivells de representació del món varien segons la disciplina científica, per segons Johnstone (1991) es poden resumir en:

- els nivells macroscòpic / observable (el nivell dels observables a escala humana),
- el nivell microscòpic (en el que es representen fenòmens i processos tan petits que no són observables a escala humana)
- el nivell simbòlic (en el que el món es representa a través de símbols abstractes, com equacions, fórmules, gràfics matemàtics, etc.).

En d'altres casos, es distingeix entre model submicroscòpic (Harrison i Treagust, 2002), el nivell molecular (Ardac i Akaygun, 2005; Cook et al., 2008; MVSEW, 2001) i el nivell mesoscòpic (Besson i Viennot, 2004). Per tant, la naturalesa comunicativa d'una representació científica, discutida en l'apartat 2.1.3, no ve només donada per la seva modalitat semi-tàctica, sinó també pels nivells de representació científica. De fet, Treagust i Tsui (2013) proposen tres dimensions per concebre una representació didàctica de biologia: la modalitat de la representació, el nivell de representació i el contingut específic; i proposen el cub tridimensional de la Figura 43 com a instrument d'anàlisi que fa indestruïbles aquestes tres dimensions. Segons aquests autors, és molt important abordar la naturalesa de la imatge com a objectiu específic d'aprenentatge, de manera que quan els estudiants es trobin amb una representació visual compreguin la naturalesa comunicativa en totes les seves dimensions. Això ens porta a pensar que una comprensió errònia o parcial d'aquesta naturalesa comunicativa constitueix una dificultat de lectura de gran rellevància per la representació.

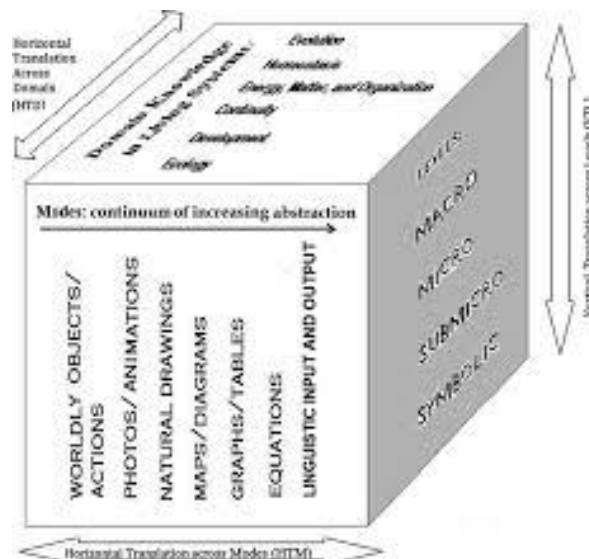


Figura 43. Quadre amb les tres dimensions de les representacions didàctiques a Biologia, proposat per Treagust i Tsui (2013).

Aquesta problemàtica en la representació del món apareix en moltes de les simulacions educatives de física com les que hem seleccionat per la nostra recerca. Si recuperem, per exemple, la simulació presentada en la Figura 7 (que ja hem discutit en els apartats anteriors des del punt de vista dels sintagmes visuals, dels elements metatextuals, de les representacions múltiples i del dinamisme) podem observar la presència d'elements visuals que corresponen a diferents nivells de representació del món (Figura 44).

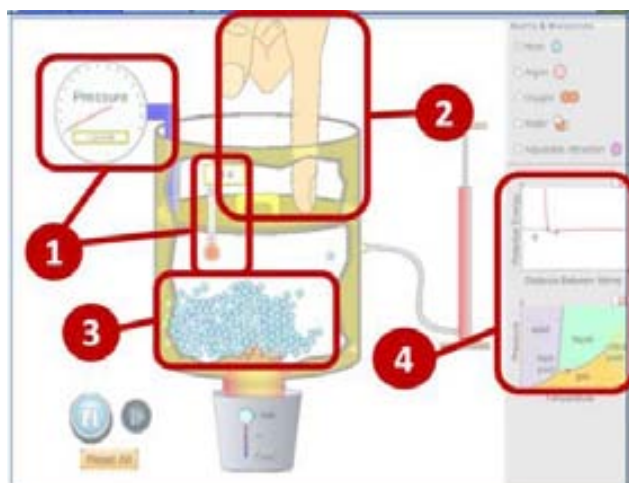


Figura 44. La simulació conté representacions del món macroscòpic (1 i 2), del món microscòpic (3) i del món simbòlic (4).

En aquesta imatge trobem, en primer lloc, la representació **d'objectes del món real**. Dins d'aquests, trobem la representació d'objectes tecnològics com el termòmetre (1), amb un significat inequívoc però que requereix d'un cert coneixement previ del lector. En canvi, també apareixen representacions pictòriques de la vida quotidiana, i per tant, amb un significat científic que pot ser ambigu. En el cas del dit que apareix en la representació (2), un lector podria interpretar canònicament que representa la força que s'exerceix en l'embol per modificar el volum del recipient, però també podria interpretar que el dit mesura sensorialment la temperatura del recipient, ja que el contacte del dit amb la tapa del recipient recorda al gest que fem quan volem saber la temperatura d'un cos. En segon lloc, en la Figura 44 també apareix una **representació microscòpica / molecular** (3). La problemàtica d'aquesta representació justament recau en el fet que la representació molecular de la matèria només és vàlida a l'interior de la representació de l'embol, però no a la resta de la composició, on no hi apareixen partícules representades. És a dir, no és que l'autor de la simulació pretengui comunicar que fora de l'embol la matèria no està composta per molècules, sinó que fora de l'embol les molècules que componen la matèria no estan representades. En darrer lloc, els gràfics del lateral dret de la simulació (5) són **representacions de tipus simbòlic**, totalment allunyades de la similitud pictòrica amb cap element real, i que requereixen d'un maneig del llenguatge científic específic (diagrames energètics i de fase) per part del lector, sense els quals la interpretació canònica de la representació no és possible.

En conclusió, una representació científica com la de la Figura 44 incorpora nivells de representació del món molt variats. Els elements macroscòpics que corresponen al món real són més fàcilment reconeixibles pels estudiants, però també poden ser ambigus i estar subjectes a interpretacions errònies. A més, els diferents elements corresponents al nivell macroscòpic tampoc tenen la mateixa escala entre ells, ja que, per exemple, el termòmetre (1) i el dit (2) compten amb dues escales independents, i per tant, no podem parlar de mides relatives entre dit i termòmetre. Alhora, en base a la representació molecular de la matèria a l'interior del embol (3), serà necessari que el

lector entengui que hi ha molècules dins de l'èmbol no perquè l'exterior no estigui compost per molècules, sinó perquè la representació d'aquestes només incumbeix a una part de la imatge. Totes aquestes qüestions relacionades amb la representació de conceptes científics que entren en contradicció amb els principis gramaticals exposats en l'apartat 2.1 podem anomenar-los “**licències gramaticals**”, ja que és la manera de poder representar conceptes científics que d'altra banda serien impossibles de representar.

Llicències gramaticals en el disseny de representacions visuals científiques

A part de les llicències gramaticals relacionades amb els diferents nivells de representació del món, la complexitat per representar conceptes científics a través d'imatges educatives porta als autors a prendre tota mena de llicències gramaticals, les quals cal identificar i abordar com a tals. El problema apareix quan aquestes llicències gramaticals provenen o bé de l'ús de codis culturalment acceptats o bé per la presència d'errors conceptuals en les representacions. Això succeeix, per exemple, en la representació de **la forma dels elements visuals**. En la representació de l'òrbita terrestre respecte al Sol de la Figura 45 s'utilitza per a la representació de la trajectòria de la Terra una el·lipse que té el Sol en un dels seus focus. Aquesta representació de l'òrbita terrestre a través d'una el·lipse molt més pronunciada que la real (ja que la òrbita de la Terra sobre el Sol és pràcticament una circumferència, amb una excentricitat imperceptible en una representació visual a escala¹⁸) no només no ajuda a entendre les estacions, sinó que pot fomentar concepcions errònies entorn de la distància Terra - Sol com la causa de les estacions de l'any (Atwood i Atwood, 1996; Kikas, 2004).

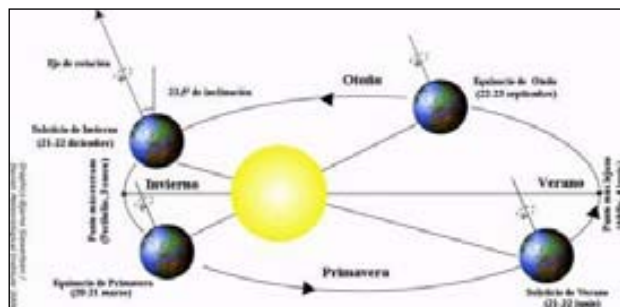


Figura 45. Òrbita terrestre al voltant del Sol, obtinguda de Ares (2009)

També podem trobar llicències semàntiques en **el color dels elements visuals**, especialment quan es fa ús de la seva funció ideacional en comptes de la seva funció textual (Kress i van Leeuwen, 2002). Per exemple, en les dues imatges representades en la Figura 46, captades en una animació educativa que s'utilitza per explicar el comportament vibratori de les partícules d'un sòlid a diferents temperatures, es pot observar com a mesura que el cos s'escalfa les partícules representades amb color blau (Figura 46, esquerra) vibren amb més intensitat i es tornen vermelloses (Figura 46, dreta). Si bé representar el canvi de color amb el canvi de temperatura és un fet comú culturalment (l'associació “blau” amb “temperatura baixa” i “vermell” amb “temperatura alta” és gairebé universal), situar aquest canvi de color directament en les partícules i no en el material pot comportar la concepció de la temperatura com una propietat microscòpica, error conceptual bastament identificat en la literatura (Griffiths i Preston, 1992).

¹⁸ Sabem que la Terra recorre una trajectòria el·líptica al voltant del Sol, però aquesta el·lipse té un afeli de 152,6 milions de quilòmetres i un periheli de 147,5, cosa que correspon a una diferència relativa de menys del 0,7 % (imperceptible a l'ull humà).

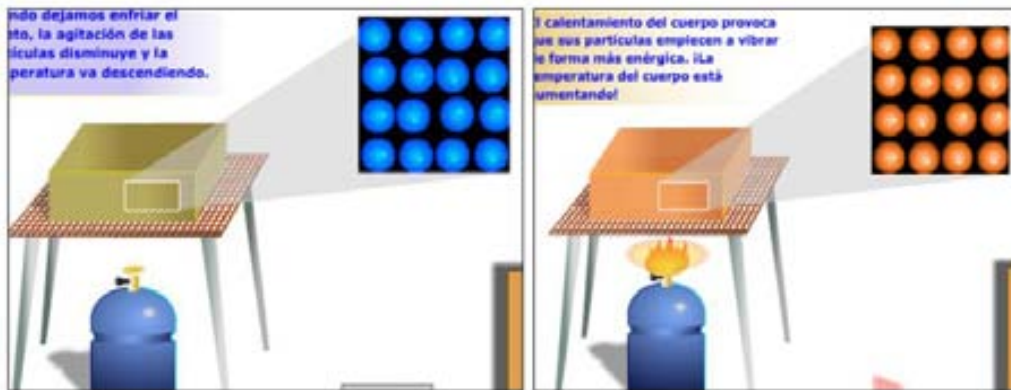


Figura 46. Imatges captades en una animació educativa que s'utilitza per explicar el comportament vibratori de les partícules d'un sòlid a diferents temperatures, obtinguda de <http://www.librosvivos.net/smtc/homeTC.asp?TemaClave=1062>

L'ús d'elements polisèmics en les representacions científiques

Una darrera qüestió identificada en la literatura i que està relacionada amb les especificats del contingut científic és la presència d'elements visuals que tenen significats científics diferents, com ara la presència de fletxes o vectors, assenyalada per Pintó i Ametller (2002). Per exemple, en la imatge científica de la Figura 47 (que correspon a una representació de dues membranes cel·lulars en una solució hipertònica i en una solució hipotònica) s'observa un ús polisèmic de les fletxes. D'una banda, s'utilitzen per representar la relació conceptual de connexió macro - micro (fletxes vermelles verticals), i de l'altra, per representar la narració del desplaçament de les partícules d'aigua (fletxes blaves que travessen la membrana en la representació molecular).

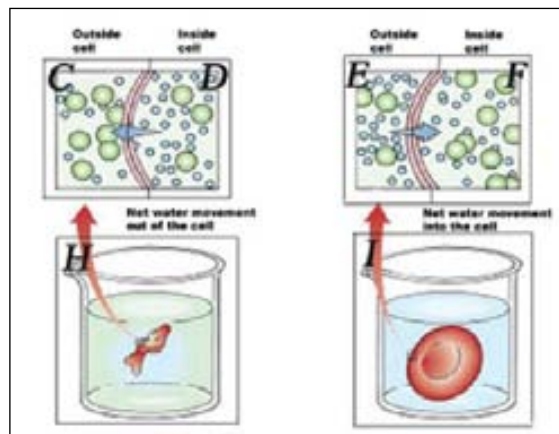


Figura 47. Representació de dues membranes cel·lulars en una solució hipertònica i en una solució hipotònica utilitzada a Cook (2008)

Corol·lari: els reptes de la representació de conceptes científics

Com a corol·lari, la presència de diferents nivells de representació del món en una imatge científica, de llicències gramaticals associades a la necessitat de representar un contingut científic determinat o d'elements polisèmics són qüestions fonamentals en la lectura d'imatges científiques en un context escolar. Per tant, un ús poc acurat de

formes, colors, escales, elements polisèmics, etc., així com la combinació de representacions d'objectes del món real (tant quotidians com tècnics), del món simbòlic (equacions, representacions vectorials, etc.) i dels diferents nivells de representació microscòpics, moleculars, mesoscòpics, etc., poden esdevenir elements problemàtics per a la interpretació d'aquestes imatges científiques. En aquest sentit, Ametller (2009) proposa, en la seva hipòtesi de treball, que si dues imatges són diferents, les idees que representen són també diferents (Figura 48, diagrama de la part superior de la figura), i que per tant, el disseny de representacions visuals (i en aquest cas també la transformació que els professors fan de les imatges, tot i que nosaltres no entrem a abordar aquesta qüestió) és clau per determinar quins són els conceptes físics que es volen comunicar.

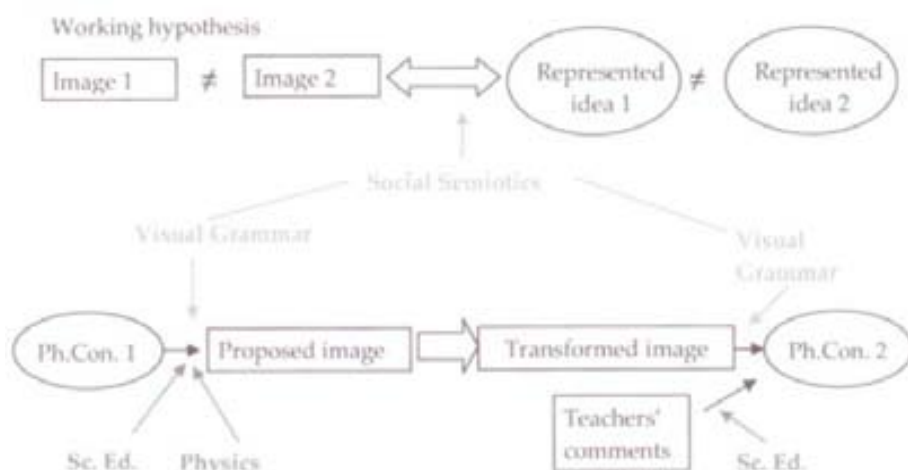


Figura 48. Diagrama de la hipòtesi de treball extreta de la tesi de Ametller (2009).

2.3.2. Les concepcions prèvies en la lectura d'imatges

La segona aportació clau de la didàctica de les ciències que hem considerat necessària per entendre la lectura d'imatges en la seva globalitat es basa en la idea que la observació, i per tant, la lectura, està marcada per les preconcepcions dels lectors. De fet, existeix un consens en qualsevol de les visions i corrents del constructivisme i/o del socioconstructivisme que la percepció humana compta amb condicionants contextuals, motivacionals i de coneixement previ. De fet, Kuhn (1962) ja va afirmar fa mig segle que "*Observation is always theory ladden*", i prèviament, Hanson (1958) havia afirmat que:

"What we see and perceive is not what our senses receive, but is instead filtered sensory information, where the filter is our existing preconceptions - a concept later called a 'thematic framework'."

A més, ja hem discutit prèviament en l'apartat 2.1 com només té sentit parlar d'una gramàtica de les representacions visuals des d'un context sociocultural, i també en l'apartat 2.2 com en la inferència de la imatge mental que el lector es construeix intervé el seu coneixement previ. Exemples d'aquest els trobem en les diferents interpretacions que persones adultes i infants fan de l'obra de Sando del Petre

“*Mesage d’amour des douchins*”¹⁹ (Figura 49, esquerra) o de les diferents interpretacions que els infants argelins i francesos fan del dibuix de Deforge (1991)²⁰ (Figura 49, dreta).

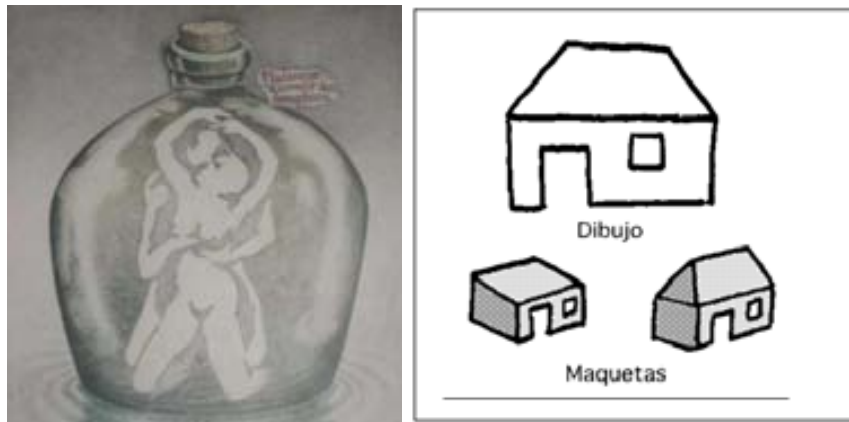


Figura 49. Esquerra: Obra de Sando del Petre que representa alhora una parella despullada i un conjunt de dofins. Dreta: Representació bi-dimensional d’una casa que pot correspondre a dues maquetes tridimensionals diferents, extret de Deforge (1991).

De fet, la idea que la observació està marcada i fortament condicionada per les preconcepcions d’un individu està molt generalitzada, i existeixen expressions com “*you see what you want to see*” o fins i tot “*you see what you can see*” que descriuen aquesta idea. En aquest sentit, Danili i Reid (2004) revisen els models cognitius de Paas et al. (2004) que hem abordat anteriorment²¹ afegint la idea del “filtre perceptual” condicionat per la memòria a llarg termini.

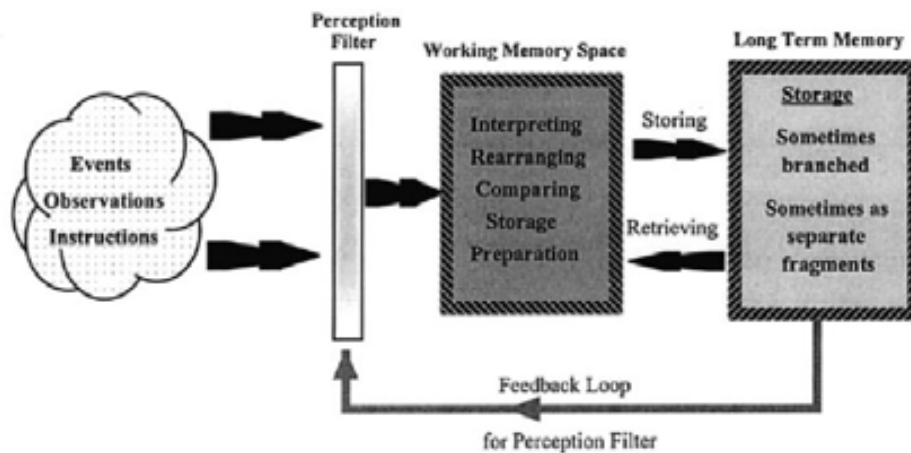


Figura 50. Model de processament de la informació proposat per Danili i Reid (2004).

¹⁹ L’obra “*Mesage d’amour des douchins*” va ser creada per tal que fos interpretada automàticament pels adults com una parella despullada, mentre que pels infants la representació està composta per siluetes de nou dofins.

²⁰ Deforge (1991), que conclou que mentre la majoria d’infants argelins atribuïen a la representació el significat corresponent a la maqueta esquerra, la majoria d’infants francesos li atribuïen el significat de la maqueta de la dreta. És a dir, les preconcepcions sobre com són les cases en cadascuna de les dues cultures (argelina i francesa) condicionava totalment la interpretació que en feien els infants.

²¹ Veure apartats 2.2.1 i 2.2.2., models i processos cognitius de lectura d’imatges.



La idea genèrica de “preconcepcions” pren un sentit molt especial en el camp de la didàctica, doncs fa referència a les idees i les explicacions que elaboren els estudiants sobre processos o fenòmens naturals estan en conflicte o són inconsistents respecte les explicacions acceptades des de la ciència. Segons com es posicionin els investigadors respecte la naturalesa del coneixement científic, es parla de *misconceptions*, preconcepcions, concepcions intuïtives, concepcions alternatives o concepcions espontànies (Driver, Squires, Rushworth, i Wood-Robinson, 1994; Dykstra, Boyle, i Monarch, 1992). Aquestes concepcions espontànies dels estudiants acostumen a tenir un origen sensorial (vinculat a les experiències quotidianes), un origen social (vinculat al llenguatge) o un origen analògic, i són concepcions internament inconsistents i molt dependents del context, però amb un gran poder explicatiu pels estudiants, i això porta a que aquestes concepcions siguin molt resistents al canvi i que interfereixin fortament en la observació. En aquest sentit, Hammer (1996) adverteix que les “*misconceptions*” afecten de forma fonamental a com els estudiants perceben i interpreten el que veuen i escolten, i que per aquest motiu només explicar o ensenyar una idea a un estudiant no és suficient.

En didàctica de la física aquesta relació entre preconcepcions i observació / percepció no s’ha abordat només des de la lectura d’imatges, sinó també en l’observació experimental. Això passa, per exemple, en un experiment de laboratori com el de la Figura 51, on la percepció de la il·luminació d’una o altra bombeta està condicionada per l’expectativa d’un estudiant en que una bombeta estigui més o menys encesa en base a les seves preconcepcions. Així, Park i Kim (1998) expliquen que en experiments amb circuits elèctrics es va trobar que la meitat dels estudiants conservaven les preconcepcions negant els resultats contradictoris als que arribaven, i resultats semblants s’han obtingut amb l’observació del període d’oscil·lació d’un pèndul (Frick, Huber, Reips, i Krist, 2005; Pittenger, 1985).



Figura 51. Bombetes enceses amb diferents graus d’intensitat lumínica. Autor desconegut.

Ara bé, més enllà d’afirmar de forma genèrica que les concepcions prèvies afecten a l’observació, per conèixer específicament com poden afectar les preconcepcions dels estudiants d’ESO a la lectura de les imatges que incumbeixen la nostra recerca (veure simulació A en la Figura 2 i simulació B en la Figura 3, al final del capítol 1), és necessari recórrer a les concepcions alternatives específiques sobre el contingut concret de cada representació visual. En aquest sentit, la literatura en didàctica de les ciències ha construït un camp de coneixement entorn a partir de la contribució de molts autors que han identificat una gran quantitat de concepcions alternatives als models científics que s’ensenyen a les aules de primària, secundària i universitat. En el nostre cas, ens limitarem a discutir breument les concepcions alternatives identificades en la literatura que fan referència específica al contingut científic de les dues simulacions A i B com mostrem en la Taula 2. Evidentment, això no treu que posteriorment (veure capítol 6) fem una anàlisi en profunditat del contingut científic de cada simulació.

Simulació	Representació	Contingut científic:
A		<ul style="list-style-type: none"> - El model cinètic-molecular - La temperatura, els canvis de temperatura, la calor i el treball
B		<ul style="list-style-type: none"> - El corrent elèctric, el potencial elèctric i els circuits elèctrics - Els imants, el camp magnètic i la inducció electromagnètica

Taula 2. Contingut científic de les simulacions A i B.

Concepcions alternatives relacionades amb el contingut específic de la simulació A

La complexitat de pensar en un nivell microscòpic / molecular que hem esmentat anteriorment (Harrison i Treagust, 2002) porta a nombroses concepcions alternatives sobre la relació entre la matèria i les partícules com a elements constituents d'aquesta, i aquest fet ha centrat l'atenció de moltes recerques en la didàctica de la física i de la química. Així, en la literatura trobem, per exemple, l'atribució de propietats macroscòpiques a les partícules com forma, mida, pes, temperatura o color (Linjse, Licht, DeVos, i Waarlo, 1990). També s'ha trobat la concepció que els sòlids (especialment aquells sense una granularitat visible) no estan formats per àtoms (Johnson, 1998; Nakhleh, Samarapungavan, i Saglam, 2005; Nakhleh, Samarapungavan, Saglam i Duru, 2006) o bé que els àtoms estan "incrustats" en la matèria (Griffiths i Preston, 1992; Johnson, 1998; Renstrom, Andersson, i Marton, 1990).

Pel que fa a la relació entre la temperatura i el comportament microscòpic de les partícules, la literatura assenjala concepcions com ara que les partícules no es mouen ni vibren si la matèria que componen està en estat sòlid (Lee, Eichinger, Anderson, Berkheimer, i Blaskeslee, 1993; Novak i Musonda, 1991), i també que no existeix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura d'un cos (AAAS, 2013). També s'han identificat concepcions com ara que el nombre de partícules d'una substància augmenta amb l'increment de temperatura (Herrmann-Abell i DeBoer, 2008) o bé que el que augmenta és la mida de cada partícula (AAAS, 2013) i fins i tot que la matèria es destrueix durant l'evaporació i les partícules desapareixen (Osborne i Cosgrove, 1983).

Altres concepcions que cal assenyalar referents a la temperatura són la concepció que quan un cos es refreda, la temperatura baixa per si sola per arribar a la temperatura "natural" (Wiser, 1995); i també que la calor està composta per "partícules de calor" (Berkheimer, Anderson, Lee, i Blaskeslee, 1988).

Concepcions alternatives relacionades amb el contingut específic de la simulació B

Tenint en compte el contingut de la simulació B, hem recollit algunes de les concepcions alternatives relacionades amb els circuits elèctrics i amb el magnetisme i la inducció electromagnètica.

Dins de la gran varietat de concepcions relacionades amb els circuits elèctrics, en la literatura podem trobar una gran varietat d'idees intuïtives de corrent elèctric (Cosgrove, Osborne, i Carr, 1985). Així, trobem el model d'atenuació, on l'electricitat

es va “gastant” al llarg del circuit; el model de circuit unipolar; o la concepció que hi ha dos corrents que circulen des de la font fins al receptor (Driver et al., 1994; McDermott i Shaffer, 1992; Shipstone, 1988). També trobem la concepció seqüencial de circuit, en el que el corrent elèctric va recorrent un per un els elements del circuit (Closset, 1983), que es recolza en les experiències quotidianes d'un flux que circula de forma seqüencial, i la concepció que només el voltatge positiu afecta als elements del circuit amb corrent AC o bé que els voltatges positius i negatius “es cancel·len” (Holton i Verma, 2011; Psillos, Koumaras, i Valassiades, 1987).

Respecte la naturalesa de les interaccions magnètiques i, més concretament, la inducció electromagnètica, la literatura també assenyala algunes concepcions alternatives a tenir en compte en la nostra recerca. Així, s'ha detectat la dificultat per concebre una acció a distància que porta els estudiants a concebre la inducció com una interacció de contacte (Guisasola, Almudi, i Zuza, 2013; Thong i Gunstone, 2008), i també s'ha identificat la dificultat per diferenciar entre camp magnètic, flux de camp magnètic (que travessa la bobina) i canvi de flux magnètic, i fins i tot la confusió entre el flux que travessa una bobina i el flux que travessa un circuit (Albe, Venturini, i Lascours, 2001; Maloney, O'Kuma, Hieggelke, i Van Heuvelen, 2001). A més, tot i que molts estudiants arriben a explicar la inducció electromagnètica, la literatura també assenyala la dificultat dels estudiants per donar exemples d'inducció electromagnètica amb significat físic (Mauk i Hingley, 2005; Thong i Gunstone, 2008). Finalment, pel que fa a les línies de camp magnètic (les línies de força), la literatura revisada assenyala la concepció de que les línies de camp són objectes reals (Thong i Gunstone, 2008) o bé que la intensitat del camp va augmentant al llarg de la línia de camp (HESTEM, 2011).

2.3.3. Els raonaments espontanis en la lectura d'imatges

Després d'haver abordat les especificitats del contingut científic en les representacions visuals que apareixen en les simulacions educatives de física, i després d'haver discutit les principals concepcions alternatives identificades en la literatura, és necessari abordar un darrer factor que intervé també en la lectura d'imatges científiques: els raonaments espontanis dels estudiants.

Tot i ser un tema de gran complexitat, la definició de “*raonaments espontanis*” definida per Viennot (1979), i posteriorment desenvolupada en profunditat en el “*Raisonner en physique. La part de sens commun*” (Viennot, 1996) aporta llum a aquesta qüestió, definint els raonaments que es produeixen durant la comprensió conceptual de la física i contraposant-los amb el sentit comú. Per Viennot (1996), el fet que la ciència treballi amb magnituds físiques implica un procés d'abstracció en el que es construeixen conceptes que no sempre es dona, i que fa que les nocions familiars del sentit comú tot i que perdin utilitat en el raonament científic es mantenen en molts estudiants. Una altra aproximació als raonaments espontanis és la que proposa diSessa (1983) diSeessa (1983), que defineix com les explicacions intuïtives, subjacents, falses i persistents anomenades “*primitius fenomenològics*” (p-prims).

Per Viennot (1996; capítol 2), els estudiants tendeixen a atribuir existència material als objectes abstractes i interaccions de la física (com ara un raig de llum, el color, l'ombra, una força, una línia de camp elèctric o magnètic, etc.), i per tant, a cosificar i substancialitzar aquests conceptes. A més, segons Perales i Jiménez (2002), aquest fet es pot veure reforçat per l'equiparació dels plans de representació realista i simbòlic en les imatges dels llibres de text, i per Georges Olympou, Zacharia, i de Jong (2012) succeeix quelcom semblant amb la combinació d'objectes reals i imaginaris en les simulacions de física. En paral·lel, Viennot (1996) afirma que els estudiants també poden atribuir tendències, virtuts i característiques antropomòrfiques a aquests

objectes de la física, algunes de les quals Griffiths i Preston (1992) identifiquen com la posició animista.

Un altre element que apareix destacat en la literatura és el raonament causal lineal, que segons Viennot (1996, capítols 5 i 10) està estretament lligat a la narració de “*i més endavant...*” dels contes i històries, i prové de la dificultat de raonar en termes de simultaneïtat. Aquest raonament, basat en una successió d'esdeveniments de tipus “*Succeeix A -> Succeeix B -> Succeeix C -> Succeeix D...*”, apareix en les explicacions dels estudiants en circuits elèctrics (Closset, 1983) o en el comportament dels gasos (Roizer, 1988). De fet, Viennot (1996) discuteix sobre els tres tipus de caràcter que poden tenir les explicacions dels estudiants: lògic, intermedi i cronològic, tal com hem exposat en la Taula 3.

	Francès	Anglès	Castellà	Català
Lògic	<i>donc</i>	<i>therefore</i>	<i>por eso</i>	<i>per tant</i>
Intermedi	<i>alors</i>	<i>then</i>	<i>entonces</i>	<i>llavors</i>
Cronològic	<i>ensuite</i>	<i>later on</i>	<i>después</i>	<i>després</i>

Taula 3. Diferents llengües, la mateixa variació de significat.

Una altra contribució a la idea dels raonaments espontanis la proposa Pozo (1973, citat a Pozo i Gómez, 1998), en la que assenyala que algunes de les regles que regeixen el pensament causal quotidià són la semblança entre causa i efecte, la contigüïtat espacial (i molt especialment el contacte físic), la contigüïtat temporal dels esdeveniments i la covariació qualitativa i quantitativa entre variables, essent tots ells mecanismes espontanis que permeten estalviar recursos cognitius.

Ahora, altres raonaments identificats en la literatura i que podem considerar com estretament relacionats amb la lectura d'imatges són, per exemple, la tendència a la simplificar la informació, incorporar explicacions obtingudes de l'experiència quotidiana per a la interpretació d'imatges o linealitzar i discretitzar els gràfics matemàtics (Leinhardt, Zalavsky, i Stein, 1990), la tendència espontània a relacionar diferents atributs a diferents formes (Estrada, 1991), o la tendència a substituir les imatges per altres representacions visuals amb una similitud, al que Pintó i Ametller (2002) anomenen homonímia. Un exemple d'**homonímia** el podem trobar en la Figura 52, que tot i la gran semblança visual, tenen significats completament diferents²².

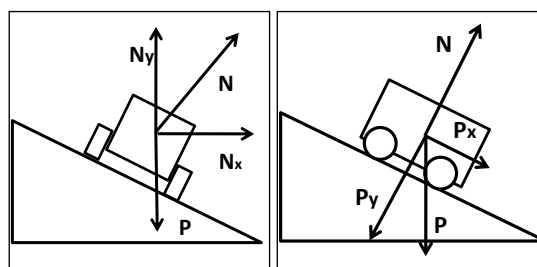


Figura 52. Representació vectorial de les forces que actuen sobre un vehicle en una corba amb peralt i en un pla inclinat. Extretes de López i Pintó (2011).

²² Mentre la representació de l'esquerra correspon a un diagrama de forces en un vehicle que es desplaça per un pla inclinat, la representació de la dreta correspon al diagrama de forces en la secció transversal d'un vehicle que es mou amb una corba amb peralt. Si bé ambdues representacions tenen significats diferents (representen situacions diferents amb comportaments diferents i amb diferents eixos de coordenades) comparteixen alguns elements visuals semblants (com els vectors o la forma del triangle rectangle)

Capítol 3. Objectius i preguntes de recerca

Com hem presentat en el capítol 1, l'interès que ens ha portat a aquesta recerca és el conèixer les dificultats de lectura que apareixen quan es demana als alumnes de secundària que interpretin dues simulacions educatives de física especialment dissenyades per a estudiants d'aquest nivell escolar, i també saber si la interpretació que els estudiants fan d'aquestes representacions visuals correspon o no amb els continguts científics de la simulació que el seu dissenyador havia volgut comunicar a través del seu disseny visual.

Per poder conèixer aquesta lectura de les imatges presents en aquestes simulacions educatives, al llarg del capítol 2, hem analitzat la lectura d'imatges des de diferents perspectives, i això ens ha permès identificar una gran varietat de factors i elements que intervenen en el procés de lectura, tant des del punt de vista semiòtic com psicològic, així com el conjunt d'implicacions didàctiques que acompanyen la lectura de simulacions de física. Moltes de les contribucions a la literatura assenyalades en aquest capítol 2 permeten afirmar que la lectura d'imatges científiques duta a terme per estudiants de secundària no és un procés simple ni automàtic, i que existeixen aspectes particulars que els estudiants han de saber llegir i descodificar per interpretar adequadament el significat de la imatge i de tots els seus elements. Alhora, nombrosos autors en la literatura destaquen la idea de que poden existir elements, situacions, raonaments espontanis i altres factors interns i externs que poden actuar com a obstacles per a la interpretació. En alguns casos en la literatura s'ha parlat explícitament de "dificultats de lectura" (Ametller i Pintó, 2002; Bourcheix i Lowe, 2010; Carolus, 2009; Colin et al., 2002; Pintó i Ametller, 2002; Jiménez i Perales, 2002; Jiménez, 1998; Perales i Jiménez, 2004; Sierra, 2005; Ploetzner et al., 2006; Stelzer et al., 2009; Trinidad, Filhais, i Almeida, 2002). En altres casos, tot i que no es parla obertament de dificultats de lectura, s'han assenyalat les limitacions i els riscos d'un o altre tipus de representació, als quals també podríem associar una dificultat de lectura. Per tots aquests motius, partint de les definicions de "lectura d'una imatge" i de "lectura canònica d'una imatge" que hem presentat a l'inici del capítol 2 podem establir la següent definició:

Dificultat en la lectura d'una imatge: *Situació, factor o procés que actua com a obstacle en la lectura d'una imatge i que impedeixen que la interpretació sigui canònica.*

En paral·lel, si l'interès de la recerca és conèixer quines són aquestes dificultats de lectura, serà necessari, abans d'analitzar les dificultats de lectura, establir què és exactament el que entenem per la lectura canònica de les representacions de les simulacions A i B. Això ens porta a haver de conèixer a fons com són aquestes simulacions, és a dir, a definir i explicitar què caldria per que un estudiant d'ESO les llegís adequadament. Basant-nos en la proposta d'Ametller i Pintó (2002), que a través de la pregunta de recerca "*What are special requirements needed to interpret the document?*" van estudiar els aspectes visuals que l'alumne havia de poder llegir adequadament per comprendre canònicament un seguit d'imatges, hem anomenat aquesta idea de "què caldria per que un estudiant llegís adequadament..." com a "requeriments de lectura", i ho definim com:

Requeriment de lectura d'una imatge: *Existència d'una tasca associada a la lectura d'una imatge (identificació, relació, connexió, distinció, etc.) que el lector ha de realitzar per tal que la interpretació d'aquesta imatge sigui canònica.*

Per tant, considerarem un requeriment per a la lectura de les simulacions A i B com una condició necessària (tot i que no suficient) per tal que el lector pugui interpretar-les canònicament, i partirem de la premissa que aquests requeriments de lectura de les

simulacions A i B es poden determinar a partir d'una anàlisi rigorosa i sistemàtica de les simulacions pròpiament dites.

En darrer lloc, un cop establerts els requeriments de lectura necessaris per interpretar adequadament les dues simulacions i, per tant, tenint en compte els conceptes representats en cada simulació, estarem en disposició d'identificar quines explicacions fetes pels estudiants són errònies des del punt de vista d'aquests conceptes. Això ens permet relacionar cada dificultat de lectura identificada amb les explicacions errònies resultat d'aquesta lectura.

A partir del que hem exposat fins al moment, podem dir que partim de les següents **premisses**:

- Tota simulació educativa de física serveix per representar un conjunt de conceptes científics, doncs ha estat dissenyada amb aquesta finalitat. A més, els autors de la simulació en qüestió han dissenyat la representació visual de la simulació d'una manera i no d'una altra buscant que sigui el màxim de comprensible pels estudiants als quals va adreçada.
- Quan un alumne llegeix la imatge d'una simulació, no existeix una única manera d'interpretar els elements visuals que apareixen, ja que existeixen regles de lectura que el lector no té per què seguir i, a més, que cada lector té la seva experiència, les seves preconcepcions, els seus raonaments i les seves habilitats particulars. Per tant, i basant-nos en la literatura, durant el procés de lectura poden aparèixer dificultats per interpretar canònicament el contingut d'aquestes simulacions.
- Si un estudiant no interpreta canònicament un element visual (pel motiu que sigui) l'explicació que pugui donar sobre els conceptes que apareixen representats divergirà en major o menor mesura amb la explicació que hauria donat si la lectura hagués sigut canònica.

3.1. Objectius de la recerca

Així doncs, a partir de les definicions anteriors, i basant-nos en aquest conjunt de premisses recentment exposades, els objectius de recerca queden definits de la següent manera:

- O1.** Conèixer tant les característiques visuals de les simulacions A i B com el seu contingut conceptual representat, per així poder identificar quins són els requeriments de lectura que haurien de permetre als estudiants d'ESO interpretar les dues representacions visuals de forma canònica.
- O2.** Identificar i analitzar les dificultats de lectura que intervenen quan un conjunt d'estudiants de 3r i 4t d'ESO proven d'interpretar aquestes dues simulacions a partir de la seva visualització.
- O3.** Identificar i analitzar les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats en la simulació A i B) que donen els estudiants quan es troben amb dificultats de lectura.

3.2. Preguntes de recerca

Per assolir cadascun d'aquests tres objectius, les preguntes de recerca que formulem respectivament són:

P1. *Com són les simulacions A i B des del punt de vista visual, quins conceptes apareixen representats i quins requeriments de lectura calen per interpretar-les?*

P2. *Amb quines dificultats de lectura es troben els estudiants de 3r i 4t d'ESO al llegir les representacions visuals de les simulacions A i B?*

P3. *Quines són les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats) que donen aquests estudiants quan es troben amb les dificultats de lectura identificades?*

3.3. Consideracions generals sobre la naturalesa de la recerca plantejada

Un cop presentats els objectius i les preguntes de recerca d'aquesta investigació és necessari presentar varies consideracions generals que afecten al conjunt del disseny experimental, i que per tant, és important tenir en compte abans d'endinsar-nos en la presentació de la metodologia i de l'anàlisi dels resultats que s'ha seguit en cada apartat (Seccions II, III i IV respectivament).

En primer lloc, cal tenir en compte que en cap de les tres preguntes anteriors s'entra a discutir o analitzar l'aprenentatge dels estudiants durant el procés de lectura. En tot moment parlem i parlarem de lectura d'imatges i de les explicacions que els estudiants donin arrel d'aquesta lectura, però no discutirem ni analitzarem en cap cas si els estudiants que participen en la nostra recerca aprenen o no durant el procés de lectura d'imatges. Hem volgut apartar aquesta qüestió de l'abast teòric i metodològic d'aquesta investigació perquè entenem que l'aprenentatge és un procés molt més complex, que en cap cas es pot situar en els escassos 20 minuts que dura la nostra relació i interacció amb cadascun dels estudiants participants. Així, intentar relacionar el que llegeixen els estudiants amb el que aprenen ha estat l'objectiu d'altres recerques en el camp en les que s'ha abordat l'aprenentatge mediat a través de les simulacions (Sierra, 2005; Parnafes, 2007), però no serà l'objectiu de la nostra recerca.

En segon lloc, al destacar que els objectius de recerca **O2** i **O3** busquen conèixer l'existència de dificultats, no la seva prevalència. La metodologia d'investigació adoptada en aquest estudi, per tant, serà qualitativa, ja que pretenem dur a terme un estudi de diagnòstic sobre l'existència de dificultats de lectura (STTIS, 1998), i no pas una recerca sobre la freqüència amb que aquestes dificultats apareixen, que escapa totalment de la voluntat del treball.

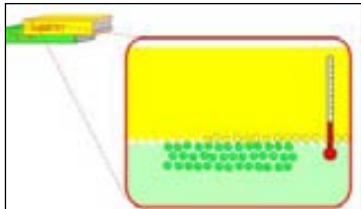
Finalment, una darrera consideració necessària està relacionada amb l'obtenció de dades. De fet, per conèixer a fons com els estudiants d'ESO llegeixen unes simulacions educatives serà necessari una entrevista particular a cadascun d'ells. Ara bé, això ens obligarà a treure els alumnes de la seva aula, i per tant, es trobaran en un context (entrevistador desconegut, càmera de vídeo enfocant-los, etc.) que difereix força del context d'aula. Ara bé, entenem que aquesta és la manera més directa de

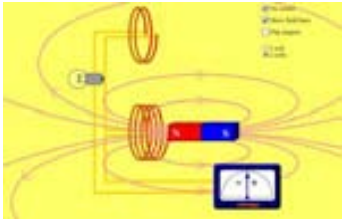
conèixer les dificultats de lectura, i assumirem les limitacions que això comporta. Per aquest motiu, en l'apartat 8.3 (Metodologia de la Secció III) reprendrem aquesta qüestió per assenyalar les limitacions de la recollida de dades. A més, en l'apartat de conclusions també recuperarem aquestes qüestions (apartat 15.1 de la Secció V) per fer-ne una revisió crítica un cop haguem presentat i discutit tots els resultats de les Seccions II, III i IV.

3.4. Fitxes tècniques de les simulacions A i B

Finalment, abans d'endinsar-nos en la recerca que presentem en els capítols posteriors, i a l'espera d'una anàlisi en profunditat en la Secció II, hem volgut presentar dues breus fitxes tècniques de cadascuna de les dues simulacions, per tal que el lector d'aquest document tingui un mínim coneixement de quines són exactament les simulacions A i B de les que hem parlat fins al moment.

En cada fitxa incloem una breu descripció de cada simulació i les característiques tècniques més rellevants de cadascuna a partir de la informació que hem recollit de la plataforma PhET on estan allotjades.

Fitxa tècnica de la simulació A	
<p>Nom de la simulació: <i>Friction.</i></p> <p>Autors: Michael Dubson i Carl Wieman</p> <p>Adreça de contacte: michael.dubson@colorado.edu</p> <p>Any que va ser feta: 2007</p> <p>Versió utilitzada: 2.03 (any 2012)</p>	
<p>Breu descripció de la simulació:</p> <p>La simulació A tracta la fricció entre les superfícies de dos llibres que es mouen un respecte l'altre, i ho fa utilitzant la representació de les partícules que componen aquestes superfícies. Segons es representa en la simulació, són dos els fenòmens que es produeixen durant aquest fregament són l'escalfament de les superfícies (que es representa a través de la vibració de les partícules i també a través d'un termòmetre) i també l'erosió d'aquestes superfícies (que es representa a través de la sortida d'algunes de les partícules).</p>	
<p>Adreça des d'on es pot descarregar: http://phet.colorado.edu/en/simulation/friction</p>	
<p>Tipus d'execució de la simulació: La simulació pot executar-se online (des del navegador) i també pot descarregar-se i executar-se offline</p>	
<p>Idiomes en que està disponible: 43 idiomes, incloent-hi anglès i castellà.</p>	
<p>Software que necessita per funcionar: <i>Macromedia Flash 9</i> o posteriors.</p>	
<p>Temàtica que aborda (segons la explicació a la web de PhET): <i>Friction, thermodynamics, heating</i></p>	
<p>Objectius d'aprenentatge descrits a la web de PhET:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Describe a model for friction at molecular level.</i> - <i>Describe matter in terms of molecular motion. The description should include: diagrams to support the description, how the particle mass and temperature affect the image, what are the differences and similarities between solid, liquid and gas particle motion; how the size and speed of gas molecules relate to everyday objects.</i> 	

Fitxa tècnica de la simulació B	
<p>Nom de la simulació: <i>Faraday's Law.</i></p> <p>Autors: Michael Dubson i Trish Loeblein</p> <p>Adreça de contacte: michael.dubson@colorado.edu</p> <p>Any que va ser feta: 2008</p> <p>Versió utilitzada: 2.02 (any 2012)</p>	
<p>Breu descripció de la simulació:</p> <p>La simulació B tracta la inducció electromagnètica que es produeix en una bobina (connectada a un circuit elèctric) a partir del moviment d'un imant. El corrent elèctric induït en el circuit es visualitza mitjançant la il·luminació d'una bombeta i a partir del moviment de l'agulla d'un voltímetre. La simulació també permet visualitzar les línies de camp magnètic al voltant de l'imant, i per tant, com el nombre de línies de camp que travessen l'interior de la bobina.</p>	
<p>Adreça on es pot descarregar: http://phet.colorado.edu/en/simulation/faradays-law</p>	
<p>Tipus d'execució de la simulació: La simulació pot executar-se online (des del navegador) i també pot descarregar-se i executar-se offline</p>	
<p>Idiomes en que està disponible: 43 idiomes, incloent-hi anglès, català i castellà.</p>	
<p>Software que necessita per funcionar: <i>Macromedia Flash 9</i> o posteriors.</p>	
<p>Temàtica que aborda (segons la explicació a la web de PhET): <i>Faraday's Law, Magnetic Field, Magnets</i></p>	
<p>Objectius d'aprenentatge descrits a la web de PhET:</p> <ul style="list-style-type: none"> - <i>Explain what happens when the magnet moves through the coil at different speeds and how this affects the brightness of the bulb and the magnitude and sign of the voltage.</i> - <i>Explain the difference between moving the magnet through the coil from the right side versus the left side.</i> - <i>Explain the difference between moving magnet through the big coil versus the smaller coil.</i> 	

Capítol 4. Justificació de la unitat temàtica de la tesi

Més enllà de la motivació de la recerca estrictament acadèmica expressada en el capítol 1, i que posteriorment hem concretat en forma d'objectius i de preguntes de recerca en el capítol 3, també existeix una justificació de la unitat temàtica de la tesi que té un caràcter personal i contextual. Per aquest motiu, hem volgut dedicar aquest darrer capítol de la Secció I a presentar i justificar l'elecció d'aquesta temàtica i de l'enfocament que hem triat. En primer lloc presentem el projecte REVIR i les dues seqüències didàctiques en les quals apareixen les dues simulacions A i B en les que hem centrat l'atenció d'aquesta tesi doctoral. En segon lloc, presentem la motivació personal de com, a partir de l'experiència del REVIR, ha anat sorgint la necessitat d'aprofundir en entendre els processos d'interpretació que fan els estudiants quan llegeixen aquestes simulacions educatives.

4.1. La visualització de simulacions en el marc de les pràctiques de la laboratori del projecte REVIR

El REVIR (el nom del qual prové de l'acrònim de "Realitat i Virtualitat") és un projecte impulsat i promogut pel Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (CRECIM) des del 2003. Consisteix en un sistema de visites a un laboratori informatitzat situat en les instal·lacions de la UAB que realitzen grups-classe d'estudiants dels diferents cursos de secundària d'instituts de tot Catalunya. Durant les visites a aquest laboratori informatitzat, que duren aproximadament les 4 hores d'un matí en dia lectiu, els alumnes s'agrupen en equips de treball de 3 o 4 persones i realitzen una sessió de treball experimental de física, química o biologia. Tant la distribució de l'espai destinat a aquest treball experimental, com les eines informàtiques amb què està dotat el laboratori (ordinadors, captadors de dades, pissarra digital, xarxa Wi-fi per connectar les consoles als ordinadors, etc.) i la pròpia seqüenciació de les activitats proposades als estudiants conformen un entorn especialment adaptat per realitzar un treball experimentat de qualitat, en el que els estudiants han de respondre a una senzilla pregunta de recerca de rellevància social i científica que se'ls proposa.



Figura 53. Fotografia on apareixen grups d'estudiants al laboratori del REVIR.

El projecte REVIR és, d'una banda, un projecte de transferència de la recerca en didàctica de les ciències cap a alumnes i professors de secundària, i de l'altra, un viver per a promoure innovacions i recollir dades de noves recerques. Així, des de la seva funció de transferència del coneixement, les pràctiques que s'ofereixen als centres són seqüències d'ensenyament i aprenentatge on s'apliquen molts dels principis i plantejaments provinents de la recerca en didàctica, ja sigui la promoció d'una interacció dialògica dins del laboratori (Hennessy et al., 2006), la indagació enriquida a

partir de les TIC (Hennessy, Wishart, i Whitelock, 2007; Pintó et al., 2010) o l'autoregulació i els aspectes metacognitius (Gunstone i Northfield, 1994; Hart, Mulhall, Berry, Loughran, i Gunstone, 2000). D'altra banda, des de la seva vessant de viver per la innovació, la recollida de dades i el refinament iteratiu de seqüències didàctiques, el projecte REVIR ha permès dur a terme nombroses recerques sobre diferents aspectes del procés d'ensenyament i aprenentatge dels estudiants i innovacions entorn de nous continguts o nous enfocaments didàctics (Feliu, 2006; Grimalt-Álvaro i Pintó, 2013; López i Artigas, 2012; López i Pintó, 2012; Rios i Pintó, 2013; Tortosa, 2008).

La major part de la quinzena de sessions de treball que s'ofereixen als centres de secundària (amb pràctiques destinades des de 1r d'ESO fins a 2n de Batxillerat, i on s'inclouen continguts del currículum molt variats, com biodiversitat, reaccions químiques, cinemàtica o radioactivitat) inclouen en algun punt o altre de la seqüència l'ús de simulacions, les quals permeten als estudiants comparar els resultats dels experiments reals que fan amb els dispositius del laboratori amb els resultats dels experiments virtuals que realitzen a través de la simulació. D'aquestes sessions de treball en les que en algun moment de la seqüència es proposa als estudiants que visualitzin una simulació, hi ha dues que inclouen les dues simulacions A i B en les quals hem centrat la recerca d'aquesta tesi doctoral, i que presentem a continuació. Els guions d'aquestes dues pràctiques i el material del professor (amb una explicació didàctica en profunditat del perquè del seu disseny) es troben en l'Annex 2 d'aquesta memòria.

4.1.1. La simulació A en la pràctica “EN. Dissipació de l'energia per fregament”.

La pràctica “*Dissipació de l'energia per fregament*”, habitualment anomenada simplement EN (acrònim de “Energia”), dissenyada durant el curs 2010-11, constitueix una seqüència didàctica pensada per ajudar als estudiants de 4t d'ESO a construir una visió energètica del món, que els permeti entendre què és una cadena energètica, i perquè en les cadenes energètiques l'energia que al principi era útil al final ja no ho és tant, i sovint acaba completament degradada i dissipada. Per fer-ho, la seqüència centra l'atenció dels estudiants en com s'escalfa i com es refreda una peça de coure situada en la superfície de contacte entre un fre hidràulic i una roda de bicicleta que els estudiants han d'aturar a través del fre (Figura 54). Als estudiants se'ls proposa mesurar la temperatura d'aquesta placa de coure abans, durant i després del fregament amb la roda, enregistrant a temps real l'escalfament i el refredament del coure amb un sensor de temperatura i observant el gràfic de temperatura vs temps obtingut.

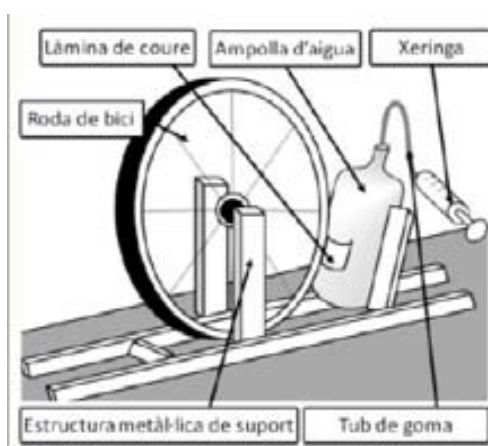


Figura 54. Muntatge experimental de la pràctica EN.

Després de realitzar l'experiment real, es demana als estudiants visualitzar la simulació A "Fricció" que, com veurem en els propers capítols, explica el comportament a nivell microscòpic i mesoscòpic de dues superfícies al ser fregades. D'aquesta manera, a través de la combinació de l'experiment real que enregistra la variació de temperatura durant el fregament i de l'experiment virtual que reproduïx el comportament de les partícules dels materials fregats, es pretén que els alumnes relacionin el fregament i l'escalfament a nivell microscòpic, arribant a copsar la idea que els materials fregats s'escalfen perquè les partícules que els conformen pateixen col·lisions entre elles, i aquestes a la seva vegada provoquen un augment de la vibració mitjana d'aquestes, la qual representa a nivell macroscòpic un augment de la temperatura.



Figura 55. Estudiants visualitzant la simulació A en una sessió de treball REVIR en la pràctica EN.

A més, en la simulació A també es pot observar com, al deixar de fregar les dues superfícies, els materials escalfats tornen a refredar-se i recuperar la seva temperatura inicial (que correspon a la temperatura ambient), igual com li succeeix al coure que ha estat fregat amb la roda de bicicleta.

4.1.2. La simulació B en la pràctica "EL1. Generació d'electricitat".

La pràctica "*Generació d'electricitat*", habitualment anomenada simplement EL1 (acrònim de "Electricitat"), dissenyada durant el curs 2011-12, constitueix una seqüència didàctica pensada per ajudar als estudiants de 3r i de 4t d'ESO a construir un model d'inducció electromagnètica com a resultat de la interacció entre un imant i una bobina connectada a un circuit elèctric. Per fer-ho, la seqüència es basa en un conjunt d'experiències pràctiques que conformen una progressió, en la que inicialment els estudiants han d'identificar materials conductors / aïllants, després identificar materials magnètics / no magnètics, posteriorment trobar sota quines condicions un imant pot generar corrent elèctric sobre un conductor i finalment analitzar quines són les variables que fan que el corrent elèctric induït sobre una bobina sigui major o menor.

Al llarg de la seqüència es proposa als alumnes utilitzar un sensor de voltatge connectat entre els extrems d'una bobina, que envia les dades del voltatge mesurat a un ordinador que les representa a temps real a través d'una gràfica de voltatge vs temps. Una de les experiències més rellevants de la seqüència és la que presentem en la Figura 56, en la que els estudiants han de llançar un imant de neodimi per l'interior d'un tub de plàstic que travessa l'interior d'una bobina. Els estudiants poden modificar (a) la intensitat del camp magnètic de l'imant (llançant imants de major o menor mida), (b) la velocitat de l'imant al travessar la bobina (llançant els imants des de més o menys altura) i (c) el nombre d'espores de la bobina (intercanviant bobines que van des de 400 fins al 1800 espores).



Figura 56. Muntatge experimental de la pràctica EL1.

Després de realitzar aquesta experiència es demana als estudiants visualitzar la simulació B “Llei de Faraday”, que com veurem en els propers capítols, pretén ajudar als estudiants a establir les relacions entre aquestes diferents variables (velocitat de l’imant, nombre d’espines de la bobina, etc.). A més, a diferència de l’experiment real, els alumnes poden visualitzar en la simulació B les línies de camp magnètic que entren i surten de l’imant, la presentació de les quals pretén en teoria portar als estudiants a una comprensió no només fenomenològica de la inducció sinó també formal, és a dir, en termes del nombre de línies de camp que travessen l’interior de la bobina.

4.2. La motivació personal d'aprofundir en entendre què és el que els estudiants interpreten a partir de la lectura de les simulacions

La meua implicació personal des de mitjans de 2009 fins a l'actualitat en el projecte REVIR com a professor de les diferents sessions, així com la meua dedicació en el disseny de les noves pràctiques (com a autor i co-autor de les dues pràctiques EN i EL1 descrites anteriorment) han estat determinants a l'hora de triar la unitat temàtica de la tesis doctoral. Ser professor d'una sessió de treball del REVIR davant de 20 o 30 alumnes fent experiments i resolent qüestions implica estar pendent de moltes qüestions alhora, com ara intentar explicitar els coneixements previs de cada alumne, resoldre dubtes, gestionar la interacció a l'aula, promoure la participació de tots els estudiants, etc., i fins i tot resoldre els problemes tècnics derivats de la connexió a Internet o del funcionament dels sistemes de captació de dades. Això, moltes vegades, ens fa als professors del REVIR relegar involuntàriament la interpretació amb deteniment de les simulacions que s'utilitzen en les seqüències didàctiques a una visualització superficial per part dels estudiants. Des que vaig entrar a participar del projecte REVIR en diverses situacions vaig trobat personalment a faltar el poder dedicar atenció i abordar amb deteniment quina era la veritable interpretació que els estudiants feien d'aquestes simulacions, motiu pel qual vaig decidir focalitzar aquesta recerca en la lectura de les imatges que apareixen a les simulacions educatives de física.

Per acabar, és també cert que la unitat temàtica triada en aquesta tesi tampoc es podria explicar sense el meu interès personal pel llenguatge visual en general, així com el meu interès particular per la simbologia, la heràldica, la cartografia i els sistemes digitals de representació de dades.

SECCIÓ II: Estudi de les simulacions i dels seus requeriments de lectura

En la Secció II estudiarem les simulacions A i B i els seus requeriments de lectura, per així respondre la pregunta de recerca **P1**:

P1. *Com són les simulacions A i B i quins requeriments de lectura impliquen?*

Aquesta secció consta dels següents capítols:

- Capítol 5: Metodologia per a l'estudi de les simulacions
- Capítol 6: Estudi de la simulació A
- Capítol 7: Estudi de la simulació B

Capítol 5. Metodologia per a l'estudi de les simulacions

La pregunta de recerca **P1** que ens proposem respondre en aquesta secció II és:

P1. *Com són les simulacions A i B i quins requeriments de lectura impliquen?*

Per poder respondre òptimament aquesta pregunta, l'hem dividida en tres noves preguntes. En primer lloc, partint de la base que les simulacions A i B són dos recursos didàctics especialment dissenyats per a l'ensenyament de les ciències, volem conèixer els conceptes i les relacions conceptuals que els autors de cada simulació han volgut expressar i comunicar a través de la representació:

P1.1. *Quins són el conjunt de conceptes i relacions conceptuals que es representen a través de les simulacions A i B?*

En segon lloc, també volem preguntar-nos sobre les característiques de les representacions visuals que els autors de les simulacions A i B han utilitzat per comunicar el conjunt de conceptes i relacions conceptuals que haguem identificat en P1.1:

P1.2. *Quins són i com són els elements visuals que componen les representacions visuals de les simulacions A i B?*

Finalment, volem identificar els requeriments que un lector ha de complir per llegir can nicament les simulacions A i B, és a dir, per entendre el significat i la funció de cada representació que els autors de les simulacions han volgut comunicar a través del seu disseny.

P1.3. *Quins són els requeriments de lectura per interpretar can nicament les simulacions A i B?*

Per respondre aquest conjunt de preguntes seguirem el disseny metodol gic representat en la Figura 57:

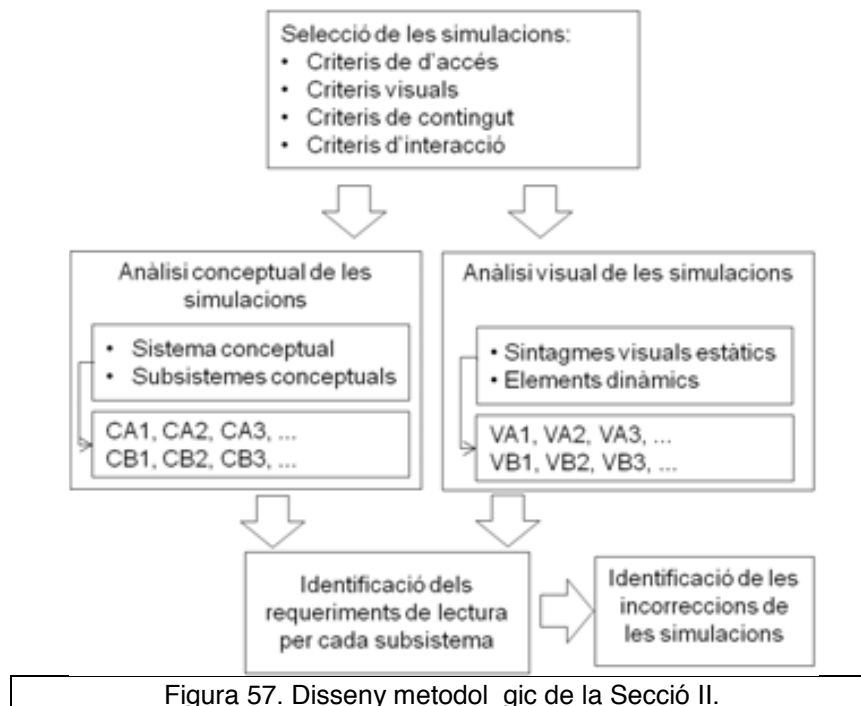


Figura 57. Disseny metodol gic de la Secció II.

En primer lloc, presentarem com s'ha efectuat la selecció de les dues simulacions A i B a partir de diferents criteris: d'accés, de contingut, visuals i d'interacció. Tot seguit, explicarem com s'han analitzat les dues simulacions seleccionades, tant des del punt de vista visual com des del punt de vista conceptual. Posteriorment presentarem el

procediment que s’ha seguit per identificar els requeriments de lectura, i també les incorreccions que s’han identificat en aquestes simulacions. En darrer lloc presentarem els criteris per a la discussió d’aquests requeriments.




5.1. Selecció de les simulacions

La selecció de les simulacions, feta durant els primers mesos de tesi doctoral, es va fer seguint criteris d’origen i accés, criteris de contingut i criteris visuals, tal com presentem al llarg d’aquest apartat.

Criteri d’origen i d’accés

En primer lloc, per seleccionar les simulacions que havíem d’utilitzar en aquesta recerca es va establir com a prerequisit que fossin simulacions accessibles online (és a dir, que no calgués ser descarregades i executades a través de programaris), d’accés fàcil i gratuït (que el seu accés no necessités ni de pagaments ni registrar-se en una web, ni obrir-se un compte, etc.). Alhora, estàvem especialment interessats en seleccionar simulacions que provingués d’un portal web de referència entre el professorat de secundària que utilitza simulacions en les seves classes, assumint que un estudi fet amb simulacions conegudes pels professors seria més significatiu per aquest col·lectiu professional.

A partir d’aquests tres requisits, i a partir de la pròpia experiència de treball amb professors de secundària en el marc del projecte REVIR (veure capítol 4), vam seleccionar tres portals web que posen a la disposició d’estudiants i professors més d’un centenar de simulacions:

	<p>El projecte <i>Physics Educational Technology</i> (PhET) de la Universitat de Colorado (EEUU)</p> <p>www.phet.colorado.edu</p>
	<p>La web de simulacions de Walter Fendt (Alemanya):</p> <p>http://www.walter-fendt.de/ph14d/</p>
	<p>La web “<i>Física con ordenador</i>” de Angel Franco, de la Universitat del País Basc</p> <p>http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica /</p>

Taula 4. Algunes de les webs amb simulacions de física més conegudes i utilitzades pel professorat de secundària.

Criteri de continguts

Davant la gran varietat de temàtiques dins de l’ensenyament de la física que apareixen en simulacions en aquestes tres biblioteques de simulacions (cinemàtica, forces, propietats dels materials, electricitat, magnetisme, llum i òptica, transferència d’energia, física moderna, etc.), calia establir uns criteris clars per seleccionar les simulacions que utilitzaríem al llarg de la recerca. Per fer aquesta selecció, enteníem d’una banda que els continguts representats en les simulacions seleccionades havien de tenir una certa relació amb el **currículum de la ESO** de ciències, ja que són les dificultats dels estudiants d’aquesta etapa educativa les que centren l’interès de la nostra tesi. Al mateix

temps, la lectura per part dels estudiants de les simulacions seleccionades havien de tenir un component interpretatiu, per garantir una major riquesa en el tipus de dificultats que poguéssim trobar. Per aquest motiu, era necessari que el contingut de les simulacions complís dues condicions: ser reconeixible i alhora poc conegut pels estudiants de 3r i 4t d'ESO.

- **Contingut reconeixible:** La simulació havia de tractar una temàtica prou propera als continguts curriculars, de manera que **els elements visuals que hi apareguin** (o una part important d'aquests) **fossin prèviament coneguts** pels la majoria d'estudiants de 14-16 anys. Enteníem que si els elements visuals representaven conceptes científics massa allunyats dels coneixements previs dels participants es produiria una barrera semàntica massa gran, que dificultaria massa la lectura.
- **Contingut poc conegut:** La simulació havia de representar **un fenomen que no s'hagués estudiat explícitament als cursos de l'ESO**, per evitar un excessiu coneixement sobre el fenomen en sí. Enteníem que un coneixement previ molt fonamentat i consolidat del contingut representat en una simulació podia disminuir i inhibir el component interpretatiu de la lectura, ja que els participants es limitarien a fer una explicació del fenomen (i no de la representació) en base al seu coneixement previ.

Tant la simulació A com la B compleixen aquesta doble condició. En la simulació A veiem que tots els elements conceptuals que conté han estat estudiats en el 1r cicle de la ESO, ja que a 1r s'estudien **els materials, i el model cinètic-molecular de partícules** per interpretar diferents fenòmens, entre d'altres **els canvis de temperatura en un material sòlid**. A més, a 2n d'ESO s'estudien les transferències d'energia entre materials, i a 3r torna a estudiar-se la matèria i els seus canvis. D'altra banda, el fenomen representat en la simulació A (és a dir, el fregament entre superfícies que provoca escalfament i erosió d'aquestes superfícies) no s'aborda de forma específica a la ESO. El currículum, i una part molt important de les activitats que es fan a la ESO per treballar el model cinètic-molecular es solen centrar en els canvis d'estat i en les propietats dels gasos, i no en la relació micro-macro per relacionar les col·lisions superficials entre dos materials com a causa de l'augment de les seves temperatures. Per aquest motiu vam considerar que la lectura d'aquesta simulació és un cert repte pels estudiants, ja que l'aproximació que la simulació feia del fenomen seria poc coneguda pels estudiants, cosa que fomentaria el component interpretatiu dels estudiants, i per tant, una major riquesa en les interpretacions.

Pel que fa a la simulació B, la majoria dels elements conceptuals que conté la simulació s'aborden a 3r d'ESO o bé s'han estudiat en cursos anteriors, de manera que es pot garantir un cert coneixement previ per part dels participants. A les classes de física i tecnologia de 3r d'ESO s'aborden **els circuits elèctrics i la generació d'electricitat**, i tot i que **els imants i les propietats magnètiques** no apareixen explícitament al currículum ni de primària ni de secundària, els estudiants de 14-16 anys estan habituats a la representació d'un imant i tenen un cert coneixement sobre les seves propietats. D'altra banda, el fenomen de la inducció electromagnètica que es produeix entre un imant i una bobina quan un dels dos està en moviment respecte l'altre no es tracta la majoria de vegades als cursos de la ESO, tot i tractar-se d'un fenomen molt quotidià en la vida de qualsevol persona en la nostra societat i en el nostre temps. En aquest sentit, vam considerar que un cert coneixement sobre la majoria d'elements visuals representats (la bombeta, el circuit, l'imant, etc.), alhora que la falta d'un maneig i d'un domini profund per part dels estudiants sobre el concepte d'inducció electromagnètica amb imants i bobines permetria i fomentaria

interpretacions visuals molt riques i variades, i per tant, facilitaria la identificació de dificultats de lectura.

Criteri visual

Un tercer criteri que s'ha seguit és el visual, seleccionant les simulacions en funció de la modalitat visual emprada en el seu disseny. De fet, les diferents simulacions disponibles en les webs de recursos com *PhET*, "*Walter Fendt*" o "*Física con Ordenador*" utilitzen diferents modalitats representatives i inclouen elements visuals de diferent índole.

En primer lloc, en moltes d'aquestes simulacions apareix un cert formulisme matemàtic, ja que inclouen equacions, valors numèrics i gràfics matemàtics. Per exemple, la simulació de la Figura 58, de la web *Física con Ordenador* aborda la transferència d'energia entre dos recipients en contacte, però centra el pes de la representació en els gràfics matemàtics i en els valors numèrics. Ara bé, al nostre entendre, lectura d'imatges entesa com la interpretació i comprensió de gràfics matemàtics ha tingut un pes específic en la recerca de didàctica de les ciències (Maichle, 1994b; Ploetzner et al., 2006; Shah i Hoeffner, 2002; Sierra, 2005), ja que és una qüestió de gran rellevància, però entenem que aquesta qüestió difereix lleugerament del que ens preocupa: la lectura de representacions **pictòriques**. Per aquest motiu vam descartar incloure aquests tipus de representacions, i ens vàrem centrar en representacions on tots els seus elements visuals fossin pictòrics.

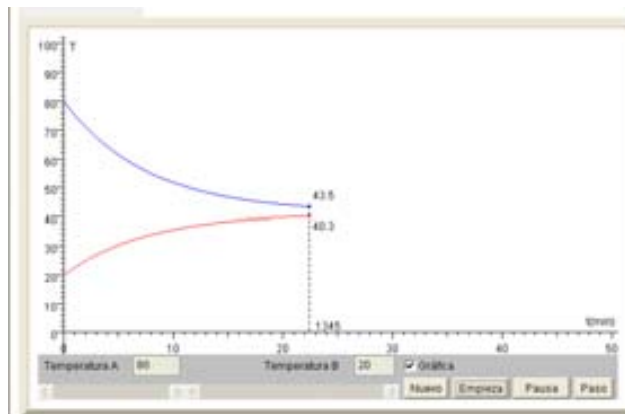


Figura 58. Simulació que tracta sobre equilibri tèrmic, obtinguda de la web "*Física con ordenador*" d'Angel Franco.

Dins de les representacions pictòriques, a més, vam seleccionar simulacions que continguessin uns marcadors de modalitat determinats. Des del punt de vista de la iconicitat, també vam seleccionar elements amb un **grau d'iconicitat alt**, però sense elements **excessivament realistes** com els que apareixen en algunes simulacions tridimensionals (Figura 59), amb volum, textures, ombres i altres marcadors de modalitat que donen un excessiu realisme a la representació, etc. Pel que fa al color, per exemple, vam seleccionar representacions a mig camí entre l'excessiva **saturació de color** (com succeeix, per exemple, en la representació de la Figura 60) i el blanc i el negre.

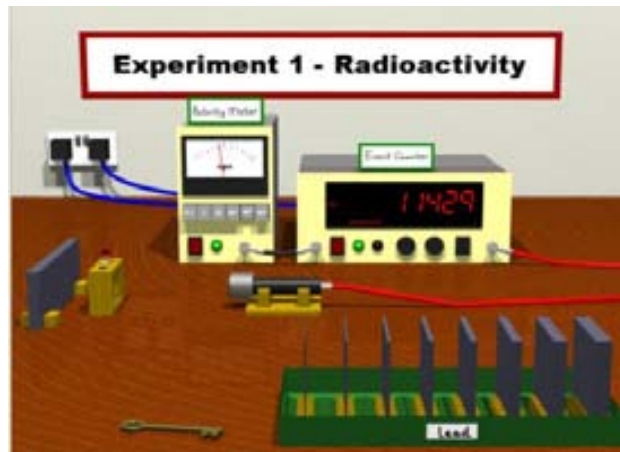


Figura 59. Simulació que reproduïx un laboratori de física nuclear amb un grau de realisme molt elevat.

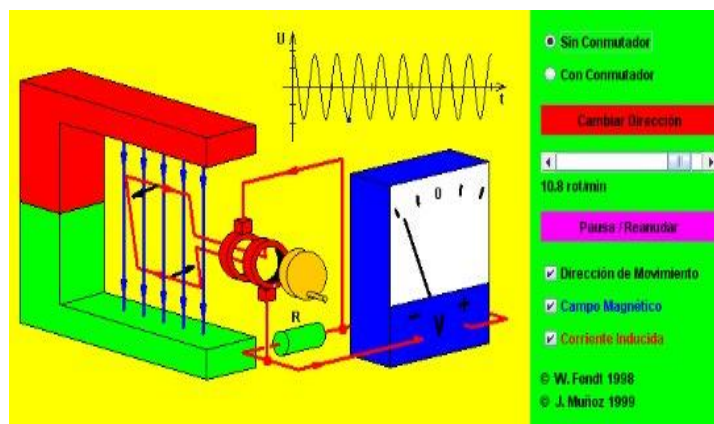


Figura 60. Simulació sobre inducció electromagnètica, extreta de Walter Fendt.

Criteri d'interacció

En darrer lloc, vam considerar com a criteri de selecció de les simulacions el tipus d'interacció lector-simulació, que enteníem que havia **d'estar centrat en la pròpia representació i no en un quadre de comandament extern a la representació**. En moltes simulacions, la interacció es produeix a través d'un quadre de comandament amb botons i barres de desplaçament, mentre que les simulacions que hem seleccionat el lector **desplaça objectes de la simulació a través del ratolí**. Podem veure la diferència entre la interacció de la simulació B que hem seleccionat i la simulació sobre inducció electromagnètica de *Walter Fendt* (Figura 60), en la que el lector tan sols modifica la velocitat de rotació de l'espira. En aquest cas, vam considerar que la simulació tenia una mancança important: no quedava clar què era el que feia moure l'espira, ja que apareix una manovella però no surt cap agent (una mà, una politja, etc.) que produeixin aquest moviment.

5.2. Metodologia d'anàlisi conceptual de les simulacions

Un cop seleccionades les simulacions A i B es va dur a terme una anàlisi conceptual d'aquestes dues simulacions, amb l'objectiu de respondre a la pregunta **P1.1. Quins són el conjunt de conceptes i relacions conceptuals que es representen a través de les simulacions A i B?**

Però a què ens referim exactament quan parlem del “*conceptes i relacions conceptuals que es representen a través de les simulacions*”? Parlarem del conjunt de conceptes científics interrelacionats que apareixen representats a través de la simulació com el **sistema conceptual** de la simulació. Ens referirem al “sistema conceptual” i no al **model** perquè en cada simulació pot intervenir més d'un model científic alhora, i també poden aparixer representats altres conceptes que per sí mateixos no constitueixen un model. Així no vol dir, però, que dins del sistema conceptual de cada simulació algunes de les relacions conceptuals siguin alhora un model científic. De fet, el que perseguim amb l'elaboració d'aquest llistat de proposicions és traduir una **representació diagramàtica** de conceptes científics en una **representació sentencial**, inspirant-nos en el treball de Larkin i Simon (1987) entorn de la relació entre aquests dos tipus de sistemes de representació.

Per conèixer quin és aquest sistema conceptual per cadascuna de les simulacions, s'han seguit els següents passos (Figura 61). En primer lloc, s'han anat desgranant i anotant les informacions científiques que apareixen representades: fenòmens i processos representats, variables que intervien, models científics que expliquen aquests fenòmens i la relació entre variables, etc. Aquest conjunt d'idees s'han anat agrupant, i s'han identificat els conceptes clau, a partir dels quals s'ha construït un **mapa conceptual** per cada simulació.

Posteriorment, d'aquest mapa conceptual s'ha fet un llistat de totes les relacions conceptuals, en forma de proposicions, i per cada proposició el codi CA[i] i CB[i], on la lletra C fa referència a “conceptual”, les lletres A i B corresponen a cada simulació i $i=\{1,2,3,\dots\}$ al número de proposició. Finalment, aquestes proposicions s'han agrupat en **subsistemes conceptuals**.

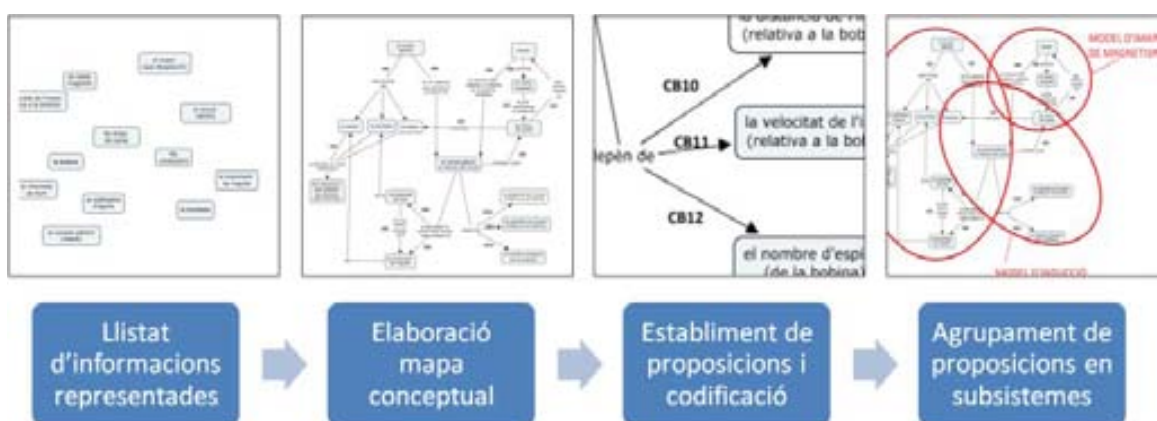


Figura 61. Procés seguit per a l'anàlisi conceptual de les simulacions.

De fet, construir un mapa conceptual amb un conjunt de proposicions que defineixen el sistema conceptual de cada simulació no només ens servirà per identificar posteriorment els seus requeriments de lectura. Aquest conjunt de proposicions també ens permetrà posteriorment, en la Secció III, elaborar el guió d'entrevistes dels

estudiants als que se'ls demanarà que llegeixin la representació d'una o altra simulació. A més, el conjunt de proposicions ens serà molt útil per veure, en la Secció IV, si els estudiants participants veritablement entenen la simulació, i quines són les relacions entre conceptes que es veuen afectats en major o menor mesura quan un estudiant es troba amb una dificultat de lectura.

5.3. Metodologia d'anàlisi visual de les simulacions

De la mateixa manera que l'anàlisi conceptual de les simulacions té com a objectiu la pregunta de recerca, **P1.1**, per respondre a la pregunta **P1.2**. "Quins són i com són els elements visuals que componen les representacions visuals de les simulacions A i B?" hem seguit tres passos que descrivim a continuació.

D'una banda, hem identificat cadascun dels elements mínims no significatius basant-nos en la definició proposada en l'apartat 2.1.1 de la Secció I, i els hem definit com a sintagmes visuals. Per cada sintagma visual hem utilitzat el codi VA[i] i VB[i], on la lletra V fa referència a "visual", A i B correspon a cada simulació i $i=\{1,2,3,\dots\}$ és el número assignat a cada sintagma. Posteriorment hem anat agrupant els sintagmes en conjunts més grans, seguint un procediment semblant al que es segueix en una anàlisi sintàctica d'una oració escrita com la de la Figura 62, com s'ha fet de manera metafòrica en altres camps de l'anàlisi visual, com ara fotografia o publicitat.

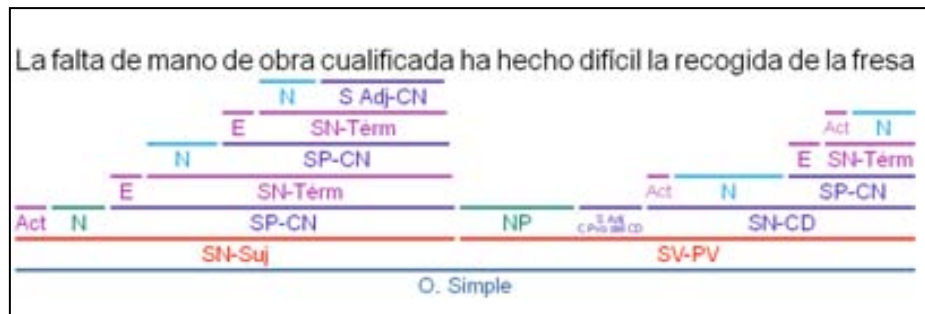


Figura 62. Exemple d'anàlisi sintàctic d'una oració escrita.

En segon lloc hem dut a terme una **anàlisi dels elements dinàmics de cada representació**. Per cada sintagma visual VA[i] i VB[i] hem codificat també totes les unitats d'informació dinàmica representades afegint la lletra "d" al codi de cada sintagma, és a dir, VA1d, VA2d, etc., i les hem classificat en funció del tipus de informació dinàmica que conté, basant-nos en la classificació proposada per Lowe (2003), que hem presentat en l'apartat 2.2.4: translacions (canvis de posició), transformacions (canvis de propietats com forma, mida, color, etc.) i transicions (aparició i desaparició d'elements). Alhora, també hem classificat les representacions dinàmiques de cada representació en funció del tipus d'interacció persona-ordinador: "inputs" de la simulació (quan és la persona qui produeix l'element dinàmic com a forma d'interacció) i "outputs" de la simulació (quan és el model computacional qui genera la representació a partir dels inputs).

Finalment, hem realitzat una breu **anàlisi de la prominència i de la pregnància dels elements de la composició**, per tal d'identificar quins són els elements i quines són les zones de la representació que per les seves característiques visuals poden cridar més o menys l'atenció del lector. Per identificar la pregnància de les formes hem utilitzat el programa GIMP per fer una definició de contrastos, i per identificar la rellevància dels elements en funció de la zona de la representació hem utilitza la idea dels quadrants d'una representació proposada per Veel (1998).

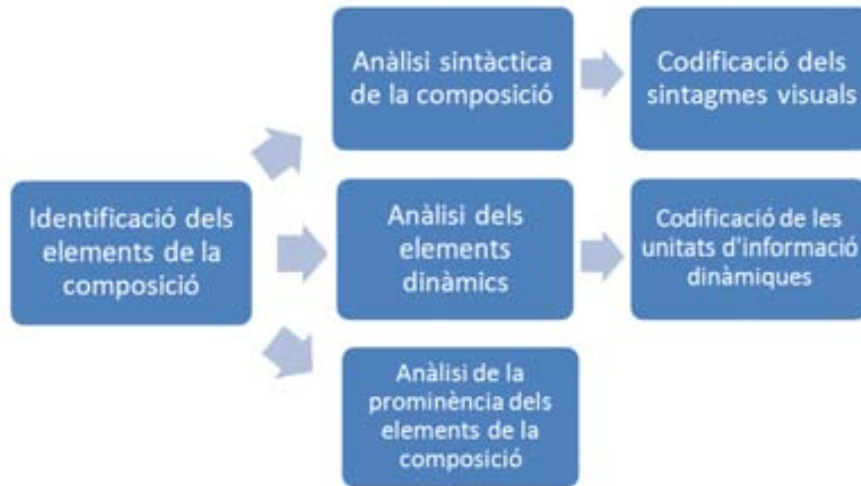


Figura 63. Procediment dut a terme per analitzar visualment les simulacions A i B.

Aquesta anàlisi visual de les simulacions A i B ens serà especialment útil per posteriorment identificar i discutir els requeriments de lectura de cada simulació, ja que podrem referir-nos a cada element i a cada sintagma visual a través d'un codi unívoc (VA1, VA2, VA3, etc.). A més a més, igual com passa amb l'anàlisi visual, aquesta ens ajudarà posteriorment a elaborar el guió d'entrevistes que presentem en la Secció III, i també a discutir com aquestes característiques visuals afecten a les dificultats de lectura que puguem identificar també en la Secció III de la tesi.

5.4. Metodologia d'anàlisi dels requeriments de lectura de les de les simulacions

Un cop respostes les preguntes **P1.1** i **P1.2** mitjançant les anàlisis conceptuals i visuals de les simulacions A i B que hem presentat en els apartats anteriors, s'ha procedit a respondre la pregunta de recerca **P1.3**: *Quins són els requeriments de lectura per interpretar correctament les simulacions A i B?*

Per identificar els requeriments²³ de lectura ens hem basat en els resultats de les anàlisis conceptual i visual prèviament realitzades en cada simulació. A cadascuna de les proposicions dels sistemes conceptuals definides (CA[i] i CB[i]) li hem associat una tasca de lectura respecte una o varies característiques visuals de la representació (ja siguin sintagmes de la composició, una propietat visual d'aquests sintagmes, el seu comportament dinàmic, etc.), com hem intentat presentar a mode d'exemple en la Figura 64.

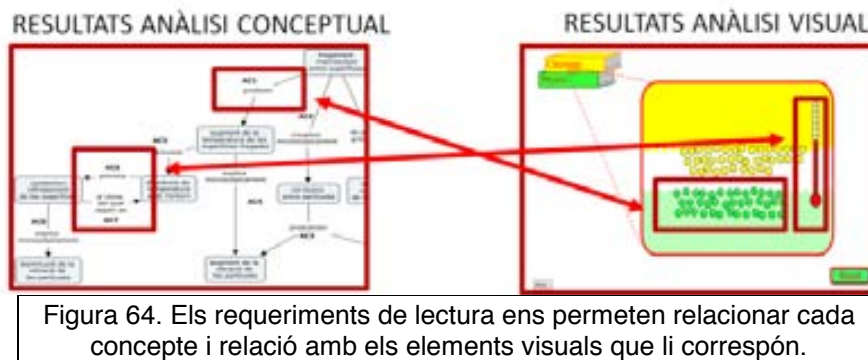


Figura 64. Els requeriments de lectura ens permeten relacionar cada concepte i relació amb els elements visuals que li correspon.

Com hem discutit en el capítol 3, ens hem basat en les idees de requeriment de lectura de Braga et al. (2012) i de Ametller i Pintó (2002), i per tant, per anomenar aquests requeriments de lectura hem utilitzat una terminologia com ara “identificar”, “associar”, “interpretar”, “connectar”, “relacionar”, etc.

A mesura que hem anat definint cada requeriment li hem anat associant un nivell gramatical. Per fer-ho, hem utilitzat de nou el paral·lelisme entre la gramàtica dels textos i la gramàtica de les imatges, i per tant, considerem útil la classificació entre els nivells sintàctic, semàntic i pragmàtic:

- Ens referim al **nivell sintàctic** quan el requeriment de lectura implica identificar unitats d'informació rellevants i interpretar la seva distribució espacial (quan es tracta d'informacions estàtiques) o la seva distribució temporal (quan es tracta d'informacions dinàmiques).
- Ens referim al **nivell semàntic** quan el requeriment implica assignar un significat específic (en el nostre cas un significat científic) a un element visual o bé integrar diferents significats per construir-ne de nous.
- Ens referim al **nivell pragmàtic** quan el requeriment de lectura implica interpretar el sentit amb què ha estat representat un element cosa que implica interpretar no només què representa un element sinó perquè apareix (o no apareix) en base a la funció que exerceix aquest element en la representació.

²³ Hem definit i discutit la idea de “requeriment de lectura” al principi del capítol 3, Secció I.

Finalment, en paral·lel a la identificació i la discussió dels requeriments de lectura, també hem identificat diversos error de la simulació. Parlem de “incorreccions” per referir-nos tant a representacions o conceptes explícitament erronis com per referir-nos a petites incorreccions o ambigüitats que indueixen de forma directa a comprensions errònies del contingut de la simulació. Identificar aquestes incorreccions i ambigüitats també ens ajudarà en els capítols posteriors a distingir les dificultats de lectura dels estudiants que es podrien haver evitat amb un millor disseny visual i els que no.

**Capítol 6. Anàlisi visual i conceptual
de les simulacions A i B**

Si pensem en una situació en que uns estudiants es troben davant de la simulació A o B en un context escolar, aquests hauran de llegir i comprendre aquesta simulació per a la realització d'alguna tasca que se'ls hagi proposat, ja sigui simplement visualitzar la simulació com a font d'informació complementària a un text explicatiu, comparar el model computacional de la representació amb un dispositiu experimental que hagi treballat al laboratori, utilitzar la simulació per extreure'n conclusions i discutir-les en grup, respondre qüestions que se'ls proposin al respecte, identificar i controlar les variables que intervenen, preguntar-se qüestions de l'estil "*what if*", o simplement jugar amb la simulació per esbrinar què passa quan s'agita el llibre (simulació A) o l'imant (simulació B) molt ràpidament.



Figura 65. (Esquerra) Dos estudiants del REVIR visualitzant la simulació A. (Dreta) Un estudiant que utilitza la simulació B per resoldre uns exercicis a casa.

En qualsevol d'aquests casos, per dur a terme la tasca escolar que se'ls hagi demandat, els estudiants es troben davant el repte d'haver de llegir la simulació. Basant-nos en les definicions proposades en els capítols anteriors, podem associar a la lectura canònica d'aquestes simulacions (és a dir, a la lectura que permet entendre el significat i la funció de cada representació tal i com els autors de la simulacions han volgut comunicar-los) un conjunt de requeriments que aquests estudiants hauran de superar.

En aquest capítol ens centrarem en identificar i discutir quins són aquests requeriments de lectura. Per fer-ho, primer presentarem els resultats de l'anàlisi conceptual de la simulació A (apartat 6.1), seguit per la presentació dels resultats de l'anàlisi visual (apartat 6.2), i finalment ens centrarem a discutir cadascun dels requeriments de lectura identificats (apartat 6.3). Alhora, seguirem el mateix procés per la simulació B, presentant la seva anàlisi conceptual (apartat 6.4), la seva anàlisi visual (apartat 6.5) i la discussió dels seus requeriments de lectura (apartat 6.6). A més, hem inclòs dos punts afegits: 6.3b, on discutirem les incorreccions de la simulació A, i 6.5.b, on discutirem el significat d'un dels elements de la simulació B que requereix una discussió a part, ja que la seva anàlisi es troba a mig camí entre l'anàlisi visual i conceptual.

6.1. Anàlisi conceptual de la simulació A: Quins són els conceptes i relacions conceptuais que es representen a través de la simulació A?

Com hem presentat en la seva fitxa tècnica al final de la Secció I, la simulació A porta de títol “*Friction*”. En la majoria de llibres educatius de física, podem trobar definida **la fricció, o el fregament** (són dos termes sinònims que utilitzarem indistintament al llarg d’aquest document) com “*la resistència que s’oposa al lliscament d’un cos sobre un altre, o també com la força que actua entre les superfícies de contacte de dos cossos quan s’intenta lliscar un sobre un altre*”. L’enfocament que normalment es dóna al fregament als cursos d’ESO es troba associat a la visió mecànica de la física, ja que el concepte de fregament està estretament lligat al de força de fregament, que s’expressa a través de la relació $F_f = N \cdot \mu$, on F_f és la força de fregament, N és la força normal que s’exerceixen mútuament les superfícies en contacte i μ és el coeficient de fregament, que depèn del tipus de materials que es freguen i de si aquests estan quietos o en moviment relatiu entre ells.

Ara bé, la simulació A no es centra en aquest enfocament del fregament basat en forces, sinó que fa una aproximació al fregament a nivell mesoscòpic i molecular. Per aquest motiu, des del punt de vista educatiu aquesta simulació és especialment interessant, ja que combina conceptes associats al nivell macroscòpic (com el fregament o la temperatura), conceptes associats a nivell microscòpic/molecular (com la vibració de les partícules i les col·lisions entre elles) i també conceptes mesoscòpics (com les irregularitats de les superfícies i les lleugeres erosions que es produeixen durant un procés de fregament). A través de l’anàlisi d’aquests diferents conceptes i les seves relacions, hem definit el sistema conceptual que presentem en la Figura 66 en forma de mapa, en el que apareixen 10 conceptes interrelacionats mitjançant 13 relacions conceptuais (Taula 5), a les que anomenem proposicions amb el codi CA[i], on $i=\{1,2,3,\dots,13\}$.

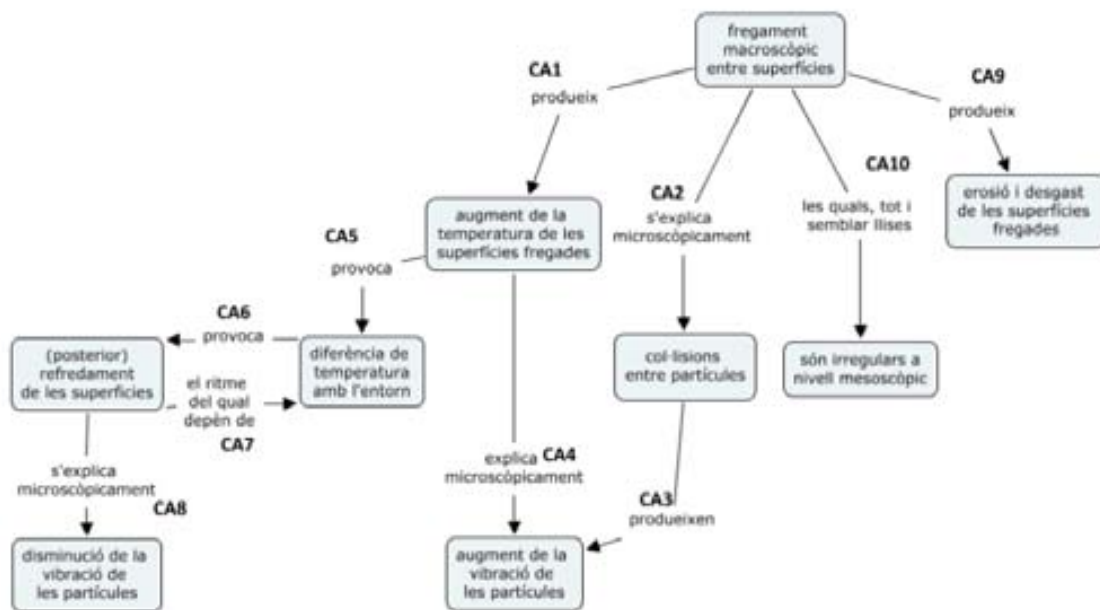


Figura 66. Mapa conceptual que representa al sistema conceptual de la simulació A

Codi	Proposició del sistema conceptual de la simulació A
CA1	El fregament macroscòpic entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades.
CA2	El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules.
CA3	Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules.
CA4	L'augment de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment de la vibració de les partícules.
CA5	L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn.
CA6	Donada la diferència de temperatura amb l'entorn, es produeix un posterior refredament de les superfícies.
CA7	El (posterior) refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn.
CA8	El refredament de les superfícies s'explica microscòpicament amb la disminució de la vibració de les partícules.
CA9	El fregament entre superfícies produeix erosió i desgast de les superfícies fregades
CA10	Les superfícies fregades a nivell mesoscòpic, tot i semblar llises, són irregulars

Taula 5. Sistema conceptual de la simulació A

Aquest conjunt de proposicions es poden agrupar en tres grans subsistemes conceptuals que en la hem representat amb tres colors diferents. D'una banda, l'explicació molecular del fregament com a procés d'escalfament, que permet connectar els nivells macroscòpics i moleculars de la representació (representat en la Figura 67 de color vermell). De l'altra, en color verd, el subsistema conceptual que connecta el fregament com a fenomen macroscòpic amb dos fenòmens mesoscòpics (la irregularitat de les superfícies i l'erosió que provoca el despreniment d'algunes partícules). Finalment, els conceptes que descriuen el comportament tèrmic de les superfícies (ascens i el descens de la temperatura, descrit per la Llei de fredament de Newton²⁴), representats en la Figura 67 de color blau.

²⁴ **Llei de Refredament de Newton:** en qualsevol refredament espontani d'un cos a una temperatura inicial T_0 en contacte tèrmic amb un entorn a temperatura ambient T_A , la variació de la seva temperatura es pot descriure a través de la funció $T(t) = T_A + (T_0 - T_A) e^{-kt}$

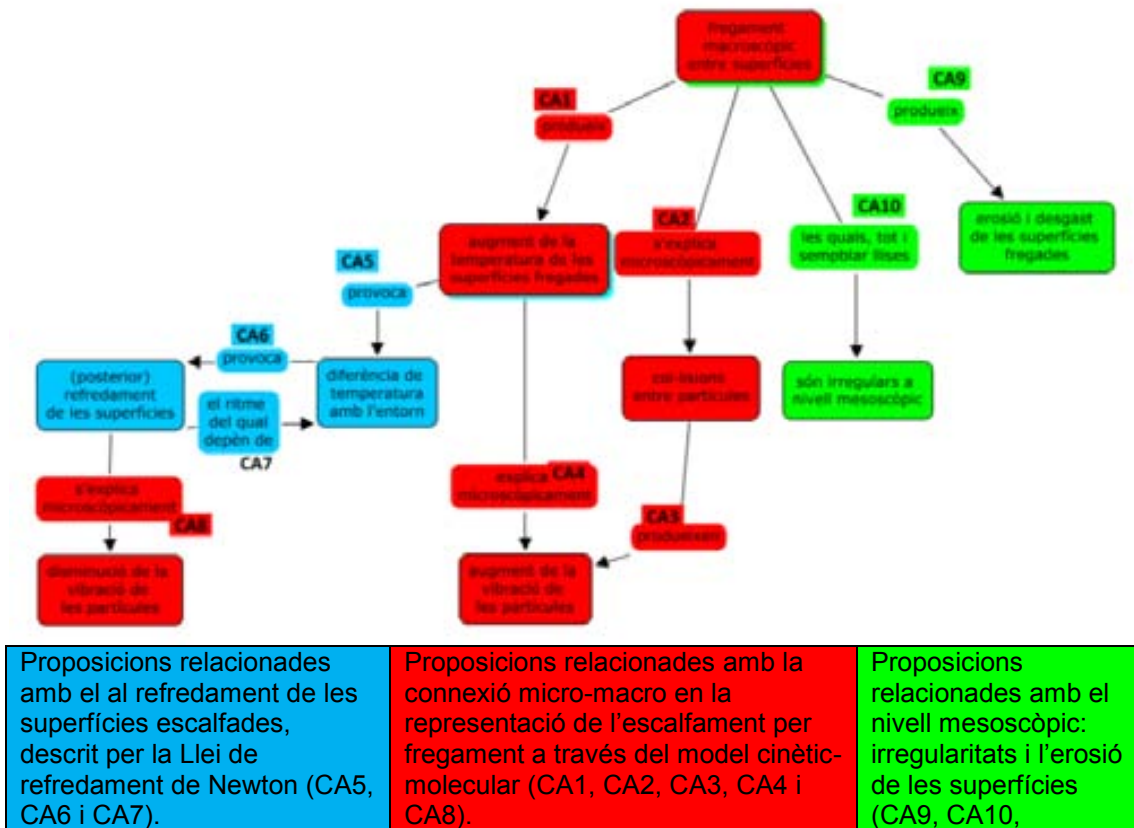


Figura 67. Proposicions del sistema conceptual de la simulació A agrupades en subsistemes conceptuais.

6.2. Anàlisi visual de la simulació A: Quins són i com són els elements visuals que componen la representació visual de la simulació A?

Per respondre a aquesta pregunta hem dut a terme una anàlisi gramatical de la composició, una anàlisi dels seus elements visuals i una anàlisi de la prominència dels diferents elements visuals.

Estructura sintàctica de la composició: La representació de la simulació A està dividida en dos grans sintagmes (esquerra i dreta), i la connexió entre aquests es fa a través de dues línies discontinues que connecten dos rectangles amb puntes arrodonides.

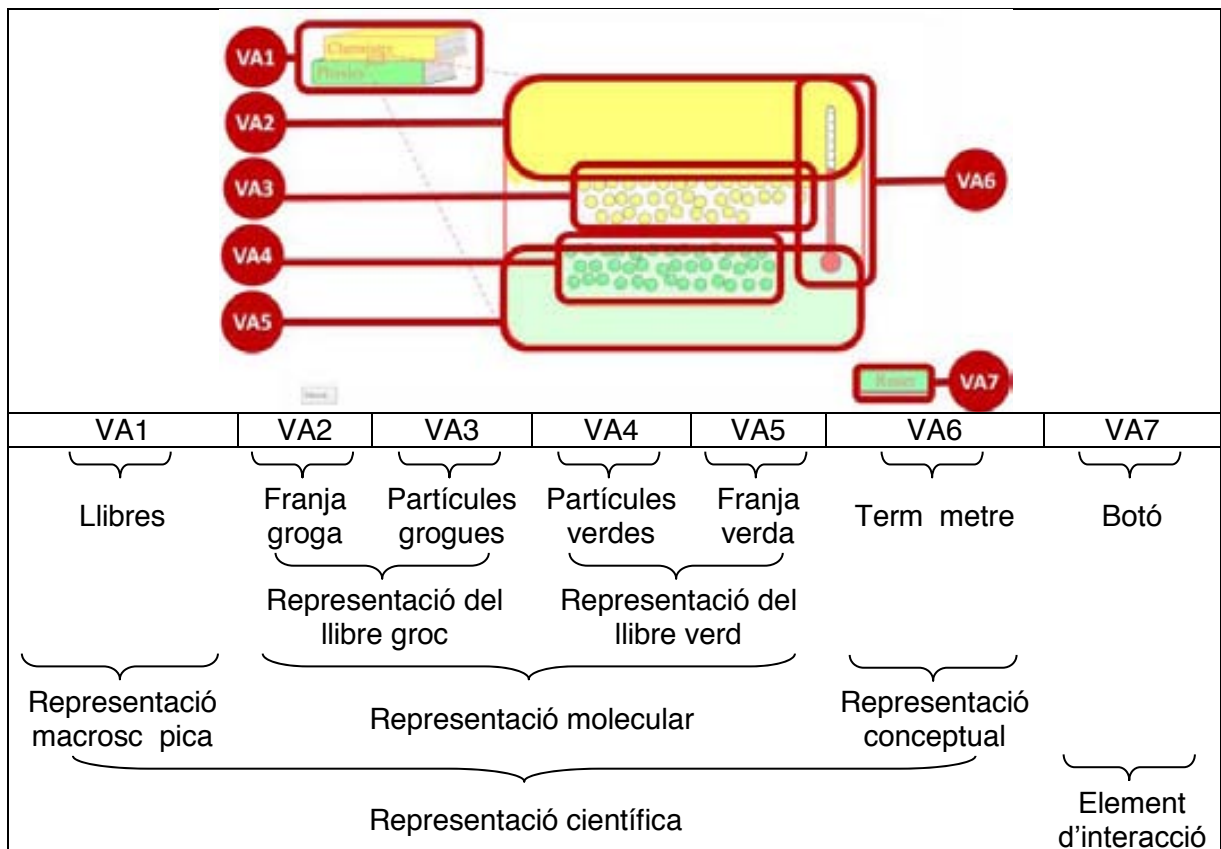


Figura 68. Anàlisi sintàctica de la representació de la simulació A.

El sintagma de l'esquerra (VA1) és una representació pictòrica de dos llibres (un de groc i un altre de verd) amb les etiquetes "Química" i "Física". El sintagma visual situat a la dreta està emmarcat dins un rectangle que inclou els elements VA2, VA3, VA4 i VA5. S'hi representen dues franges de color sòlids (VA2 i VA5) separades per una altra de color blanc. A sobre d'aquestes franges es situen dos grups de circumferències (VA3 i VA4), cada un d'un color corresponent al color de la franja sòlida. La superposició entre el fons i les circumferències (d'ara en endavant, partícules) no és la mateixa a dalt i a baix, ja que mentre en la franja verda les partícules (VA4) estan totalment superposades al fons verd, les partícules grogues (VA3) estan situades lleugerament a sota de la franja de color groc (VA2). Superposat a al conjunt VA2-VA5, també apareix representat un term metre sense unitats (VA6). Si considerem aquest conjunt de sintagmes visuals, podem analitzar l'estructura gramatical que aquests conformen, tal com representem en la Figura 68.

Prominència dels elements visuals de la representació: Si tenim en compte la prominència dels elements visuals independentment de la seva estructura gramatical podem observar com alguns elements visuals tenen una major prominència que d'altres. D'una banda, si realitzem un efecte de detecció de formes de la representació (Figura 69), podem observar com les formes més fortes (Winn, 1994) corresponen a la representació VA3 i VA4, mentre que VA2 i VA5 són molt menys vistoses. Aquestes dues representacions VA3 i VA4, a més a més, també ocupen la part central de la representació, i per tant, encara es reforça més la seva prominència. En canvi VA1 es troba a l'extrem superior esquerra, i com que el conjunt VA2-VA5 està lleugerament desplaçat cap a la dreta, així fa que tingui una baixa prominència des del punt de vista dels quadrants a través dels quals es distribueix la composició (Figura 70).

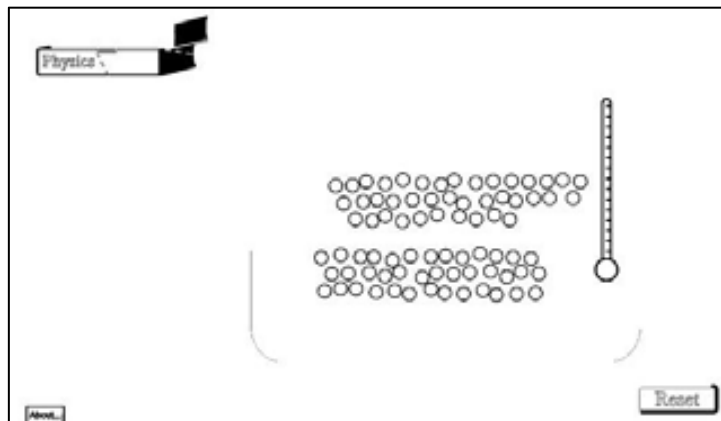


Figura 69. Anàlisi de la prominència visual per definició de contrastos.

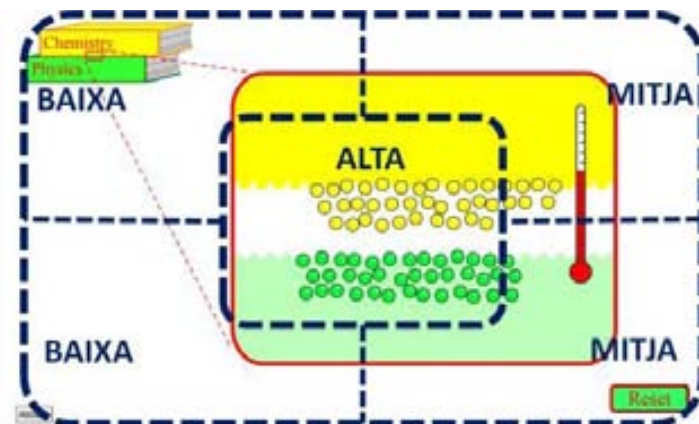


Figura 70. Anàlisi de la prominència visual per quadrants.

Característiques dels elements dinàmics de la representació: Observant la simulació, si ens fixem en el bloc corresponent a la franja de color groc (VA2) veiem que es pot desplaçar horitzontalment (i també lleugerament en vertical) mentre que el bloc inferior (VA5) és immòbil. Quan seleccionem VA2 i desplaçem el ratolí, si els conjunts de partícules VA3 i VA4 es toquen, es produeix un increment en la intensitat de la vibració, és a dir, es mouen més de pressa i amb una major amplitud (VA4d1 i VA3d1 respectivament). Alhora, el termòmetre presenta un ascens i un descens (VA6d1 i VA6d2) en funció de la intensitat amb que s'agita VA2. Si es mou VA2 amb molta intensitat, la majoria de partícules de VA3 es desprenen, i desapareixen de la pantalla marxant pels laterals (VA3d2). Si es reinicia la simulació (pitjant sobre el botó "reset" situat a l'extrem inferior esquerra de la representació, VA7) la simulació es reinicia, i les partícules de VA3 recuperen la posició inicial, en la que la disposició de les partícules és irregular (VA3d3). Hem resumit aquest conjunt de representacions

dinàmiques en la Figura 71, les quals a més hem classificat entre translacions, transicions i transformacions (Lowe, 2003), tal com presentem la Taula 6. Tot i que les partícules vibrin en tot moment i per tant, es tracti de translacions, hem considerat el canvi de intensitat de vibració de les representacions dinàmiques VA3d1 i VA4d com transformacions, ja que la informació dinàmica rellevant per comprendre la simulació no és que les partícules vibrin, sinó que canviïn la intensitat de vibració en funció de si el lector frega les dues superfícies.

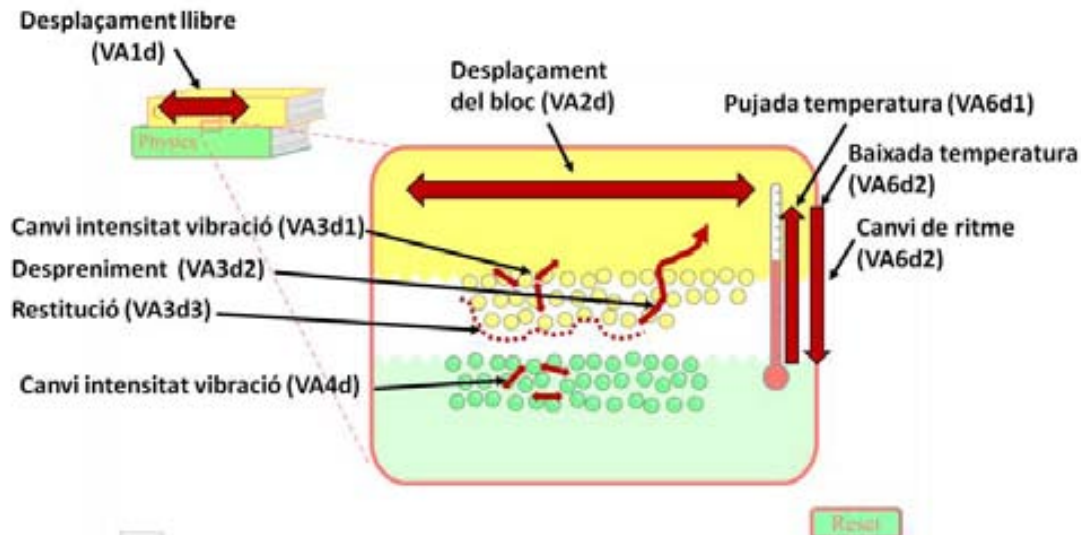


Figura 71. Elements visuals dinàmics de la simulació A

Així si tenim en compte els diferents elements visuals identificats en l'estructura sintàctica de la representació, la prominència dels seus elements, les característiques de la informació dinàmica que apareix i el tipus d'interacció, podem resumir els resultats de l'anàlisi visual de la simulació A en la Taula 6:

Sintagma	Codi	Prominència	Elements dinàmics	Codi	Tipus de canvi	Tipus d'interacció
Llibres	VA1	Baixa	Desplaçament llibre groc	VA1d	Translació	Output
Franja groga	VA2	Mitja	Desplaçament	VA2d	Translació	Input
Partícules grogues	VA3	Alta	Canvi intensitat de vibració	VA3d1	Transformació	Output
			Despreniment	VA3d2	Translació/transició	Output
			Restitució partícules	VA3d3	Transició	Input
Partícules verdes	VA4	Alta	Canvi intensitat de vibració	VA4d	Transformació	Output
Franja verda	VA5	Mitja	-	-	-	-
Termòmetre	VA6	Mitja	Pujada	VA6d1	Translació	Output
			Baixada	VA6d2	Translació	Output
			Canvi de ritme	VA6d3	Transformació	Output
Botó	VA7	Baixa	-	-	-	Input

Taula 6. Taula resum dels elements visuals de la simulació A

6.3. **Requeriments de lectura de la simulació A: Quins són els requeriments de lectura per interpretar canònicament la simulació A?**

Fins ara hem analitzat la simulació A des del punt de vista conceptual i visual (en els apartats 6.1 i 6.2). Ara bé, per que un estudiant de 3r o 4t d'ESO pugui interpretar canònicament aquesta simulació i, per tant, pugui arribar a establir aquest conjunts de relacions conceptual a partir del procés de lectura i interpretació de la representació que apareix, entenem que és necessari que aquest lector dugui a terme un conjunt de requeriments, que presentem a continuació. Per discutir aquests requeriments hem seguit l'ordre utilitzat per presentar les proposicions del sistema conceptual CA[i], associant a cadascuna de les proposicions un o més requeriments de lectura d'alguns dels elements VA[i].

Requeriments de lectura per copsar la relació CA1

Per tal que un lector pugui conceptualitzar que *“El fregament macroscòpic entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades”* (CA1) és necessari, com a mínim, que dugui a terme dos processos de lectura. D'una banda, és necessari que el lector **interpreti a nivell semàntic el moviment del bloc (VA2d1)** com un fregament, i per tant, que li assigni el seu significat científic corresponent. D'altra banda, també és necessari que el lector **relacioni el moviment del bloc groc (VA2d1) amb l'augment de temperatura (VA6d1)**, i que copsi com quan el moviment del bloc (i per tant, el fregament) és major, també és major l'augment de temperatura (Figura 72). Aquest segon requeriment pot ser considerat de nivell sintàctic, ja que no està associat a l'assignació de significat, sinó a la connexió superficial entre dues unitats d'informació (VA2d i VA6d1), i també semàntic, ja que ha de relacionar el significat de VA2d amb el significat de VA6d1.

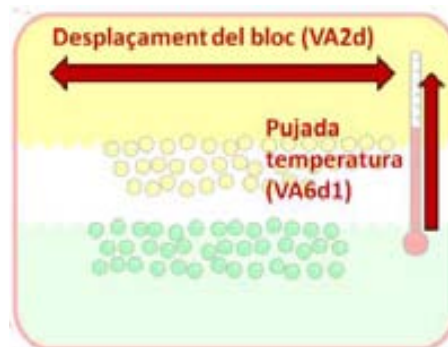


Figura 72. Relació entre el desplaçament del bloc groc i la pujada de temperatura.

Requeriments de lectura per copsar la relació CA2

Per tal que un lector pugui copsar la idea que *“El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules”* (CA2) són necessaris, com a mínim, dos requeriments de lectura. D'una banda, ha de relacionar sintàcticament la relació entre VA1 amb el conjunt VA2-VA5. L'estructura que relaciona VA1 amb VA2-VA5 és una estructura de “zoom”, ja que tot el conjunt VA2-VA5 és la representació microscòpica del que succeeix a l'interior del petit requadre que hi ha enmig dels dos llibres (Figura 73). Segons Kress i Van Leeuwen

(1996), aquesta es pot considerar una estructura analítica, ja que la relació esquerra-dreta és una relació de conjunt-part

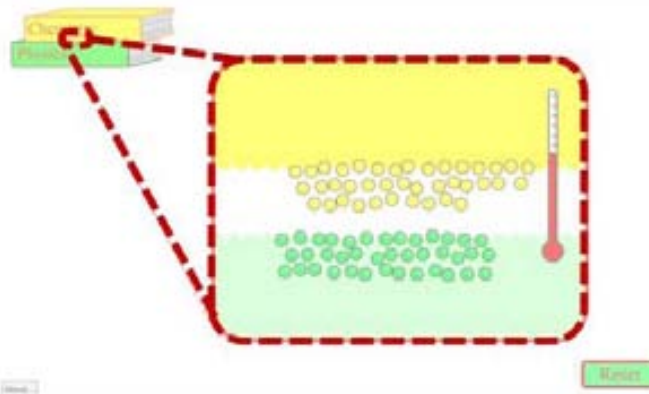


Figura 73. Estructura analítica de "zoom" entre els llibres i la representació de les partícules.

Un cop el lector hagi comprès canònicament l'estructura de zoom de la Figura 73, quan interactua amb la simulació, també ha de **relacionar el moviment horitzontal del llibre groc de la representació de l'esquerra (VA1d1) amb el moviment horitzontal de la representació microscòpica del tros de llibre (VA2d1)** (Figura 74). A aquest requeriment, que pot semblar automàtic un cop el lector ha estat capaç de llegir l'estructura de la Figura 73, se li afegeix de la problemàtica de que el moviment VA1d1 sigui és molt subtil i no es percep gaire, i per tant, requereix d'una observació detinguda.

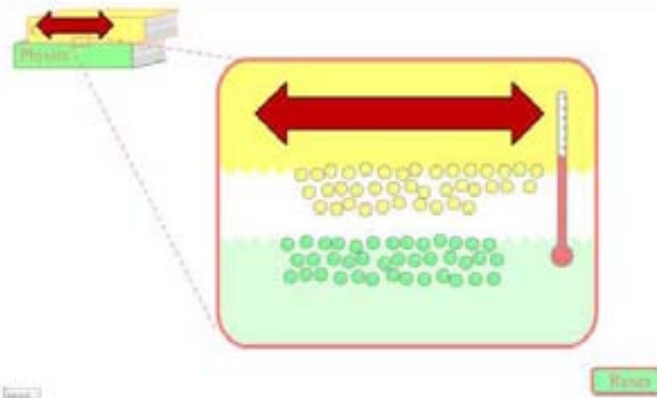


Figura 74. Desplaçament simultani del llibre groc en la representació macroscòpica i en la representació microscòpica.

Requeriments de lectura per copsar la relació CA3

Arribar a copsar la idea que "*Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules*" (CA3) passa per requereix, com a mínim, per dur a terme dos processos de lectura. D'una banda, el lector ha de **poder interpretar VA3d1 i VA4d1 a nivell semàntic**. El comportament dinàmic dels sintagmes VA3 i VA4 és central per comprendre la representació, i concretament, llegir el comportament dinàmic de les partícules que componen aquests dos sintagmes visuals requereix entendre que aquestes vibren, i per tant, requereix un cert coneixement previ sobre la idea de vibració associada al model cinètic-molecular, i més en general, comprendre la idea de "vibració" com un patró de comportament de la natura. Sense aquesta interpretació a nivell semàntic, el lector podria simplement "veure" que les partícules es mouen, sense donar-li cap significat, o bé donar-li un significat.

En segon lloc, el lector també ha de donar significat a la relació de contigüitat de VA3 i VA4, que representa les col·lisions entre els dos conjunts de partícules que provoquen l'increment de la vibració d'aquestes. Les col·lisions, enteses com les interaccions per la qual dues partícules es transfereixen energia i veuen modificada la direcció de la seva velocitat, són una peça clau en la comprensió del sistema conceptual, ja que expliquen a nivell molecular el que a nivell macroscòpic és només una relació “causa-efecte” entre fregament i escalfament. Per tant, un requeriment de lectura serà donar a la representació dinàmica de partícules que “van i venen, movent-se en totes direccions” el significat de **col·lisions que produeixen un increment de la intensitat de vibració**. Com veurem més endavant, quan parlem de les incorreccions de la simulació, aquest requeriment de lectura es veurà afectat per la manera com es superposen els sintagmes visuals VA3 i VA4.

Requeriments de lectura per copsar les relacions CA4 i CA8

Una altra idea central representada en la simulació A és que el valor mitjà de la intensitat de la vibració del conjunt de partícules és al que associem una temperatura determinada, i que per tant, aquest increment o disminució de temperatura es pot interpretar com un increment o disminució de la intensitat de vibració de les partícules. Aquesta idea s'expressa a través de les proposicions “*L'augment de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment de la vibració de les partícules*” (CA4) i “*El refredament de les superfícies s'explica microscòpicament amb la disminució de la vibració de les partícules*” (CA8).

Per copsar aquestes relacions el lector no en té prou amb entendre la vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d1) ni entendre l'ascens i descens de la temperatura (VA6d1 i VA6d2), sinó que ha de relacionar les dues representacions i atribuir-hi una explicació causal: és l'augment / disminució de la vibració el que provoca un augment / disminució de la temperatura. Per tant, és necessari que el lector **integri a nivell semàntic els canvis (transformacions) del moviment de les partícules (VA3d1 i VA4d1) amb els canvis (translacions) en el termòmetre (VA6d1 i VA6d2)**. En altres paraules, és necessari que el lector interpreti que quan es mou el bloc groc (és a dir, quan es produeix un fregament entre els llibres), la vibració de les partícules es torna més intensa alhora que la temperatura ascendeix (Figura 75, esquerra), i un cop es deixa de fregar, la vibració de les partícules es torna més suau, i la temperatura descendeix (Figura 75, dreta).

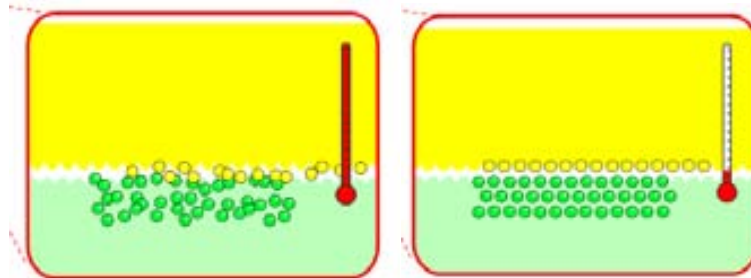


Figura 75. Comparació de l'aspecte que té la disposició de les partícules quan la temperatura és alta i quan la temperatura és baixa.

Requeriments de lectura per copsar la relació CA5 i CA6

A través de la translació del mercuri representat en el termòmetre (representacions dinàmiques de l'ascens VA6d1 i el descens VA6d2) els autors de la simulació expressen que la temperatura de les superfícies dels llibres que han estat escalfats

disminueix per tal d'igualar-se a la temperatura de l'entorn (més fred). Hem expressat aquestes idees a través de les proposicions “L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn” (CA5) i “Donada la diferència de temperatura amb l'entorn, es produeix un posterior refredament de les superfícies” (CA6), partint de la base que la temperatura de l'entorn és la temperatura inicial dels llibres abans de fregar-se. A diferència de les anteriors proposicions, CA5 i CA6 no requereix només de processos de lectura dels elements representats en la simulació A (en aquest cas, el comportament del termòmetre), sinó també requereix **incorporar a la representació un element implícit que no apareix representat: l'entorn**. Es tracta, per tant, d'un requeriment de lectura que podem associar a un nivell gramatical pragmàtic, ja que per assolir aquest requeriment de lectura no és possible amb una interpretació literal de la representació, sinó que exigeix raonar en termes de què hi ha elements que no estan representats.

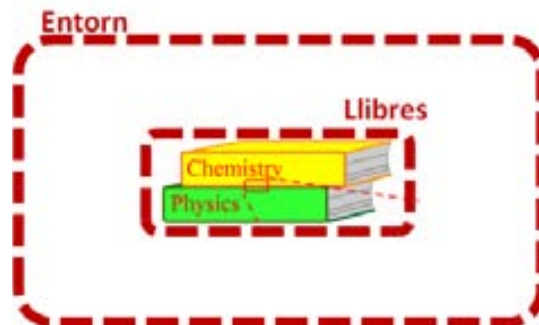


Figura 76. Representació de la idea que els llibres estan envoltats per un entorn amb el que hi ha una constant transferència d'energia.

Requeriments de lectura per copsar la relació CA7

Un altra idea que la simulació A comunica a través de la seva representació és que el ritme de refredament representat és proporcional a la diferència de temperatura amb l'entorn (que hem discutit en el paràgraf anterior), de manera que quan la temperatura del material que es refreda s'acosta a la temperatura ambient, el seu ritme de descens decreix de forma exponencial, i el descens es suavitza (transformació VA6d3). Aquest comportament està descrit per la llei de refredament de Newton (Figura 77). Donat que la formulació exacta de la llei de refredament de Newton escapa de qualsevol requeriment de lectura per a un lector de 14-16 anys (que fins i tot desconeixen en la majoria de casos el terme exponencial), una observació atenta del termòmetre hauria de permetre al lector identificar com aquest descens és primer més acusat o més rípid, i a mesura que baixa la temperatura el seu descens es va suavitzant (VA6d3). Així és el que hem descrit com “El refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn” (CA7).

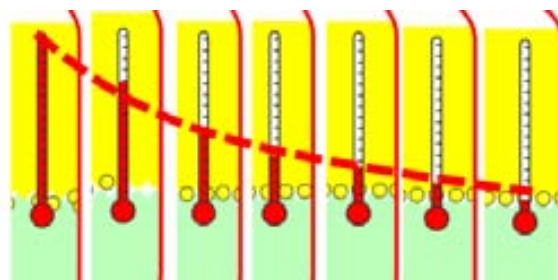


Figura 77. Representació del descens exponencial de la temperatura.

Per copsar la relació CA7 és necessari que el lector, quan observa la representació dinàmica del descens de la temperatura representada pel termèstre, no només identifiqui que la temperatura baixa (VA6d2) sinó també que **identifiqui que el ritme amb el que aquesta temperatura baixa no és constant**, sinó que primer és més ràpid i després (a mesura que la temperatura s'acosta al valor més baix) el ritme és torna més lent (VA6d3).

En segon lloc, cal tenir present que percebre el canvi en el ritme de descens no implica automàticament donar-li un significat. Per tant, la lectura de la temperatura requereix també **interpretar aquest canvi** des del punt de vista semàntic (és a dir, assignar-li el significat corresponent a la temperatura) i també des del punt de vista pragmàtic (en el sentit de la interacció entre els materials que s'han escalfat i l'entorn, tal com hem discutit en els requeriments anteriors).

Requeriments de lectura per copsar la relació CA9

Quan el lector exerceix el fregament entre els blocs VA2 i VA5, una part important de les partícules de VA3 es desprenen i surten escampades en totes direccions, fins a desaparèixer pel límit de la pantalla (Figura 78), i com hem dit anteriorment, hem anomenat a aquesta representació del desprendiment de partícules com VA3d2, ja que VA3d1 correspon a la vibració de les partícules que no es desprenen. Ara bé, per poder arribar a conceptualitzar la relació “*El fregament entre superfícies produeix erosió i desgast de les superfícies fregades*”, en primer lloc, és necessari que el lector identifiqui sintàcticament aquesta informació. Ara bé, com es mostra en la Figura 78, quan es freguen VA2 i VA5, algunes de les partícules de VA3 vibren amb major intensitat (VA3d1), mentre que d'altres partícules es desplacen cap als extrems de la pantalla i desapareixen (VA3d2), i per tant, donat que es tracta de dues informacions dinàmiques que succeeixen de forma simultània i en alguns casos es superposen, el lector pot acabar veient tot de partícules movent-se sense un sentit aparent, cosa que impedeix la interpretació canònica de la representació del desgast de les superfícies. Per tant, el procediment de lectura **d'identificar VA3d2 com una unitat sintàctica requereix a la seva vegada discriminar les dues informacions diferents representades (VA3d1 i VA3d2) com dues unitats d'informació diferent amb un significat diferent.**

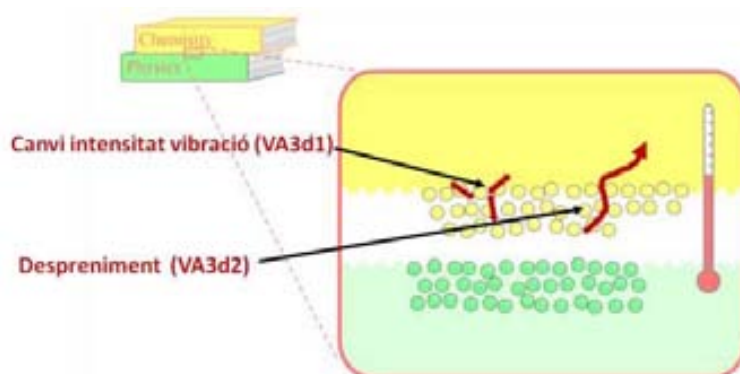


Figura 78. Representació simultània de la vibració d'algunes partícules i el desprendiment d'altres partícules.

Un cop el lector ha distingit sintàcticament VA3d1 i VA3d2 com dues unitats d'informació diferents, és necessari que aquest **interpreti VA3d2 des del punt de vista semàntic**, és a dir, que li assigni el seu significat. Això passa per interpretar aquest desprendiment de partícules com el desgast o l'erosió de les superfícies fregades quan el fregament entre superfícies és molt intens o bé quan la duresa d'un dels materials és major que l'altre, com succeeix per exemple en els pneumàtics

(Figura 79). Aquest requeriment d'assignar un significat científic a VA3d2, a més a més, es pot veure afectat pel fet que el desprendiment de les partícules de VA3irr que s'utilitza per representar el desgast de les superfícies es fa partícula a partícula, de manera que la representació adquireix una gran semblança visual a la representació de l'evaporació d'un líquid a la que els estudiants de 14-16 anys estan més acostumats.



Figura 79. Exemple del desgast dels pneumàtics d'una roda produït pel fregament entre la roda i el terra.

Requeriments de lectura per copsar la relació CA10

Un darrera idea que hem volgut incloure en el sistema conceptual de la simulació A és que *“Les superfícies fregades a nivell mesoscòpic, tot i semblar llises, són irregulars”*, ja que a través del disseny visual, els autors de la simulació pretenen comunicar que encara que les superfícies dels dos llibres de text semblin llises a ull nu, en realitat contenen irregularitats superficials, les quals permetran l'aparició de xocs durant el procés de fregament. De fet, aquesta és una idea molt utilitzada a l'educació secundària per explicar el fregament entre superfícies macroscòpicament llises (Figura 80).

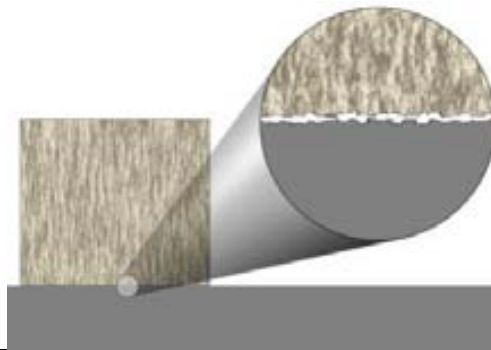


Figura 80. Representació comú de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises.

Per poder copsar aquesta idea, en primer lloc, el lector haurà d'observar en la simulació com cada cop que es reinicia al pitjar sobre el botó *“Reset”* VA7, les partícules VA3 recuperen la seva disposició inicial irregular (VA3d3), tal com presentem en la Figura 81.

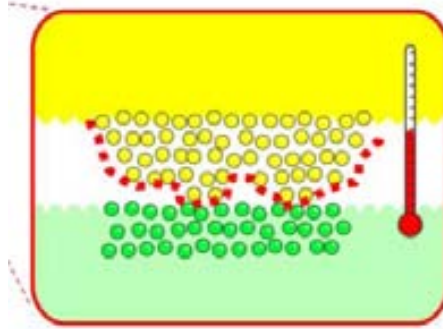


Figura 81. Representació de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies a través del contorn irregular de les partícules

A més, haurà d'assignar-li la rellevància necessària per **convertir aquesta disposició sintàctica de partícules com una unitat d'informació rellevant per ell**. El lector que hagi identificat aquesta forma, a més a més, ha de **donar-li el significat corresponent**, cosa que requereix un cert coneixement previ sobre la idea de la irregularitat mesoscòpica com la que presentem en la Figura 80.

Altres requeriment per comprendre la doble representació de la matèria

Una característica visual de la simulació A que no està específicament relacionada amb cap de les proposicions CA[i] però en canvi és determinant per interpretar la simulació canònicament en el seu conjunt és la doble representació de la matèria. Tal com presentem en la Figura 82, aquesta doble representació de la matèria apareix en la simulació a través d'un model corpuscular (partícules, representades pels sintagmes VA3 i VA4) i també a partir d'un model de matèria continua (el fons, representat pels sintagmes VA2 i VA5). No hem introduït aquesta doble naturalesa de la matèria en l'anàlisi conceptual de la simulació en forma de proposició perquè enteníem que aquest no era un objectiu didàctic de la simulació, sinó un mitjà per representar els conceptes i relacions definides a través de les proposicions CA[i]. És a dir, entenem que **la simulació no pretén explicar com està composta la matèria sinó què li passa quan freguem diferents materials**.

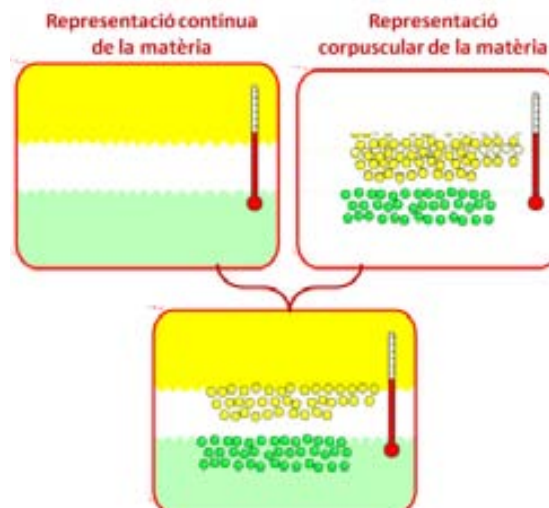


Figura 82. Suma de la representació contínua de la matèria i de la representació corpuscular de la matèria.

Tot i que abordar la naturalesa corpuscular o contínua de la matèria no sigui un objectiu didàctic de la simulació, comprendre aquesta doble representació sí que és necessari per interpretar la simulació canònicament. Els requeriments de lectura

associats a aquesta doble naturalesa de la matèria són, en primer lloc, **identificar VA3 i VA4 i interpretar a nivell sintàctic la seva superposició amb VA2 i VA5**. En segon lloc, donat que els dos grups de partícules ocupen un espai determinat dins d'un contorn més o menys rectangular perquè en cap dels dos casos el contorn coincideix amb les dues franges de color sòlid VA2 i VA5, el lector també haurà d'**interpretar des del punt de vista pragmàtic perquè només una part de les zones grogues i verdes estan cobertes per partícules**, és a dir, concebre que des del punt de vista pragmàtic no és una representació exhaustiva, sinó que només s'han representat partícules en una part de la representació. Finalment, el lector haurà d'**interpretar la relació semàntica entre les partícules i el fons**, assumint que es tracta de dues representacions redundants, doncs fan referència a un mateix significat.

A més, existeixen diferents característiques visuals de la simulació A que **afegeixen més complexitat** als requeriments per interpretar canònicament la relació entre fons i partícules. En primer lloc, la superposició entre partícules i fons no és la mateixa en el cas de VA2 i VA3 que en el cas de VA4 i VA5. En la relació VA2-VA3, les partícules grogues es troben situades en un espai lleugerament inferior al de la franja de color groc, i per tant, estan situades sobre fons blanc mentre que en la relació VA4-VA5, les partícules de color verd estan totalment superposades al fons verd (Figura 83).

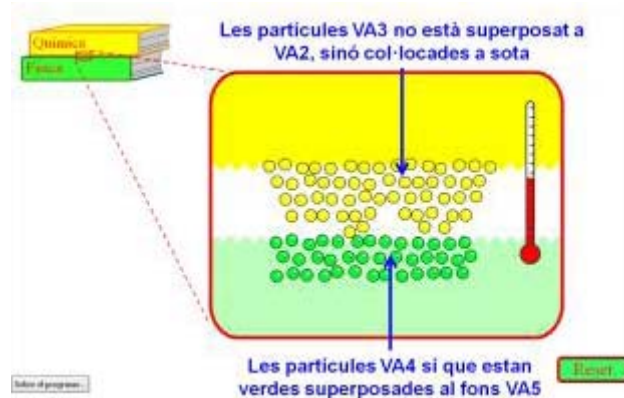


Figura 83. Assimetria en la relació partícules – fons entre el llibre de dalt i el llibre de baix.

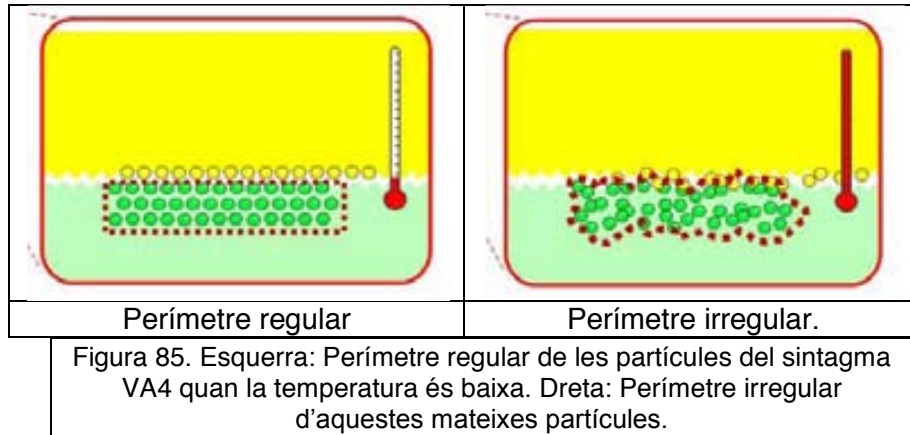
Un segon element que afegeix complexitat és que els perímetres que delimiten VA2 i VA5 no són totalment rectes, sinó que les arestes de contacte de les dues representacions estan formades per petits bonyes amb forma de semicercle que coincideixen amb els llocs on hauria d'haver-hi més partícules representades, tal com mostrem en la Figura 84.



Figura 84. Bonyes semicirculars corresponents a la forma de les partícules.

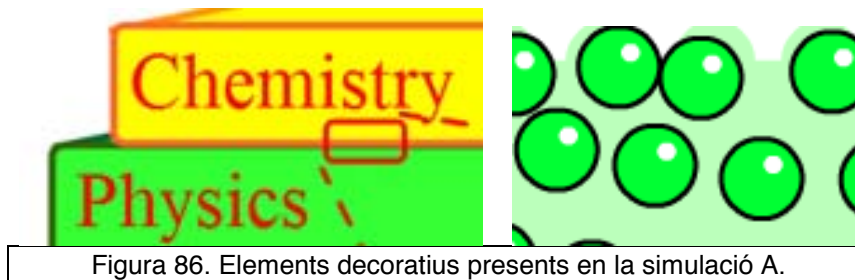
Finalment, un darrer element de complexitat és el comportament dinàmic de VA3d1 i VA4d1, que també afecta a la disposició de les partícules. Mentre la vibració és poc intensa (temperatura baixa) la seva disposició és més regular (Figura 85; esquerra),

mentre que quan la vibració és més intensa (temperatura alta) la disposició és més irregular (Figura 85; dreta).



Altres requeriment per interpretar adequadament els elements decoratius

En darrer lloc, la simulació A també compta amb la presència d'elements decoratius (Figura 86) que no aporten contingut científic, i que per tant, no hem incl s en les proposicions CA[i] del sistema conceptual. Tot i així, igual com succeeix amb la doble representació de la matèria, la interpretació canònica d'aquests elements és necessària per una correcta interpretació del conjunt de la simulació A.



Aquests elements decoratius són, d'una banda, les etiquetes verbals “Química” i “Física” que apareixen en el sintagma VA1; i de l'altra, els petits punts blancs representats en cadascuna de les partícules, que pretenen comunicar la brillantor de les partícules. Per tant, llegir canònicament aquests elements passa per **interpretar la seva naturalesa comunicativa decorativa a nivell pragmàtic**, entenent que en cap cas informen sobre el fenomen científic simulat, sinó que simplement pretenen “amenitzar” la simulació.

6.3b. *Incorreccions de la simulació A*

La lectura de la representació que utilitza la simulació A no només compta amb una gran quantitat de requeriments, sinó que dins de la seva representació hem identificat un conjunt d'incorreccions. Parlarem d'incorreccions per referir-nos tant a representacions o conceptes explícitament erronis com de petites incorreccions o ambigüitats que indueixen de forma directa a comprensions errònies del contingut de la simulació. Identificar aquestes incorreccions i ambigüitats ens ajudarà en els capítols posteriors a discutir quines de les dificultats de lectura trobades en les respostes dels estudiants es podrien haver evitat amb un millor disseny visual de la simulació.

Asimetria entre el comportament de VA3 i de VA4 (IS1).

La primera i més gran d'aquestes incorreccions és l'asimetria existent entre la disposició i el comportament dels dos conjunts de partícules VA3 (grogues) i VA4 (verdes), tal com es mostra en la Figura 87. En la configuració inicial de la simulació el nombre de partícules de VA3 és major que el de VA4, però durant el procés de fregament moltes de les partícules grogues es desprenen i desapareixen.

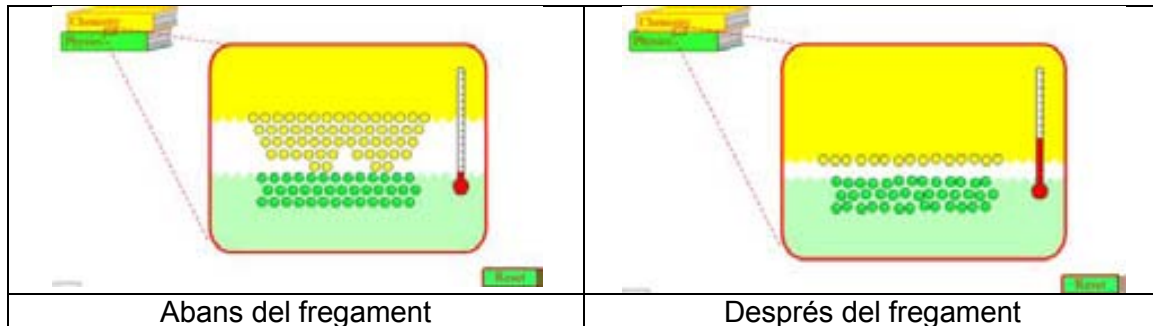


Figura 87. Diferència en la quantitat de partícules grogues abans d i després del fregament.

Aquesta “asimetria” en el comportament de VA3 respecte el de VA4 pot tenir diferents interpretacions que no hem pogut clarificar²⁵. Una primera interpretació associada al nivell pragmàtic és que els autors de la simulació consideren és suficient representar el desgast d'una de les dues superfícies per expressar la idea d'erosió entre superfícies. Una segona interpretació, a nivell semàntic, seria que els autors de la simulació consideren que la superfície del llibre groc està feta d'un material més tou que el del llibre verd, i per això només es desprenen partícules de VA3. Finalment, encara cabria una tercera interpretació associar-la a la concepció errònia que al ser el llibre groc el que es mou respecte el verd, el fregament (i per tant, l'erosió) només afecta al llibre groc. En qualsevol dels casos, podem dir que el sentit de la representació és, com a mínim ambigu, i per tant, ho hem considerat com una incorrecció de la simulació que pot dificultar que alguns dels requeriments de lectura anteriorment discutits es compleixin.

²⁵ Al gener de 2012 vam enviar diferents correus electrònics als encarregats del projecte PhET preguntant sobre el sentit amb el que havien estat dissenyats alguns dels elements presentats en la simulació. Malauradament, només varem obtenir resposta dels administradors de la web, i no dels autors de les simulacions, amb qui va ser impossible contactar.

Temps de retard de VA6d2 (IS2).

La segona incorrecció que podem identificar en la simulació és que, just en el moment en que es deixa de fregar, el descens de temperatura VA6d2 succeeix amb un breu temps de retard, i la temperatura roman elevada abans de començar el seu descens. És a dir, la temperatura comença a descendir passats uns instants d'haver acabat el fregament, en comptes fer-ho instantàniament. Aquest segon error també pot donar-se per dos factors, i desconeixem el motiu final d'aquest. La primera causa d'aquest retard seria la configuració informàtica interna de la simulació, que necessita un temps de reacció abans de fer córrer el procés de descens de temperatura. La segona possible causa és la concepció errònia que en els cossos existeix una inèrcia abans de començar a produir-se un canvi de temperatura. De fet, aquesta concepció errònia ha estat identificada en la forma com alguns estudiants de secundària dibuixen les gràfiques de refredament de temperatura, tal com mostra la producció d'un estudiant presentada en López i Artigas (2012) quan representa un descens exponencial de la temperatura (Figura 88).

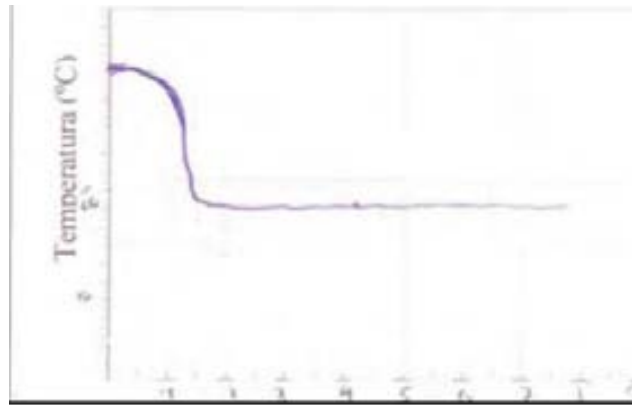


Figura 88. Representació de la "inèrcia tèrmica" d'un material, extret de López i Artigas (2012).

Lleugera superposició entre els conjunts de partícules VA3 i VA4 (IS3).

Unes pàgines abans hem identificat com a requeriment de lectura el fet d'interpretar semànticament la relació VA3d1 i VA4d1 (és a dir, les respectives representacions dinàmiques de la vibració) com col·lisions entre els dos conjunts de partícules. Tot i així, aquesta representació no és del tot clara, ja que les partícules de VA3 i VA4 no sempre "xoquen" entre elles, sinó que de vegades es superposen, i el seu desplaçament és tan gran que en alguns casos les partícules grogues ocupen l'espai de les verdes, i viceversa (Figura 89). Aquest error podria induir al lector a pensar en termes de "mescla" en comptes de fer-ho en termes de xocs entre partícules.



Figura 89. Captura de pantalla del moment en que, al fregar molt fort, les partícules grogues i les verdes es superposen lleugerament.

6.4. An lisi conceptual de la simulació B: Quins són els conceptes i relacions conceptuals que es representen a través de la simulació B?

La simulació B té com a títol "*Faraday's Law*", i ha estat dissenyada per representar el fenomen de la inducció electromagnètica que es produeix en una bobina (connectada a un circuit elèctric) a partir del moviment d'un imant. La formulació exacta d'aquesta "Llei de Faraday" és lleugerament més complexa, i es pot expressar com:

"La Força Electromotriu Induïda en un conductor que forma un circuit tancat és igual al valor negatiu del ritme de variació del flux magnètic en l'interior de la superfície delimitada pel conductor".

Evidentment, aquesta formulació escapa del contingut científic que s'aborda als cursos de la ESO, ja que conceptes com "Força Electromotriu induïda" o "Flux magnètic" són conceptes que només es veuen en cursos de física superiors. Tot i així, volem aclarir breument a què ens referim quan parlem d'aquests termes, per poder posteriorment fer la transposició didàctica pertinent als cursos de la ESO. Per fer-ho, ens basarem en les definicions matemàtiques de Feynman, Leighton i Sands (1964).

En primer lloc, ens referim al **flux magnètic** que travessa una superfície $\Sigma(t)$ com la integral en aquesta superfície del producte escalar del camp magnètic $\mathbf{B}(\mathbf{r}, t)$ per unitat d'àrea $d\mathbf{A}$, és a dir, com la "quantitat" de camp magnètic en la direcció perpendicular a l'àrea delimitada per $\Sigma(t)$, que normalment també s'expressa com el nombre de línies de camp que travessen aquesta superfície:

$$\Phi_B = \iint_{\Sigma(t)} \mathbf{B}(\mathbf{r}, t) \cdot d\mathbf{A} ,$$

Si la superfície que travessa el camp està delimitada per un material conductor, i si aquest flux magnètic varia en funció del temps (ja sigui perquè el valor del camp varia o perquè la superfície delimitada pel conductor es veu modificada), aquest material conductor adquireix una **Força Electromotriu (FEM)**, que definim com la energia que cada unitat de càrrega necessitaria per recórrer el perímetre del conductor que delimita aquesta superfície. Si pensem en el cas concret d'una bobina constituïda per múltiples espirals, podem considerar que cada espira defineix una superfície tancada per la que travessa un flux magnètic, i podem considerar aquesta superfície Σ constant en el temps. D'aquesta manera, la FEM només dependrà de la variació del camp magnètic, cosa que s'expressa mitjançant la següent equació:

$$\mathcal{E} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

on \mathcal{E} és la Força Electromotriu Induïda en la bobina, N és el nombre d'espires de la bobina i $\frac{d\Phi_B}{dt}$ és la variació del flux magnètic que travessa aquesta bobina.

Com ja hem dit, aquest formalisme matemàtic escapa amb escreix del tractament que es pugui fer en els cursos de la ESO, cosa que s'afegeix a la dificultat presentada en la literatura per distingir entre la idea de flux magnètic i la idea de variació de flux magnètic (Albe et al., 2001; Maloney et al., 2001). Tot i així, es pot fer una **transposició didàctica** d'aquesta formulació de la Llei de Faraday, de la qual es deriven un conjunt de relacions importants. La primera relació és que un imant pot

produir un efecte sobre una bobina, però que aquest efecte només es converteix en corrent elèctric **si l'imant està en moviment relatiu a la bobina**, i per tant, el flux de camp magnètic que travessa la bobina (és a dir, el nombre de línies de camp que travessen la bobina) es veu modificat. La segona relació que es deriva d'aquesta llei és que el corrent elèctric que s'indueix sobre la bobina (i per extensió, sobre tot el circuit) no serà constant, sinó que d'una banda **dependrà de la velocitat de l'imant** (ja que és la velocitat de l'imant la que determina el valor de $\frac{\Phi_B}{dt}$, i de l'altre, **del nombre d'espises N que tingui la bobina**.

Aquestes dues idees han estat centrals en l'elaboració del mapa conceptual de la simulació B que presentem en la Figura 90, en el que també hem inclòs altres **conceptes bàsics sobre electricitat** representats en la simulació (la idea de corrent elèctric, la idea dels observables que ens permeten "mesurar" el corrent elèctric) i també conceptes **bàsics sobre magnetisme** (la idea de camp i de línies de camp).

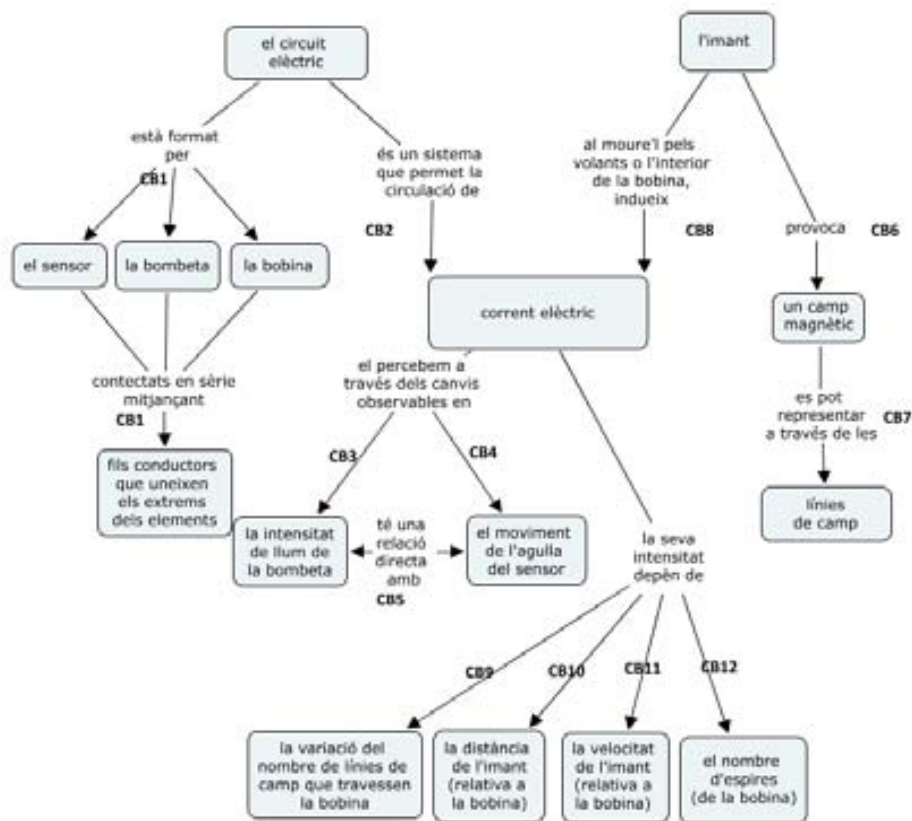


Figura 90. Mapa conceptual de la simulació B.

En elaborar aquest mapa conceptual hem establert un conjunt de proposicions que representen les relacions conceptuais del mapa (Taula 7). Hem etiquetat aquestes proposicions amb el codi CB[i], on $i=\{1,2,3,\dots,11\}$. És important deixar clar que, a l'hora de seleccionar els conceptes que conformen el sistema representat en la Figura 90, hem deixat de banda dues qüestions importants que apareixen representades en la simulació.

En primer lloc, per simplicitat, no hem inclòs en el mapa conceptual la descripció qualitativa del comportament de l'agulla del sensor. Sense un formulisme matemàtic adient, descriure aquest comportament seria massa farragós, ja que l'agulla es desplaça en sentit positiu o negatiu en funció de com l'imant s'acosta, com s'allunya, si entra parcial o totalment dins la bobina, si en surt, en funció de la orientació nord o sud

de l'imant, etc. Per aquesta mateixa voluntat de simplificar la descripció del sistema conceptual tampoc hem inclòs una idea que apareix representada en la simulació: el canvi de polaritat de l'imant. Quan en la simulació B es gira l'imant, les línies de camp canvien de sentit, i el corrent que s'indueix és de sentit contrari. Ara bé, com que això no afecta al comportament de la bombeta ni al valor absolut que marca l'agulla del sensor, hem decidit excloure-ho del sistema conceptual.

En segon lloc, en el mapa conceptual tampoc definim cap magnitud elèctrica ni magnètica pròpiament dita. Els únics "observables" que relacionem amb la idea de "corrent elèctric" són el moviment de l'agulla del "sensor" (més endavant també discutirem sobre perquè l'anomenem així) i la intensitat de llum de la bombeta. En cap moment parlarem ni de FEM, ni de voltatge, ni d'intensitat, ja que ni és una informació explícita de la simulació ni ho hauríem de considerar necessari per als cursos de 3r i 4t d'ESO, ja que són conceptes massa semblants i confusos en aquest nivell educatiu com per entrar a discriminar-los. Tot i així, discutirem aquesta qüestió amb deteniment en l'apartat 7.3.

Un cop fets aquests aclariments, les proposicions resultants de la nostra anàlisi conceptual són:

Codi	Proposició del sistema conceptual de la simulació B
CB1	El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixin els diferents extrems dels elements.
CB2	El circuit elèctric és un sistema que permet la circulació de corrent elèctric.
CB3	Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en la intensitat de llum de la bombeta.
CB4	Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment l'agulla.
CB5	La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l'agulla (i viceversa).
CB6	L'imant sempre provoca al seu voltant un camp magnètic.
CB7	Un camp magnètic es pot representar mitjançant línies de camp
CB8	Quan desplaçem l'imant pels voltants o l'interior d'una bobina, s'indueix corrent elèctric
CB9	La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina.
CB10	La intensitat del corrent elèctric depèn de la distància de l'imant relativa a la bobina.
CB11	La intensitat del corrent elèctric depèn de la velocitat de l'imant relativa a la bobina.
CB12	La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.

Taula 7. Sistema conceptual de la simulació B.

Aquest conjunt de proposicions que conformen el sistema conceptual de la simulació B poden agrupar-se en diferents subsistemes conceptuals, tal com mostrem en la Figura 91. En primer lloc, hem agrupat les relacions conceptuals CB1, CB2, CB3, CB4 i CB5 (color groc), les quals fan referència a la idea de circuit elèctric i dels elements del qual es compon, independentment de com es generi el corrent. En segon lloc, les relacions CB6, CB7 i CB8 (violeta) fan referència al model d'imant i de magnetisme. Finalment, les idees CB9, CB10, CB11 i CB12 (verd) constitueixen la interacció entre el circuit i el imant, la inducció electromagnètica. En la **Figura 91** hem representat aquestes proposicions agrupades en tres subsistemes conceptuals diferents.



<p>Proposicions relacionades amb els conceptes de circuit elèctric i dels elements de què es compona, així com els efectes del corrent elèctric sobre aquests elements (CB1, CB2, CB3, CB4 i CB5)</p>	<p>Proposicions relacionades amb la inducció electromagnètica de Faraday i a les variables de les que depèn la intensitat del corrent induït (CB8, CB9, CB10, CB11 i CB12)</p>	<p>Proposicions relacionades amb els conceptes d'ímant, de camp magnètic i de línies de camp (CB6 i CB7)</p>
---	--	--

Figura 91. Proposicions del sistema conceptual de la simulació A agrupades en subsistemes conceptuals.

6.5. Anàlisi visual de la simulació B: Quins són i com són els elements visuals que componen la representació visual de la simulació B?

Per respondre a aquesta pregunta hem dut a terme una anàlisi gramatical de la composició, una anàlisi dels seus elements dinàmics i una anàlisi de la prominència dels diferents elements visuals.

Estructura sintàctica de la composició: La representació de la simulació B està composta per un circuit elèctric sobre un fons groc i un imant del qual entren i surten un conjunt de línies de camp. En l'extrem superior existeix un quadre de control a la part superior de la pantalla, que permet modificar alguns d'aquests elements. El sintagma visual corresponent al circuit està compost per diferents elements visuals connectats entre ells a través de la representació de cables elèctrics. Aquests elements són la bombeta (VB1), la bobina (VB2), el sensor (VB4) i una segona bobina que es pot afegir al circuit (VB6). Tot i que en la representació VB4 aparegui representada la paraula "voltatge", ens referirem al llarg del capítol a aquest element com el "sensor", i en l'apartat 7.3 expliquem perquè parlem del "sensor" i no del "voltímetre".

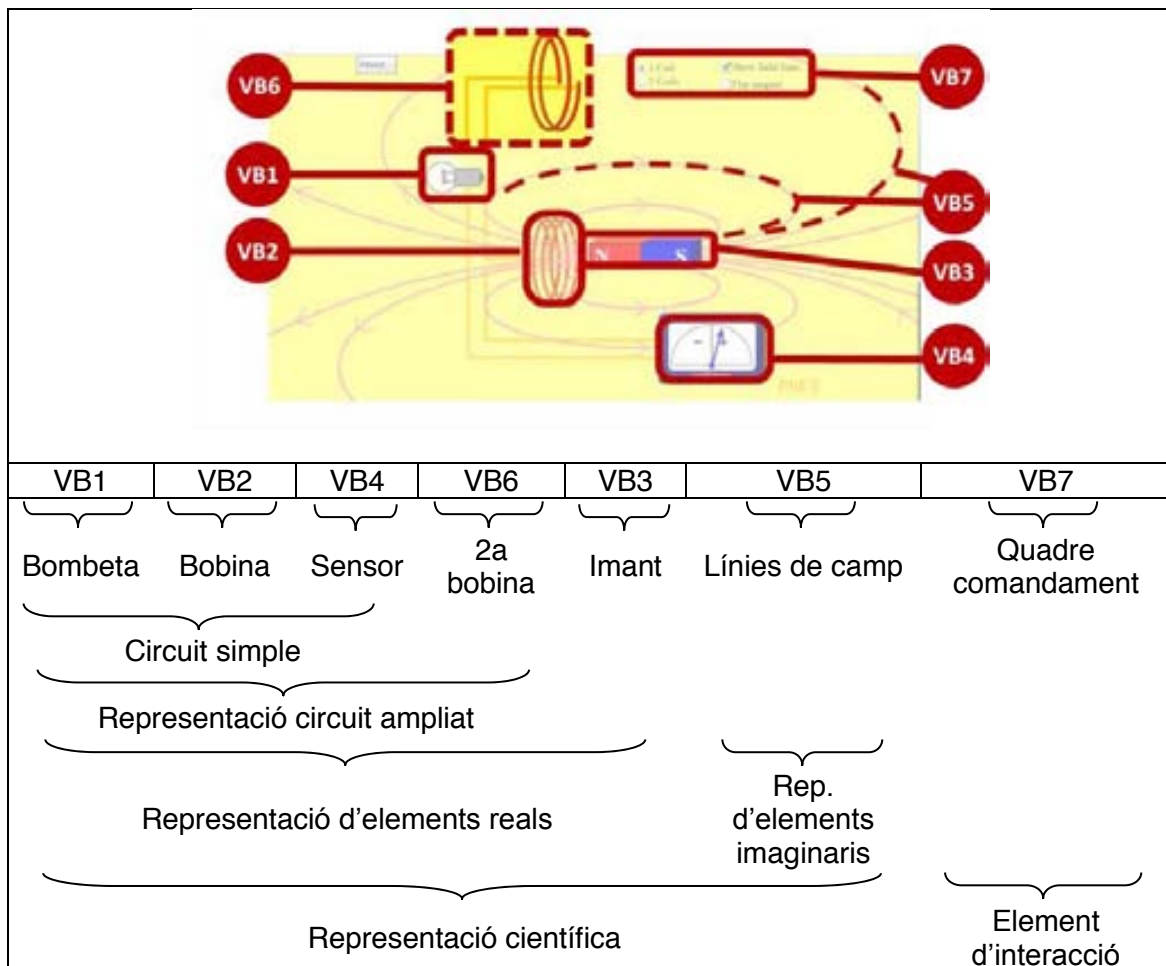


Figura 92. Anàlisi sintàctica de la representació de la simulació B.

El segon gran sintagma visual és el format per l'imant (VB3) i les línies de camp (VB5). L'imant apareix representat a través d'una peça rectangular dividida en dos colors (blau i vermell) amb les etiquetes verbals "N" i "S". Les línies de camp magnètic tenen

una forma el·líptica, i estan situades tant per sobre com a sota de l'imant. Aquestes línies contenen símbols direccionals que determinen el sentit de les línies: surten de l'extrem corresponent al pol nord de l'imant a l'extrem corresponent al pol sud.

Característiques dels elements dinàmics de la representació: Una gran majoria dels 7 elements visuals identificats en la representació incorporen algun tipus de representació dinàmica. En primer lloc, el lector pot desplaçar l'imant en tots els eixos dins del pla bidimensional representat en la simulació (VB3d1), i també pot canviar el sentit dels seus pols seleccionant en el quadre de comandament "Girar imant" (VB3d2), tot i que com hem dit en l'anàlisi conceptual, no he inclòs els conceptes relacionats amb el canvi de polaritat de l'imant. Quan l'imant es desplaça per la pantalla es produeix la il·luminació de la bombeta, que es representa amb cercles blancs que augmenten de mida entorn de la bombeta (VB1d), tal com representem a la Figura 93. Un cop l'imant deixa de moure's, la bombeta s'apaga immediatament. Aquesta il·luminació VB1d no té sempre la mateixa intensitat (és a dir, la circumferència blanca que apareix al voltant de la bombeta no és sempre de la mateixa mida) sinó que depèn, com hem vist en l'apartat anterior, de la distància bobina-imant, velocitat relativa bobina-imant i nombre d'espores de la bobina (relacions conceptuals CB10, CB11 i CB12).

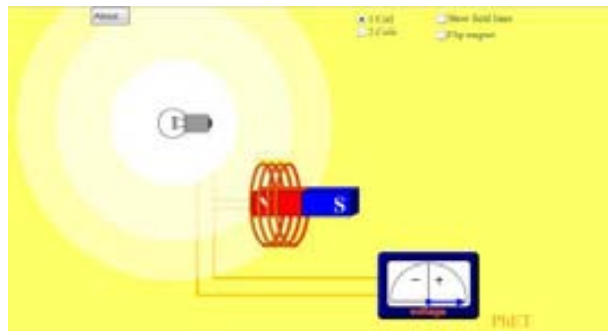


Figura 93. Captura de pantalla en el moment en que s'il·lumina la bombeta.

Amb el moviment de l'imant, no només s'il·lumina la bombeta, sinó que també apareix representat el moviment de gir de l'agulla del sensor, que pot ser en sentit positiu (VB4d1) o en sentit negatiu (VB4d2). Independentment de si aquest és positiu o negatiu, el moviment de l'agulla sempre és un moviment ràpid, en forma de pols, ja que representa un corrent elèctric induït momentani. A més, si l'imant es mou per l'interior de la bobina travessant-la totalment, l'agulla del sensor es desplaça de forma consecutiva en un sentit i després en l'altre, formant un pols sinusoidal com el que representem en la Figura 94. Per simplicitat, ens referirem a aquesta representació del pols sinusoidal de l'agulla, o a qualsevol altre moviment de l'agulla tant cap a positiu com a negatiu com la representació VB4d1/2.

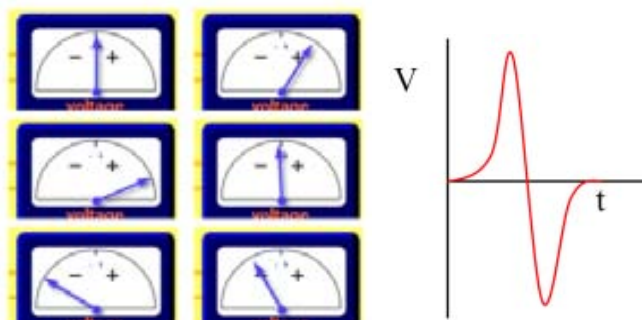


Figura 94. Esquerra: Diferents posicions de l'agulla que mostren el seu recorregut. Dreta: Representació en forma de gràfic $V(t)$ del senyal que marca l'agulla del sensor.

A part del moviment de l'imant i del seu efecte sobre la bombeta i sobre el sensor, també existeixen altres elements dinàmics en la representació. En la configuració inicial de la simulació no apareixen les línies de camp (VB5), i aquestes es fan visibles seleccionant en el quadre de comandament l'opció "mostrar línies de camp" (VB5d1). Un cop aquestes línies són visibles, al moure l'imant aquestes es desplacen de forma solidària amb l'imant, i el lector també pot desplaçar les línies de camp seleccionant-les i arrossegant-les per la pantalla amb el ratolí (VB5d2). Finalment també existeix en el quadre de comandament l'opció de seleccionar "2 bobines", a partir de la qual apareix la segona bobina de només dues espires (VB6d1), que desapareix en el moment en que es selecciona l'opció "1 bobina" (VB6d2).

En la Figura 92 hem resumit aquest conjunt de representacions dinàmiques, que també hem classificat segons dos criteris. D'una banda, segons els tipus de representacions visuals (translacions, transicions i transformacions), i de l'altra, en funció si aquests elements dinàmics representen "inputs" o "outputs" de la interacció amb la simulació.

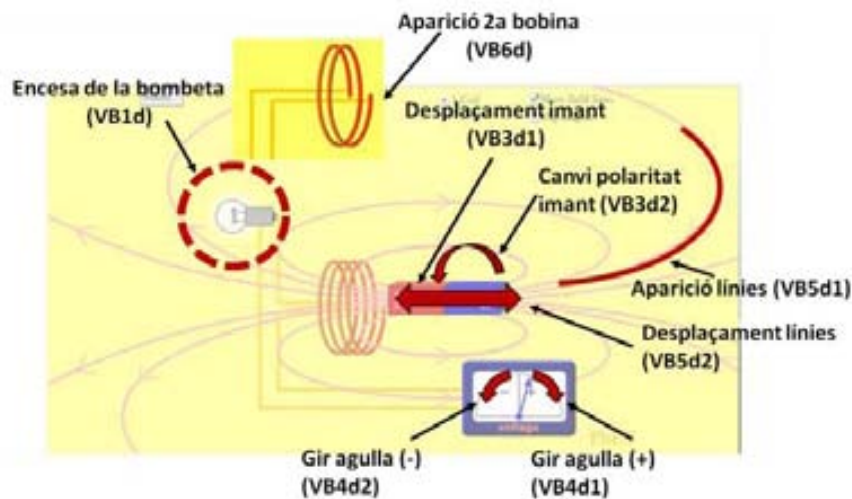


Figura 95. Elements visuals dinàmics de la simulació A

Prominència dels elements visuals de la representació: Els diferents elements de la representació visual de la simulació B tenen una major o menor prominència, en funció de la seva forma, els seus colors o la posició que ocupen (Martin i Veel, 1998). Si tenim en compte l'anàlisi per contrast de colors, observem com els elements del circuit tenen una major prominència que els cables connectors que connecten aquestes elements (Figura 96). D'aquests elements, els dos més prominents tant pel contrast de colors que representen com per la seva posició al centre de la representació, són els elements VB2 i VB4 (Figura 97).

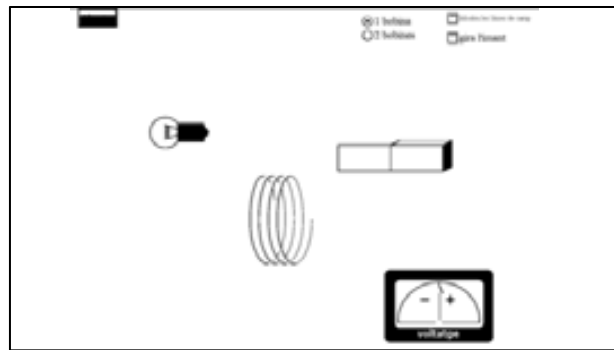


Figura 96. Anàlisi de la prominència visual per definició de contrastos.



Figura 97. Anàlisi de la prominència visual per quadrants.

La bombeta (a dalt a l'esquerra, VB1) i el sensor (a baix a la dreta, VB4) tenen per la seva posició en la composició una prominència mitja, per la rapidesa amb que es reproduïxen les representacions, la seva complexitat i la falta de contrast en alguns casos redueix la prominència d'aquestes representacions. Per exemple, en la Figura 98 apareixen 4 representacions de quatre graus diferents d'il·luminació de la bombeta. En la primera d'aquestes representacions la il·luminació és gairebé imperceptible, i per tant, d'una prominència molt baixa. En canvi, quan aquesta il·luminació és major, el cercle blanc entorn de la bombeta que representa la il·luminació és més prominent.

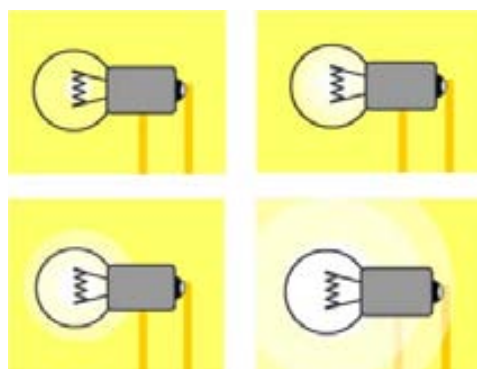


Figura 98. Diferents captures de pantalla corresponents a quatre graus d'il·luminació diferent de la bombeta.

Així si tenim en compte els diferents elements visuals identificats en l'estructura sintàctica de la representació, la prominència dels seus elements, les característiques de la informació dinàmica que apareix i el tipus d'interacció, podem resumir els resultats de l'anàlisi visual de la simulació B en la Taula 8.

Sintagma	Codi	Prominència	Elements dinàmics	Codi	Tipus de canvi	Tipus d'interacció
Bombeta	VB1	Variable	S'encén bombeta	VB1d	Transformació	Output
Bobina	VB2	Alta	---	--	--	--
Imant	VB3	Alta	Desplaçament imant	VB3d1	Translació	Imput
			Canvi de polaritat	VB3d2	Transformació	Imput
Sensor	VB4	Variable	Gir agulla (+)	VB4d1	Translació	Output
			Gir agulla (-)	VB4d2	Translació	Output
Línies	VB5	Mitja	Aparició línies	VB5d1	Transició	Imput
			Desplaçament	VB5d2	Translació	Imput
2a Bobina	VB6	Mitja	Aparició bobina	VB6d	Transició	Imput
Quadre	VB7	Baixa	Permet controlar els "Imputs" VB3d2, VB5d1 i VB6d			

Taula 8. Taula resum dels elements visuals de la simulació B

6.5b. Aclariment sobre el significat de VB4

Tant en l'apartat 6.4 com en l'apartat 6.5 hem anomenat "sensor" a l'element visual VB4, tot i que en aquesta representació apareix l'etiqueta verbal "voltatge". Perquè ens referim a aquest element com el sensor? Si ens fixem en la disposició dels tres elements del circuit, i dibuixem el diagrama del circuit que correspon a aquesta disposició podem veure que aquests tres elements es troben entre ells **connectats en sèrie** (Figura 99).

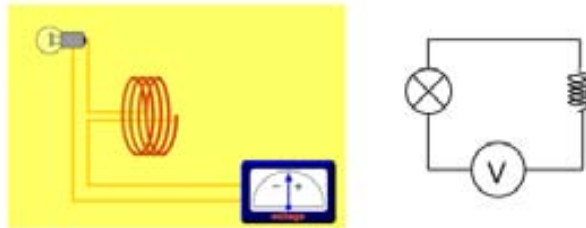


Figura 99. En la simulació B el circuit apareix connectat en sèrie amb la resta d'elements del circuit.

Ara bé, per la seva naturalesa, un voltímetre només pot mesurar una diferència de potencial entre dos extrems d'un circuit quan es troba connectat en paral·lel a aquests dos extrems (Figura 100). Per tant, la posició que ocupa el sensor en la representació no és la d'un voltímetre, sinó la d'un amperímetre, el qual sí que es connecta en el circuit en sèrie amb la resta d'elements, però que no mesura voltatge, sinó la intensitat de corrent.



Figura 100. Un voltatge sempre s'ha de connectar en paral·lel als elements del circuit entre els que vol mesurar una DDP.

Aquesta disposició del sensor en la representació s'ha de considerar com una incorrecció de la simulació, ja que o bé caldria canviar la representació del circuit o bé hauria d'aparèixer el terme "intensitat de corrent". Tanmateix, no hem considerat aquest conflicte entre voltímetre / amperímetre en la simulació B com una incorrecció que el lector hagi d'identificar com a tal i superar, sinó que hem considerat que serà suficient amb que el lector interpreti l'element VB4 com un sensor, i que sigui capaç de relacionar el seu comportament com una relació directa amb el corrent elèctric induït i amb la il·luminació de la bombeta, CB4 i CB5. El motiu d'aquesta elecció, d'una banda, és que al tractar-se d'un circuit simple, la FEM que s'indueix a l'interior de la bobina, el voltatge que hi ha entre els seus extrems i la intensitat de corrent són **tres magnituds directament proporcionals**. A més, la distinció entre aquestes magnituds és **massa subtil** per a estudiants dels cursos de la ESO (Psillos et al., 1987; Shipstone, 1984).

6.6. Requeriments de lectura: Quins són els requeriments de lectura per interpretar canònicament la simulació B?

Les anàlisis presentades en els apartats anteriors ens permeten resumir quins són els conceptes que els autors de la simulació B pretenien comunicar amb el seu disseny (les proposicions del sistema conceptual CB[i]), i també quins són els elements visuals VB[i] que han utilitzat per comunicar aquests conceptes. Per que un estudiant de 3r o 4t d'ESO pugui interpretar canònicament aquesta simulació i, per tant, pugui arribar a establir aquest conjunts de relacions conceptual a partir del procés de lectura i interpretació de la representació que apareix, entenem que és necessari que aquest lector dugui a terme un conjunt de requeriments, que presentem a continuació. Com ja hem fet en el capítol anterior, per discutir aquests requeriments hem seguit l'ordre utilitzat per presentar les proposicions del sistema conceptual CB[i], associant a cadascuna de les proposicions un o més requeriments de lectura d'alguns dels elements VB[i].

Requeriments de lectura per copsar la relació CB1

Per tal que un lector pugui conceptualitzar que *“El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixin els diferents extrems dels elements”* (CB1) passa per complir diferents requeriments de lectura. D'una banda, és necessari **interpretar a nivell semàntic cadascun dels elements del circuit i donar-li el seu significat corresponent** a partir dels seus coneixements previs sobre electricitat i circuits elèctrics. Tot i així, abordarem aquesta qüestió més endavant quan ens referim als requeriments de lectura associats a CA3 i CA4.

En primer lloc, la bombeta (VB1) apareix a través d'una representació pictòrica que, donat que aquest aparell elèctric és molt utilitzat en la vida quotidiana, no ha de comportar un requeriment de lectura gaire exigent. La bobina (VB2), en canvi, té un significat més específic acotat a un camp semàntic de contingut científic que el lector dels cursos de ESO no té perquè conèixer a priori. Si el lector no disposa d'aquest coneixement previ, no podrà donar significat a aquest element, o bé li donarà un significat alternatiu. El lector pot no interpretar que la bobina està constituïda per un fil conductor igual com ho està la resta del circuit, o també pot interpretar aquest objecte com una simple estructura cilíndrica sense donar sentit a la seva forma helicoidal. En aquest cas, caldrà parar especial atenció a la percepció de la forma forta i la forma dèbil de la bobina (Winn, 1994), ja que el lector podria donar més rellevància al “forat” de l'interior de la bobina que no pas a la seva integració amb el conductor elèctric.

Ahora, per comprendre la idea que el que apareix representat en la simulació B és un circuit elèctric, és necessari **interpretar el conjunt VB1, VB2 i VB4 com un conjunt**, i no pas com elements aïllats. Per fer-ho, tot i la poca prominència que tenen en la representació, el lector haurà de percebre les línies rectes que connecten els diferents elements com els connectors de la representació (Figura 101), i per tant, llegir tot el conjunt a nivell sintàctic. A més, una interpretació més profunda de l'estructura sintàctica de la representació requereix **reconèixer que tots els elements del circuit estan connectats pels seus dos extrems**. Aquest reconeixement no és del tot simple ni automàtic, ja que si bé en la bobina es veu més o menys clar, en el cas de la bombeta i el sensor, la representació de la connexió no ho facilita, ja que simplement es veuen dues línies en contacte amb aquests elements del circuit, sense una clara representació de com estan exactament connectats al circuit.

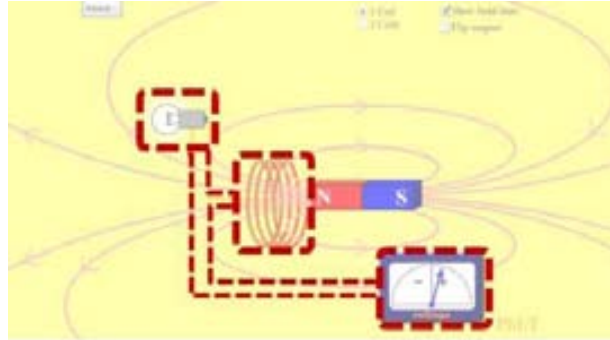


Figura 101. Sintagma visual conjunt format per tots els elements del circuit.

Requeriments de lectura per copsar les relacions CB2 i CB3

La segona idea clau que hem destacat en el sistema conceptual de la simulació B “*El circuit elèctric és un sistema que permet la circulació de corrent elèctric*” (CB2) és una idea complexa, altament abstracta, la conceptualització de la qual no pot només relacionar-se amb un procediment de lectura determinat, sinó amb les idees prèvies amb les que parteixen els estudiants i les seves concepcions espontànies de corrent, que hem abordat en l’apartat 2.3.4 (Cosgrove et al., 1985; Driver et al., 1994; Psillos et al., 1987; Shipstone, 1984). A més, el corrent elèctric no apareix explícitament representat, sinó que és una idea implícita que es deriva de la il·luminació de la bombeta (VB1d) i del moviment del sensor (VB4d1/2). Per aquests motius, la conceptualització de CB2 està lligada a dues altres idees claus, que són “*Percebem el corrent elèctric de l’interior del circuit a través dels canvis observables en la brillantor de la bombeta*” (CB3) i també “*Percebem el corrent elèctric de l’interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment de l’agulla del sensor*” (CB4).

Per tant, en primer lloc, el lector haurà **d’interpretar a nivell semàntic la representació de la il·luminació (VB1d)**, és a dir, donar a l’esfera blanca al voltant de la bombeta el significat corresponent. Donat que es tracta d’un tipus de representació molt quotidiana en dibuixos animats, no hauria de resultar gaire complicat que el lector ho interpreti com “la llum” que desprèn la bombeta. Ara bé, el veritable repte és que el lector interpreti que aquesta il·luminació de la bombeta es produeix quan hi circula un corrent elèctric, i per tant, requereix també **pensar en un implícit que no apareix representat com a tal: el corrent elèctric**.

Requeriments de lectura per copsar les relacions CB4

D’altra banda, arribar a copsar la idea que “*Percebem el corrent elèctric de l’interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment de l’agulla del sensor*” (CB4) també implica com en el cas anterior, pensar en un implícit que no apareix representat: el corrent elèctric. A més, aquesta idea també requereix **donar significat al sensor (VB4)**, cosa que a la seva vegada requereix d’un coneixement previ del lector sobre el seu significat. Com hem dit discutit de forma específica en l’apartat 7.3, no hem considerat com a requisit de lectura la distinció entre voltatge i intensitat, i per tant, entenem que hi ha prou amb que el lector doni a aquesta representació el significat ambigu **d’un aparell que “mesura” alguna magnitud relacionada amb “el corrent elèctric” del circuit**. Aquesta comprensió semàntica passa també per considerar el gir de l’agulla del sensor VB4d1/2 com la representació d’aquesta mesura del corrent elèctric, de manera que com més desplaçada estigui l’agulla respecte el punt central, major serà aquesta magnitud relacionada amb el corrent elèctric en el circuit.

Requeriments de lectura per copsar la relació CB5

Per tal que el lector construeixi la relació conceptual que “*La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l’agulla (i viceversa)*” (CB5) és necessari que, a part de tots els requeriments anteriors, integri adequadament les representacions VB1 i VB4, així com les informacions dinàmiques que intervenen (VB1d i VB4d1/2) tant a nivell sintàctic com a nivell semàntic.

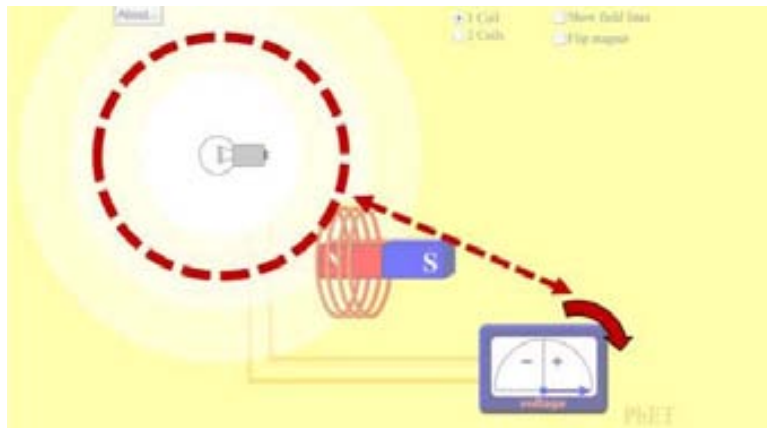


Figura 102. Integració de la il·luminació de la bombeta amb els girs de l’agulla del sensor.

En primer lloc, a nivell sintàctic és necessari que el lector entengui que la il·luminació de la bombeta i el moviment de l’agulla del sensor són dos processos que **succeeixen de forma simultània**, i també que tant VB4d1 com VB4d2 corresponen a VB1d1. És a dir, que la bombeta s’il·lumina **tant si l’agulla del sensor marca valors positius com si en marca de negatius**.

A nivell semàntic, el lector haurà d’integrar el significat de cada representació per construir una representació més profunda, en termes del corrent elèctric que actua sobre tots els elements del circuit alhora (relació conceptual CB2). El lector, a través de la idea de corrent haurà de donar significat a la simultaneïtat d’aquestes representacions, i també a la seva **relació directa**, és a dir, que quan més il·luminació, major és el desplaçament de l’agulla. Aquesta integració de la bobina i la bombeta tant a nivell sintàctic com a nivell semàntic serà clau per interpretar correctament la simulació B, ja que no només és necessària per a la relació CB5, sinó també ajuda a concebre CB2. Ara bé, el problema és que totes aquestes representacions dinàmiques es reproduïxen en un espai de temps molt curt, i per tant, dificulten la percepció i la interpretació que en faci el lector. A més, quan el desplaçament de l’agulla i la il·luminació de la bombeta són molt petites (és a dir, que es representa que s’està induint corrent, però poca) la seva prominència és molt baixa, cosa que fa més subtil la seva percepció.

Requeriments de lectura per copsar les relacions CB6 i CB7

En paral·lel a la representació del circuit, en la simulació B també es representa un imant, és a dir, una peça de material amb dos pols magnètics (anomenats Nord i Sud) que “*sempre provoca al seu voltant un camp magnètic*” (CB6). Per tant, és necessari **interpretar la representació de l’imant (VB3) a nivell semàntic**, és a dir, donar-li a aquesta representació el significat d’un imant. Aquest requeriment no ha de ser a primera vista gaire exigent per un lector dels cursos d’ESO, ja que un imant és un

objecte força quotidià. Ara bé, interpretar a nivell semàntic VB3 passa per **associar el codi color vermell/blau i les lletres “N” i “S” als dos pols de l’imant** nord i sud.

En canvi, construir la idea que “*Un camp magnètic es pot representar mitjançant línies de camp*” (CB7) a partir de la interpretació de la representació implica uns requeriments de lectura més complexes. Mentre que, com hem dit, la imatge d’un imant pertany a un camp semàntic d’un àmbit molt quotidià per un lector d’ESO, les línies de camp magnètic representades en el sintagma VB5 pertanyen a un camp semàntic molt més particular de ciències. La presència de representacions de “camps de forces” a pel·lícules, els dibuixos animats, videojocs o anuncis de televisió pot permetre al lector poc expert en magnetisme una certa noció de la idea de camp, però també pot portar a interpretacions errònies. També pot ser el que el lector d’ESO conegui la representació del camp que prové de la disposició de llimadures de ferro al voltant d’un imant (Figura 103).

En qualsevol cas, interpretar adequadament aquestes línies de camp passa per interpretar que no representen un camp homogeni en l’espai, i que hi ha punts de l’espai on aquest camp és major i d’altres on és menor. Per extreure tota la informació que conté la representació, el lector haurà **d’interpretar semànticament** que la intensitat del camp en cada punt es representa amb el grau de proximitat de línies (línies més juntes representen major intensitat del camp), i per tant, que és al voltant dels dos extrems de l’imant on la intensitat del camp és major.

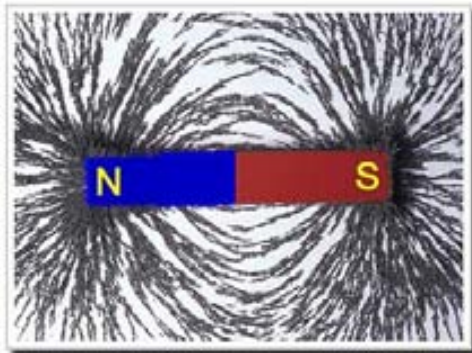


Figura 103. Representació de les línies de camp magnètic mitjançant llimadures de ferro.

D'altra banda, més enllà de la comprensió semàntica de les línies de camp, també hi ha un requeriment de lectura a nivell pragmàtic: **entendre que les línies de camp són una representació “imaginària”**, és a dir, que aquestes línies no corresponen a una representació pictòrica de cap element material real, sinó que són la representació d’una idea, una manera d’explicar les interaccions magnètiques entre objectes. Concebre la representació a aquest nivell pragmàtic pot tenir la dificultat afegida de la combinació en la representació entre objectes ideals i objectes reals (Zacharia, 2007).

En darrer lloc, per tal de copsar la idea que el camp que provoca l’imant al seu voltant canvia a la vegada que canvia la posició de l’imant és necessari que el lector **connecti les representacions de l’imant i de les línies com dues representacions solidàries**, és a dir, que quan una es mou, l’altra es mou a la vegada.

Requeriments de lectura per copsar la relació CB8

La idea que “*Quan desplaçem l’imant pels voltants o l’interior d’una bobina, s’indueix corrent elèctric*” (CB8) és possiblement la idea central representada en la simulació B. Anteriorment hem discutit que per copsar les idees CB3, CB4 i CB5 calia, com a mínim, relacionar i integrar les representacions dinàmiques de l’encesa de la bombeta

(VB1d) i del moviment de l'agulla del sensor (VB4d1/d2), tant a nivell sintàctic (atribuint-hi simultaneïtat i relació directa) com a nivell semàntic, associant-los el significat en termes del corrent elèctric del circuit. Així, per copsar la relació CB8 caldrà a més a més **integrar la representació del moviment de l'imant (VB3d1) amb les representacions VB1d i VB4d1/2**. És a dir, el lector haurà de veure que quan l'imant està en moviment s'encén la bobina i es mou l'agulla, i per tant, atribuir una causalitat entre aquestes representacions.

Com succeeix en els requeriments anteriors, la integració entre VB3d1, VB1d i VB4d1/2 s'ha de fer tant a nivell sintàctic com a nivell semàntic, entenent tant que es tracten d'informacions relacionades com quin és el significat de la relació que tenen aquestes representacions.

Requeriments de lectura per copsar la relació CB9

Arriba a copsar que “*La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina*” (CB9) és una tasca complexa, ja que intervenen diversos requeriments de lectura que el lector ha de complir, **relacionant la representació de les línies de camp (VB5) i de la bobina (VB2)**. Tot i que en anteriorment hem destacat la necessitat de donar significat a cadascuna de les representacions VB2 i VB5 per interpretar canònicament la simulació B, el lector haurà d'integrar aquestes dues representacions a nivell sintàctic, semàntic i pragmàtic.

A nivell sintàctic, és necessari que el lector veritablement **vegi que les línies de camp travessen la bobina**, és a dir, que les línies de camp estan tapades per la part esquerra de les espires, mentre que les línies tapen la part dreta de les espires (Figura 104). Aquest requeriment compta amb la dificultat afegida que apareixen diverses espires i diverses línies de camp, cosa que dificulta la seva interpretació.

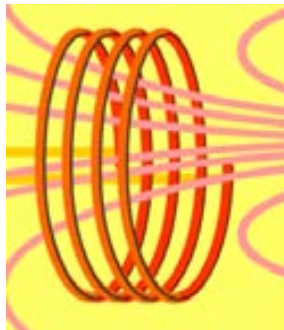


Figura 104. Superposició entre la bobina i les línies de camp.

En segon lloc, a nivell semàntic, el lector ha de donar un significat a la integració visual entre línies i bobina, cosa que passa per interpretar la bobina com una àrea definida que és travessada per un conjunt de línies (Figura 105).

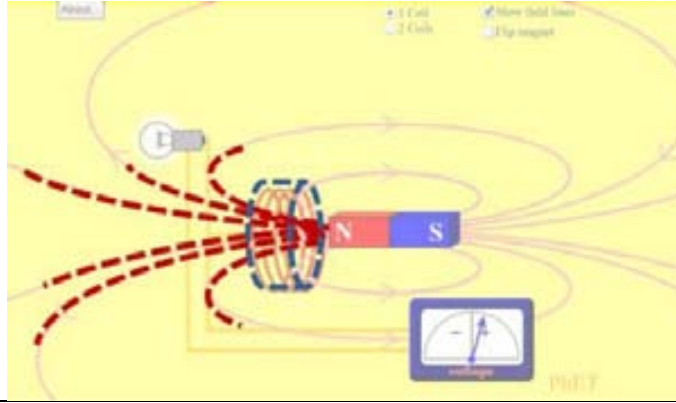


Figura 105. Representació de la bobina com una àrea que és travessada per un conjunt de línies de camp magnètic.

Finalment, el lector ha de comprendre a nivell pragmàtic que es tracta d'una interacció de dos objectes de naturalesa molt diferent. La bobina, d'una banda, està formada per espirals d'un material real, tangible, mentre que les línies de camp no representen cap objecte real. Aquesta distinció entre la naturalesa comunicativa de VB2 i VB5 es pot veure afectada pel fet que la representació dels dos sintagmes és molt semblant (colors i textures semblants).

Requeriments de lectura per copsar la relació CB10 i CB11

Ara bé, per interpretar canònicament la simulació és important que el lector no només atribueixi una causalitat entre el moviment de l'imant i el comportament de bombeta i sensor (relació CB8), sinó que també compregui que si l'imant es mou més a prop de la bobina la il·luminació representada en la bombeta i els girs de l'agulla són més intensos, també si l'imant es mou més ràpid també són més intenses, i que si l'imant està aturat, no s'indueix corrent. És a dir, cal que el lector copsi les idees "(CB9) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina" i "(CB10) La intensitat del corrent elèctric induït depèn de la distància de l'imant relativa a la bobina".

Per fer-ho, el lector haurà de **variar la velocitat de l'imant movent-lo més o menys ràpid**, i ser capaç de discernir entre la representació de major o menor intensitat de VB1d i VB4d1/2. A més, en aquesta lectura també és important que el lector no confongui les relacions conceptuals CB10 i CB11, és a dir, que no confongui la posició amb la velocitat de l'imant com a causa de la interacció amb el circuit. És a dir, encara que l'imant estigui molt a prop (o fins i tot a l'interior) de la bobina, si no està en moviment, les representacions VB1d i VB4d1/2 no es donen.

Aquest requeriment de lectura és d'una alta complexitat de diversos motius. En primer lloc, el lector haurà de **integrar la informació provinent de quatre fonts d'informació diferents**: bobina, imant, bombeta i sensor. L'exigència d'aquest requeriment vindrà també donada per la **poca prominència** que aquestes representacions dinàmiques poden tenir si el moviment de l'imant és molt lent o bé es produeix molt lluny de la bobina. Finalment, hem de tenir en compte que són processos dinàmics que succeeixen **molt ràpid**.

Requeriments de lectura per copsar la relació CB12

La idea que "La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espirals de la bobina" (CB12) és pot copsar gràcies a l'aparició de VB6, la segona bobina del circuit.

Aquesta segona bobina només està formada per dos espires, mentre que la bobina representada a VB2 en té quatre (Figura 106).

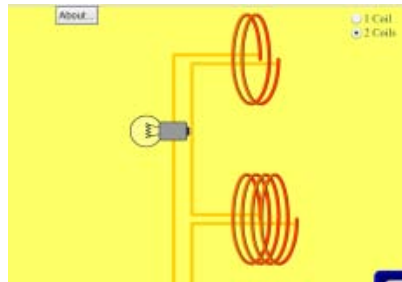


Figura 106. Representació de les dues bobines, una amb 4 espires i l'altra amb 2.

Per tal que el lector pugui conceptualitzar que el corrent induït depèn del nombre d'espores és necessari que compari VB2 i VB6, i que **interpreti aquesta comparació des del punt de vista pragmàtic**, interpretant que VB6 serveix per poder comparar el corrent produït quan l'imant travessa una bobina amb més o menys espores. Si aquesta relació entre VB2 i VB6 a nivell pragmàtic no es dona, el lector difícilment podrà fer aquesta comparativa de la quantitat de corrent induït quan l'imant s'acosta o travessa cada bobina (idea que es pot expressar amb "a més espores, major corrent generat"), i per tant, arribar a trobar cap mena de dependència entre variables.

**Capítol 7. Síntesi i discussió dels
resultats de l'anàlisi visual i
conceptual de les simulacions A i B**

7.1. Síntesi dels resultats

Al llarg del capítol 6 hem analitzat les simulacions A i B des del punt de vista dels conceptes que apareixen representats, i hem definit un conjunt de 10 proposicions CA[i] i 12 proposicions CB[i] que també hem agrupat en subsistemes conceptuals més petits als voltant dels quals gira la simulació. En paral·lel, a través de l'anàlisi visual de cada representació hem identificat un conjunt d'elements visuals VA[i] i VB[i], i hem analitzat gramaticalment cada composició, la informació que apareix representada a través d'elements dinàmics i la prominència de cadascun d'aquests elements. Basant-nos en la relació entre els elements conceptuals (CA[i] i CB[i]) i els elements visuals (VA[i] i VB[i]) hem identificat els diferents requeriments de lectura que han de permetre al lector interpretar, relacionar, assignar significat, distingir, etc., les informacions que els autors de la simulació pretenien comunicar a través dels seus elements visuals.

Per resumir tota aquesta anàlisi i, per tant, per poder respondre a la pregunta de recerca **P1**. *Com són les simulacions A i B des del punt de vista visual, quins conceptes apareixen representats i quins requeriments de lectura calen per interpretar-les?*, en la Taula 9 hem resumit aquest conjunt de requeriments de lectura, organitzant-los en funció de les relacions CA[i] a les que estan associats, i afegint-hi també les incorreccions de la simulació identificades, que hem situat a sota de la proposició a la qual afecta, afegint el símbol $\square \rightarrow$ a sota de cada requeriment. Seguidament, en la Taula 10 hem presentat una taula equivalent, que recull l'anàlisi visual, conceptual i de requeriments de lectura per la simulació B.

Tenint en compte la discussió que hem fet en el capítol anterior sobre aquests requeriments de lectura identificats, i incloent l'anàlisi visual que hem realitzat en els apartats 6.2 i 6.5, podem considerar que cada requeriment de lectura difereix de la resta en funció del nivell gramatical al que està associat, de si intervien representacions múltiples (Ainsworth, 2006), del tipus d'informació dinàmica que intervé (Lowe, 2003) i de la seva prominència (Kress i Van Leeuwen, 1996; Winn 1994), tal com presentem en la xarxa sistèmica de la Figura 107.

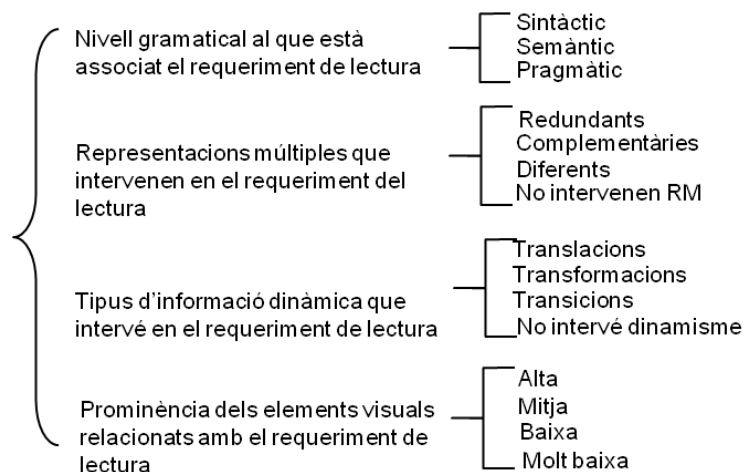







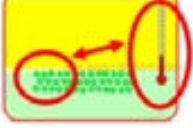

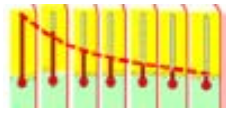







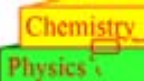



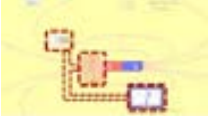


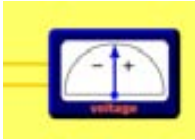


Figura 107. Xarxa sistèmica amb les dimensions d'anàlisi dels requeriments de lectura definits.


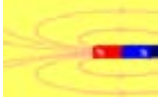
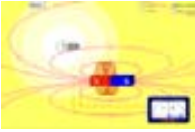
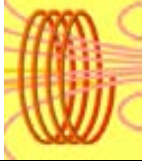

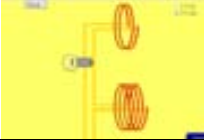
Quins són els conceptes i les relacions conceptuals que es representen a través de la simulació A?	Quins són els requeriments de lectura per interpretar canònicament la simulació A?	Com són aquests requeriments de lectura? (en funció de com són els elements visuals que componen la representació visual)					Prominència
		Representació visual	Nivell gramatical	Representacions Múltiples (RM)	Tipus de dinamisme		
(CA1) El fregament entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades.	Donar significat al moviment del bloc groc (VA2d)		Semàntic	---	Translació	Alta	
	Relacionar el moviment del bloc groc (VA2d1) amb l'augment de temperatura (VA6d1)		Sintàctic i semàntic	Complementàries	Translacions	Alta	
(CA2) El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules	Interpretar l'estructura de "zoom macro-micro" que relaciona VA1 amb el conjunt VA2-VA5		Sintàctic	Complementàries	---	Baixa	
	Relacionar el moviment del llibre (VA1d) amb el moviment del bloc groc (VA2d1)		Sintàctic	Complementàries	Translacions	Molt baixa	
(CA3) Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules.	Donar significat a la variació de moviment de les partícules (VA3d1 i VA4d1)		Semàntic	---	Transformacions	Alta	
	Donar significat a la relació de contigüïtat entre VA3d1 i VA4d		Semàntic	Complementàries	Transformacions	Alta	
	Superar la incorrecció de la simulació	Les partícules es superposen lleugerament	Pragmàtic	Complementàries	---	Baixa	
(CA4 i CA8) L'augment / disminució de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment	Integrar els canvis en les representacions de la vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d) amb els canvis en el termòmetre		Semàntic	Complementàries	Transformació i translació	Alta	

/disminució de la vibració de les partícules.	(VA6d1 i VA6d2).						
(CA5 i CA6) L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn // La diferència de temperatura amb l'entorn provoca un refredament de les superfícies.	Incorporar a la representació un element implícit que no apareix representat: l'entorn.		Pragmàtic	---	---	---	
(CA7) El refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn.	Identificar i interpretar VA6d3		Sintàctic i semàntic	---		Transformació d'una translació	Baixa
	Superar la incorrecció de la simulació	La temperatura triga uns instants en començar a baixar	Pragmàtic	---		Transformació d'una translació	Molt baixa
CA9. El fregament provoca un desgast de les superfícies fregades.	Distingir la vibració (VA3d1) i el despreniment (VA3d2) de les partícules		Sintàctic	Diferents		Es combinen transformacions, translacions i transicions	Alta
	Interpretar el despreniment de les partícules (VA3d2)		Semàntic	---		Translacions i transicions	Alta
	Superar la incorrecció de la simulació	En realitat només es desgasta el llibre groc.	Pragmàtic	Diferents i complementàries		Translacions i transicions	Alta
CA10. Les superfícies fregades a nivell mesoscòpic tot i semblar llises són irregulars.	Identificar i interpretar el contorn VA3 quan es reinicia la simulació (VA3d3)		Sintàctic i semàntic	---	---		Mitja

Altres requeriment per comprendre la doble representació de la matèria	Interpretar el contorn de les partícules (VA3 i VA4)		Sintàctic i pragmàtic	Redundants	---	Alta
	Integrar el significat de les partícules (VA3 i VA4) amb els seus respectius fons (VA2 i VA5)		Semàntic	Redundants	---	Mitja
Altres requeriment per interpretar adequadament els elements decoratius	Interpretar les etiquetes verbals "Química" i "Física"		Pragmàtic	---	---	Baixa
	Interpretar els punts blancs que representen la brillantor		Pragmàtic	---	---	Baixa

Taula 9. Síntesi de les característiques dels requeriments de lectura per la simulació A.

Quins són els conceptes i les relacions conceptuals que es representen a través de la simulació B?	Quins són els requeriments de lectura per interpretar canònicament la simulació B?	Com són aquests requeriments de lectura? (en funció de com són els elements visuals que componen la representació visual)				
		Representació visual	Nivell gramatical	Representacions Múltiples (RM)	Tipus de dinamisme	Prominència
(CB1) El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixen els diferents extrems dels elements	Interpretar el sintagma format pel conjunt dels diferents elements del circuit: VB1, VB2 i VB4		Sintàctic	Complementàries	---	Baixa
	Donar significat a la representació de la bobina (VB2)		Semàntic	---	---	Alta
(CB2 i CB3) El circuit elèctric és un sistema que permet la circulació de corrent elèctric // Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en la brillantor de la bombeta	Interpretar la representació VB1d com la il·luminació de la bombeta		semàntic	---	Transició i transformació	Variable*
	Pensar en un implícit que no apareix representat com a tal: el corrent elèctric	---	Pragmàtic	---	---	---
(CB4) Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment de l'agulla.	Donar significat del sensor (VB4) i interpretar els girs de l'agulla (VB4d1/2)		Semàntic	---	transformació	Variable*
(CB5) La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l'agulla (i viceversa).	Integrar la il·luminació de la bombeta (VB1d) amb els girs de l'agulla del sensor (VB4d1/2)		Sintàctic semàntic	Complementàries	Transformacions	Variable*
(CB6 i CB7) L'ímant sempre provoca al seu voltant un camp magnètic // Un camp magnètic	Donar significat a la representació de l'ímant (VB3)		Semàntic	---	---	Alta

es pot representar mitjan ant línies de camp	Donar significat a la representació de les línies de camp (VB5)		Sem ntic i pragmtic	---	---	Mitja
	Connectar el moviment de l'imant (VB3d1) i de les línies (VB5d2) com dues representacions solid ries		Sint ctic	Complement ries	Translacions	Mitja
(CB8) Quan desplaçem l'imant pels voltants o l'interior d'una bobina, s'indueix corrent el ctic	Relacionar la il luminació de la bombeta (VB1d) i els girs de l'agulla (VB4d1/2) amb el desplaçament de l'imant (VB3d1)		Sint ctic sem ntic	Complement ries	Transició i transformacions	Variable*
(CB9) La intensitat del corrent el ctic dep n del nombre de línies de camp que travessen la bobina.	Relacionar i integrar la bobina (VB2) i les línies de camp (VB5)		sem ntic i pragmtic	Complement ries	Translació	Mitja
(CB10 i CB11) La intensitat del corrent el ctic indu t dep n de la dist ncia de l'imant relativa a la bobina // La intensitat del corrent el ctic dep n de la velocitat de l'imant relativa a la bobina.	Relacionar la dist ncia i la velocitat relativa bobina-imant (VB2-VB3) amb la il luminació de la bombeta (VB1d) i els girs de l'agulla (VB4d1/2)		Sint ctic i sem ntic	Complement ries	Transició, transformació i translació	Variable*
(CB12) La intensitat del corrent el ctic dep n del nombre d'espines de la bobina.	Relacionar i comparar les dues bobines (VB2 i VB6)		Pragmtic	Complement ries	Transició	Alta

Taula 10. Síntesi de les característiques dels requeriments de lectura per la simulació B.

*Promin ncia variable: Dep n de la intensitat de les representacions VB1d i VB4d1/2. Si l'imant es fa moure l'imant amb molta velocitat i es fa a prop o dins de la bombeta, aquesta promin ncia pot ser molt alta. Si no, pot ser molt baixa o gairebé imperceptible.

7.2. Discussió dels resultats

Un simple cop d'ull a l'estil gràfic utilitzat en les simulacions ens porta a pensar que la voluntat amb que s'ha dissenyat la representació és la de ser senzilla i entenedora per a estudiants dels cursos d'ESO. En el cas de la simulació A en la representació de la simulació A aquesta sensació de "senzillesa" es pot veure reforçada pel tipus d'interacció (arrossegant el bloc VA2 horitzontalment per provocar fregament), o per l'ús de formes suaus i arrodonides en els rectangles (Estrada, 1991), els colors vistosos, els petits reflexos en les representacions de VA3 i VA4, la iconicitat del termòmetre o les etiquetes verbals decoratives "física" i "química". Pel que fa a la simulació B, la voluntat explícita dels autors és fer la simulació entenedora pels cursos de secundària (la simulació apareix en el repositori de PhET com adequada per "*middle school*"), proposant una senzilla interacció simulació – lector a través del moviment del ratolí, que al seleccionar l'imant el fa moure, que fins i tot inclou l'etiqueta verbal "*mou-me!*" quan la simulació es carrega per primera vegada. Totes aquestes característiques visuals podrien fer pensar, a primera vista, que les representacions de la simulació A i B no haurien de ser especialment difícils de llegir i interpretar.

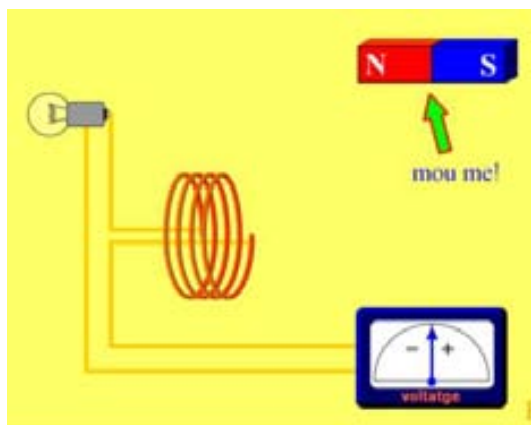


Figura 108. Captura de pantalla de la simulació B cada cop que es reinicia.

Tot i aquesta "simplicitat aparent" de les simulacions A i B, l'anàlisi sistemàtica i en profunditat de les característiques de cada simulació i dels seus respectius requeriments de lectura exposats en la Taula 9 i en la Taula 10 en la ens han permès definir fins a 10 relacions conceptuals diferents representades en la simulació A i fins a 12 en la simulació B (molta densitat d'informació), les quals porten a la seva vegada associades un nombre molt gran de requeriments de lectura, que contradiuen aquesta idea de "simplicitat" de les simulacions. Tal com hem argumentat al llarg de l'anàlisi, si estudiant que llegeixi les simulacions no compleix aquests diferents requeriments de lectura identificats, la comprensió que es derivi de la lectura de la simulació pot ser incorrecta, deficient o distorsionada. En els següents punts abordem la discussió d'aquests requeriments de lectura.

7.2.1. Discussió de l'anàlisi gramatical de les simulacions i dels seus requeriments de lectura

En l'apartat 2.1, dins del marc teòric, hem argumentat la validesa de la idea d'una "gramàtica de les representacions visuals", que apareix al llarg de la literatura revisada

(Deforge, 1991; Dondis, 1973; Kress i Ogborn, 1998; Kress i van Leeuwen, 1996, 2002; Megah, 2010; Moles, 1991; Plass et al., 2009; Radulescu, 2012; Vilafaña, 1988b; Villafaña i Mínguez, 1996; Waldrip et al., 2006). Alhora, també hem assenyalat com en la literatura no existeix un consens sobre si els nivells gramaticals de la lingüística (sintaxi, semàntica i pragmàtica) són totalment exportables al camp de les imatges. Ara bé, entenem que aquest no és un debat que es pugui fer a nivell teòric i en abstracte, sinó que cal partir de la voluntat d'anàlisi específica del nostre treball (doncs ens centrem en simulacions educatives de física, i no en imatges en general), i per això hem considerat que classificar els requeriments de lectura en funció d'aquests nivells gramaticals era una eina útil i vàlida pel nostre treball. Així, ens referim al **nivell sintàctic** quan el requeriment de lectura implica identificar unitats d'informació rellevants i interpretar la seva distribució espacial (quan es tracta d'informacions estàtiques) o la seva distribució temporal (quan es tracta d'informacions dinàmiques). En segon lloc, ens referim al **nivell semàntic** quan el requeriment implica assignar un significat específic a un element visual o bé integrar diferents significats per construir-ne de nous. Finalment, hem parlat del **nivell pragmàtic** quan el requeriment de lectura implica interpretar el sentit amb què ha estat representat un element (és a dir, la seva naturalesa comunicativa), cosa que implica interpretar no només què representa un element sinó perquè apareix (o no apareix) en base a la funció que exerceix aquest element en la representació. És a dir, de forma simplificada, podem dir que la sintaxis fa referència al “*com?*”, la semàntica fa referència al “*què?*”, i la pragmàtica fa referència al “*perquè?*” de la representació visual. En aquesta discussió, en darrer lloc, cal advertir (com hem argumentat en l'apartat 2.1.1) que hem deixat de banda els elements mínims no significatius, associats al nivell morfològic de la representació.

Pel que fa a la **simulació A**, si considerem el nombre de requeriments de lectura associats a cada nivell gramatical sobre el total de requeriments identificats (19) arribem als resultats de la Taula 11. En aquesta taula trobem que existeixen requeriments de lectura associats a tots tres nivells gramaticals. L'existència en la representació d'una estructura compositiva composta per múltiples sintagmes visuals, on s'utilitza una estructura analítica de “zoom” i una superposició de fons i partícules fa que existeixin molts requeriments visuals a nivell sintàctic. De fet, aquesta mateixa idea és defensada per Braga et al. (2012), que assenyalen que interpretar les relacions espacials és un dels elements claus per a la lectura²⁶ d'imatges educatives de ciències. Des del punt de vista semàntic existeixen alguns dels elements amb una interpretació inequívoca, com per exemple els llibres o el termòmetre, però també existeixen altres elements amb un significat científic molt concret que el lector ha de conèixer (les partícules, l'erosió, la irregularitat de la superfície, etc.). Finalment, la combinació de representacions intensives i exhaustives, d'elements representats amb altres de no representats (l'implícit de “entorn”, necessari per comprendre el refredament del sistema representat), de representacions decoratives i científiques, i l'existència d'incorreccions que el lector ha de poder identificar com a tal ens ha portat a identificar fins a sis requeriments de lectura a nivell pragmàtic, on el lector no només ha d'interpretar què hi ha representat i quin significat té, sinó també perquè està representat d'aquesta manera. Considerem que aquesta és una idea molt rellevant, doncs una concepció naïf de la lectura podria portar a pensar que si un alumne no entén una simulació és només perquè no coneix el significat dels seus elements (a nivell semàntic). En canvi, en els requeriments de la simulació A es pot veure com la interpretació canònica de la representació implica entendre perquè cada element està representat d'una determinada manera. Així, per exemple, en el cas de l'àrea ocupada per partícules, llegir la simulació implica ser capaç d'entendre que només apareixen unes quantes partícules i no totes perquè els autors de la simulació consideren que

²⁶ Tot i que aquests autors no parlen de “lectura” sinó de “visualització interpretativa”.

amb això ja és suficient per expressar el comportament molecular dels materials fregats.

Requeriments de lectura associats a cada nivell gramatical (simulació A)	
Sintàctic	7/19
Semàntic	9/19
Pragmàtic	6/19

Taula 11. Nivell gramatical al que hem associat cada requeriment de lectura de la simulació A.

Pel que fa a la **simulació B**, al analitzar els requeriments de lectura que hem identificat en la simulació B, trobem que 9 dels 13 requeriments que hem definit es troben sobretot en el nivell semàntic (Taula 12). Això és degut a que apareixen moltes representacions estrictament científiques i per tant amb un significat molt concret que el lector ha de conèixer. És a dir, la presència d'elements visuals amb un significat científic particular requereix que a aquests se'ls assigni un significat que, a la seva vegada, necessita d'un cert coneixement previ per part del lector, ja que si el lector no sap que és una bobina, un imant, unes línies de camp, etc., tindrà molts impediments per interpretar la representació. Ara bé, la lectura de la simulació B també té requeriments a nivell sintàctic, ja que el lector haurà de comprendre l'estructura del circuit, l'estructura helicoïdal de la bobina i la connexió a nivell sintàctic entre representacions simultànies. Finalment, també hem identificat requeriments a nivell pragmàtic, ja que tot i que en la simulació B no hi ha elements decoratius (com passava a la simulació A) ni es combinen nivells de representació científica (excepte les línies de camp magnètic, tot són objectes macroscòpics del món real), sí que intervenen altres aspectes pragmàtics de la representació que el lector haurà de saber llegir, com la representació combinada d'elements reals i imaginaris, que entronca amb la discussió present en la literatura sobre "ver visibles els elements invisibles" en les simulacions educatives de física (Olympou et al., 2012), o el paper que juga la representació de la segona bobina, necessari que el lector pugui comparar el corrent que s'indueix amb més o menys espines.

Requeriments de lectura associats a cada nivell gramatical (simulació B)	
Sintàctic	5/13
Semàntic	9/13
Pragmàtic	4/13

Taula 12. Nivell gramatical al que hem associat cada requeriment de lectura de la simulació B.

Finalment, tant per la simulació A com per la simulació B cal tenir en compte que tot i la classificació feta dels requeriments en base als nivells gramaticals, alguns requeriments de lectura estan relacionats i per tant intervenen diferents nivells gramaticals alhora de forma complementària. Per exemple, molts dels elements visuals representats requereixen ser identificats com un element significatiu d'informació (a nivell sintàctic) i també interpretar-los donant-li un significat (a nivell semàntic). Per exemple, per integrar la bobina i les línies de camp, ja que el lector ha de fer aquesta integració a tots els nivells gramaticals alhora: sintàctic, semàntic i pragmàtic. En aquest sentit, els resultats concorden amb l'afirmació de Jiménez (1998) que no es poden deixar els aspectes sintàctics al editor d'imatges i els aspectes semàntics al professor de ciències, ja que aquests nivells són difícilment deslligables i cal contemplar-les en el seu conjunt.

7.2.2. Discussió de la naturalesa comunicativa dels elements visuals de les simulacions

A l'hora de respondre la pregunta de recerca **P1** per conèixer “com són les simulacions A i B”, també volem discutir la seva naturalesa comunicativa dels diferents elements visuals representats. Per fer-ho, ens basem en les dues propietats de les imatges des del punt de vista de la naturalesa comunicativa: la modalitat i el nivell de representació, discussió que entronca amb els requeriments a nivell pragmàtic que acabem de discutir.

La modalitat, com hem definit en l'apartat 2.1.4, és la propietat dels enunciats que expressa la relació del parlant amb allò que diu. En la simulació A, com passa en moltes altres simulacions, apareixen elements de tres modalitats diferents: els elements que tenen una funció informativa sobre algun concepte científic representat, els elements que tenen una funció artística (és a dir, no serveixen per informar de cap concepte sinó per decorar o amenitzar la simulació) i els elements externs de la representació que serveixen per controlar el seu funcionament. Villafañe i Mínguez (1996) associen el grau d'iconicitat 2-4 a la funció informativa, i el grau d'iconicitat 5-6 a la funció artística. La presència dels punts blancs de brillantor de les partícules de la simulació A són un exemple d'un grau d'iconicitat associat a una funció artística, que el lector ha d'interpretar com a tal i no confondre amb un element informatiu. Si en canvi, la representació de les partícules fos d'un grau d'iconicitat 3 o 4 (sense color, brillantor, ombres, etc.), la seva naturalesa informativa i no decorativa seria més evident. L'existència d'aquests i altres elements decoratius (com les etiquetes verbals “física” i “química” de la representació), implica un major nombre de requeriments de lectura, i també un conjunt de dificultats que discutirem més endavant en la Secció III. Per tant, considerem que els elements decoratius afegeixen una major complexitat a la lectura, i estem d'acord amb Perales (2002), que afirmà que la tendència al que anomena l'embelliment de les imatges no està justificada, i afegeix complexitat i proliferació d'elements distractors que augmenten el risc d'interpretacions errònies.

Un altre element clau de la naturalesa comunicativa de la representació que hem inclòs en l'apartat 2.3.1 és el nivell de representació del món (Johnstone, 1991) de cada element visual. Tant en la simulació A com en la B apareixen o bé elements macroscòpics combinats amb d'altres de microscòpics o bé objectes reals combinats amb altres d'imaginari. En el cas de la simulació A és important remarcar la idea que la representació de les partícules no és trivial, doncs requereix que el lector entengui que les partícules representades són realment molt i molt més petites que el que apareixen representades, que no tenen propietats macroscòpiques (forma, color, brillantor, etc.) i també que es mouen molt i molt més ràpid que no pas la velocitat de vibració que apareix en la simulació (Harrison i Treagust, 2002). Alhora, en aquesta mateixa representació no només es combina el nivell de representació macroscòpic i microscòpic, sinó també hi ha elements mesoscòpics (Besson i Viennot, 2004) com ara la irregularitat, la interpretació de la qual tampoc és trivial.

En paral·lel, pel que fa a la simulació B, la presència de les línies de camp implica també un doble nivell de representació (objectes reals macroscòpics i objectes imaginari i simbòlics), requeriment assenyalat també per Pintó i Ametller (2002) com el conflicte “*real-word vs. symbolic elements*”, i que ha estat també un element de discussió en altres estudis entorn de simulacions i el conflicte entre objectes reals i ideals que contenen (Zacharia i Papaevripidou, 2008; Zacharia, 2007).

Aquest conjunt de requeriments de lectura associats a la comprensió del nivell de representació (macro vs micro, macro vs meso, real vs simbòlic, etc.) reforcen una idea transversal en la recerca: la importància de les especificitats del contingut científic representat (Meltzer, 2007), que no es poden explicar ni amb els models psicològics ni amb la teoria semiòtica.

7.2.3. Discussió de les representacions múltiples presents en les simulacions

Analitzant els requeriments de lectura identificats, podem veure com una comprensió canònica de cada simulació implica llegir, estar pendent, relacionar i interpretar moltes informacions alhora (per exemple, el desgast i l'escalfament de la simulació A, o l'imant, la bombeta i el voltímetre en la B). A la combinació d'informacions procedents de diferents elements de la representació és el que en l'apartat 2.2.3 del marc teòric hem anomenat la lectura de representacions múltiples, basant-nos en la idea que en un procés determinat de lectura pot fer-se sobre una unitat d'informació (representació simple) o bé sobre la integració de diverses unitats d'informació (representació múltiple).

Pel que fa a la **simulació A**, en els requeriments necessaris per que la interpretació sigui canònica és la lectura de representacions múltiples. Així, per llegir canònicament la simulació A no només cal identificar i comprendre unitats d'informació visual per separat, sinó que 10 dels 19 requeriments identificats (Taula 13) cal integrar aquestes informacions, o bé distingir-les en els casos que confondre-les indueixi a errors de lectura. En alguns casos, com els dels requeriments associats a les relacions CA4 i CA8, considerem que es tracta de dues representacions complementàries que segons la discussió teòrica proposada en el capítol 2, promouen una comprensió més profunda a partir de la construcció de relacions conceptuals (Ainsworth, 2006). Discutirem les conclusions que extraiem d'aquests resultats en l'apartat 15.3 de la Secció V, on assenyalarem els reptes i les problemàtiques associades a la lectura de representacions múltiples.

Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions múltiples (simulació A)			
Requeriments on intervenen algun tipus de RM	10/19	Redundants	2/19
		Complementàries	7/19
		Diferents	2/19
Requeriments on no intervé cap tipus de RM	9/19		

Taula 13 Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions múltiples en la simulació A.

Pel que fa a la **simulació B**, a partir dels resultats de la Taula 10 també podem veure que molts dels requeriments implica la lectura simultània de diferents elements visuals que constitueixen representacions múltiples. Dins dels requeriments identificats, la lectura de representacions múltiples complementàries esdevé un requeriment en 7 dels 13 requeriments totals identificats, tenint en compte que els altres 6 requeriments (no associats a la lectura de representacions múltiples) són els requeriments d'interpretar cadascun dels elements del circuit per separat (VB1, VB2, VB3, VB4 i VB5). A més, d'aquests requeriments de lectura de representacions múltiples cal tenir en compte que en 3 dels 7 casos es tracta d'una lectura en que intervenen més de dos representacions (tres o fins a quatre representacions), ja que per exemple, copsar la relació entre la velocitat relativa imant - bobina i el comportament de la bombeta i el

sensor passa per percebre fins a quatre representacions diferents, tres de les quals dinàmiques i dos de les quals reproduïdes en un interval de temps molt curt, com discutirem a continuació.

Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions múltiples (simulació B)			
requeriments on intervenen algun tipus de RM	7/13	Dos representacions	4/13
		Tres o més representacions	3/13
Requeriments on no intervé cap tipus de RM	6/13		

Taula 14. Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions múltiples en la simulació B.

Finalment, cal tenir en compte que alguns d'aquests requeriments de lectura en que el lector ha de relacionar no són tan "obvis" com pot semblar a primera vista i, per tant, no tenen perquè fer-se de forma automàtica. Per exemple, mentre en la simulació A apareix representada la relació "*fregament* → *escalfament*", i es tracta a més d'una relació molt vinculada a l'experiència quotidiana que pugui tenir un lector dels cursos d'ESO, en la simulació B la combinació entre bombeta – bobina – imant – sensor és lleugerament més complexa. Per exemple, un lector podria no relacionar el moviment de l'agulla del sensor amb la il·luminació de la bombeta, o també podria confondre i barrejar aquestes representacions múltiples, pensant-se que la corrent s'indueix quan l'imant s'acosta a la bombeta, en comptes de quan ho fa a la bobina. Per aquest motiu, tot i que en la Taula 10 no haguem parlat de requeriments associats a distingir representacions diferents, haurem de tenir en compte aquesta qüestió quan analitzem les dificultats de lectura en la Secció III.

7.2.4. Discussió de les representacions dinàmiques de les simulacions

Un altre aspecte de l'anàlisi de les simulacions que hem assenyalat al llarg del capítol 6 és que la informació dinàmica que conté la simulació és sovint una informació molt ràpida i curta (el despreniment de les partícules en la simulació A o els desplaçaments de l'agulla del sensor en la simulació B). Per exemple, en la Figura 121 que discutirem més endavant en la Secció III es pot veure com en només sis segons, les partícules del llibre groc s'han després i han desaparegut, cosa que dóna molt poc temps al lector per copsar aquesta informació. Aquesta qüestió sobre la velocitat de reproducció de les representacions animades entronca amb la discussió existent en la literatura del camp sobre si la velocitat de reproducció d'informació animada afecta a la percepció d'informació, i per tant, sobre quina és el format de presentació d'informació dinàmica idoni (Ainsworth, 2008; Lowe i Schnotz, 2008; Mayer i Moreno, 2002; Meyer et al., 2010; Tversky et al., 2002).

Pel que fa a la **simulació A**, si analitzem els diferents requeriments de lectura que hem identificat en funció de si aquests impliquen la lectura d'informació estàtica o dinàmica, trobem que la major part d'aquests requeriments estan associats al fet de ser representacions dinàmiques (Taula 8), cosa que demostra la gran rellevància que té la dimensió dinàmica en els requeriments de lectura. Pel que fa a la **simulació B**, hem vist que 7 elements visuals identificats en la Figura 92 tots menys la bobina VB2 són elements amb un comportament dinàmic. Això implica que una part molt important dels requeriments de lectura identificats estiguin relacionats amb el comportament

dinàmic d'aquests, entre els que hi ha tant transicions com transformacions i translacions (Taula 16). Existeixen altres aspectes associats al comportament dinàmic dels elements de la simulació B que hem destacat al llarg de l'anàlisi dels requeriments de lectura. D'una banda, en la Taula 8 hem vist que molts d'aquests comportaments estan relacionats amb "outputs", és a dir, que és el lector qui modifica el comportament: moviment de l'imant i de les línies de camp, canvi de polaritat, aparició segona bobina i de les línies de camp, etc. Això fa que, des del punt de vista de la interacció la simulació B sigui més rica que la simulació A, però també implica que hi ha una major combinació de possibilitats de representació que el lector haurà de poder controlar sense que es vegi afectada la seva comprensió de la simulació. De l'altra banda, també hem discutit en diferents requeriments de lectura la brevetat amb que es representa la il·luminació de la bombeta (VB1d) i el moviment de l'agulla del sensor (VB2d1/2). Això obligarà al lector a repetir en varies ocasions el moviment de l'imant per poder llegir acuradament tot el que passa i poder establir les relacions necessàries per assolir la seva comprensió.

Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions dinàmiques (simulació A)			
Requeriments on intervenen algun tipus de representació dinàmica	11/19	Translacions	9/19
		Transformacions	6/19
		Transicions	3/19
Requeriments on no intervé cap tipus de representació dinàmica	8/19		

Taula 15. Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions dinàmiques en la simulació A.

Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions dinàmiques (simulació B)			
Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions dinàmiques en la simulació B			
requeriments on intervenen algun tipus de representació dinàmica	8/13	Translacions	3/13
		Transformacions	5/13
		Transicions	4/13
Requeriments on no intervé cap tipus de representació dinàmica	5/13		

Taula 16. Requeriments de lectura associats a la interpretació de representacions dinàmiques en la simulació A.

7.2.5. Discussió de les llicències gramaticals i les incorreccions visuals i/o conceptuals de les simulacions

A la discussió dels nivells gramaticals, la naturalesa comunicativa o la densitat d'informació de les simulacions cal afegir una altra característica de les simulacions: la presència de llicències gramaticals i incorreccions visuals.

La idea de llicències gramaticals ha estat discutida en l'apartat 2.3.1 del marc teòric (Secció I), on hem assenyalat el risc que suposa l'ús d'elements visuals que no s'adeqüen totalment a la informació que es vol representar, però que els dissenyadors de simulacions i imatges científiques en general utilitzen de forma arbitrària. Aquest és el cas de la representació no-exhaustiva de les partícules sobre els fons groc i verd de la simulació A, que com hem explicat anteriorment en l'apartat 7.2.1 implica

requeriments de lectura a nivell pragmàtic. En altres casos, trobem que la frontera entre què és llicència gramatical i què és directament una incorrecció no està clara, i per això parlem de incorreccions visuals i/o conceptuals. Per exemple, com hem exposat en l'apartat 6.3b del capítol anterior, l'anàlisi de la simulació A no ens permet saber amb rotunditat perquè els autors de la simulació només han representat el desgast de les superfícies en el llibre groc i no en el llibre verd (el que hem anomenat la incorrecció IS1), cosa que més endavant veurem²⁷ com porta a confusions i dificultats en la interpretació d'aquest concepte. El mateix podem dir del temps de retard del descens de temperatura (incorrecció IS2), que possiblement no hagi estat tinguda en compte pels dissenyadors de la simulació com un aspecte problemàtic, tot i que l'anàlisi de la simulació demostra que sí que ho és, ja que pot reforçar la idea de "inèrcia tèrmica" que també havíem identificat en les prediccions dels estudiants al REVIR (López i Artigas, 2012). Finalment, altres elements visuals són clarament incorreccions conceptuals, com ara la representació en sèrie del sensor, acompanyant de l'etiqueta verbal "voltímetre", tot i que el coneixement previ dels participants respecte aquesta qüestió (Psillos et al., 1987; Shipstone, 1984) fa que no hagi esdevingut un element problemàtic pels estudiants entrevistats.

7.2.6. Discussió de la relació entre requeriments de lectura, demandes cognitives i càrrega cognitiva

Una darrera qüestió que volem abordar de les conclusions derivades de l'anàlisi dels requeriments de lectura necessaris per interpretar canònicament les simulacions és la relació entre els requeriments de lectura identificats i les demandes cognitives, i també la interpretació d'alguns dels requeriments de lectura des del punt de vista de la CLT (Teoria de càrrega cognitiva).

Els requeriments de lectura des del punt de vista dels processos cognitius

Segons hem assenyalat en l'apartat 2.2 de la revisió bibliogràfica, els diferents models cognitius de lectura d'imatge que hem exposat (Kulhavy et al., 1985; Larkin i Simon, 1987; Postigo i Pozo, 2000; Winn, 1994) tenen com a denominador comú la concepció de la lectura d'imatges com la combinació de processos cognitius associats, com a mínim, a tres nivells: (1) nivell sensorial vinculat a la detecció dels elements visuals de forma superficial i directa; (2) nivell que permet al lector passar de la representació externa a la representació interna; i (3) nivell relacionat amb la "inferència" de la imatge mental construïda.

En aquest sentit, l'anàlisi d'aquests requeriments de lectura ens porta a concloure que no tots els requeriments identificats corresponen a unes mateixes demandes cognitives, sinó que podem relacionar els diferents requeriments identificats amb alguns d'aquests tres nivells definits en la literatura. Així, alguns dels requeriments més bàsics que exposem en la Taula 9 i en la Taula 10 i que hem anomenat amb el terme "identificar" poden associar-se al nivell de detecció de la informació a nivell perceptual o superficial. Altres requeriments que hem associat al terme "interpretar" poden associar-se a un nivell cognitiu intermedi, en el que es construeix la imatge mental a partir dels coneixements previs. Finalment, un darrer conjunt de requeriments estaria relacionat amb demandes cognitives d'un ordre superior relacionat amb les inferències del lector, amb la identificació i control de variables o en el raonament basat en la presència d'elements implícits en la representació.

²⁷ Veure dificultats associades a la perspectiva IS, apartat 9.7, de la Secció III.

Els requeriments de lectura des del punt de vista de la càrrega cognitiva

Les diferents característiques de les simulacions que hem discutit fins ara (com ara la naturalesa comunicativa, les llicències gramaticals, la complexitat de l'estructura compositiva, etc.) poden també analitzar-se des del punt de vista de la Teoria de la Càrrega Cognitiva (CLT) que hem presentat en l'apartat 2.2.1. Per fer-ho, podem considerar que el que nosaltres hem anomenat com "requeriments de lectura" són un tipus particular del que Sweller et al. (1998) anomenen "tasques de lectura". Basant-nos en aquesta teoria (Sweller et al., 1998), la càrrega cognitiva intrínseca està associada al contingut específic de la representació, i és immutable. Alhora, la càrrega cognitiva extrínseca és l'esforç addicional determinat per la presentació de la informació, i està sota control dels dissenyadors de la simulació. En tercer lloc, la càrrega cognitiva germana és la que permet la construcció i automatització d'esquemes mentals. En l'apartat 2.2.1 hem discutit com els principis de disseny instruccional busquen reduir la càrrega cognitiva extrínseca per poder augmentar-ne la germana.

Aquesta diferent distribució de càrrega cognitiva en la lectura d'imatges la trobem, per exemple, en la lectura del desgast de les superfícies en la simulació A. La tasca de "identificar la marxa de partícules i interpretar-ho com a fregament", que hem identificat com a requeriment de lectura, té un component de càrrega cognitiva intrínseca associada, de forma inherent, al propi concepte científic de desgast. També té un component de càrrega cognitiva germana, associada a la construcció d'un esquema mental que relacioni desgast i fregament. Ara bé, en aquesta representació també podem identificar un esforç "extra" que han de fer els participants: interpretar com és que les partícules de VA3 no estan superposades al fons groc, mentre que les partícules de VA4 sí que estan superposades (Figura 109), cosa que en l'apartat 7.3 hem assenyalat com una incorrecció de la simulació. De fet, la posterior anàlisi les respostes dels estudiants ens mostra com més enllà que alguns participants interpretin literalment l'asimetria en el comportament entre partícules del llibre groc i del llibre verd (IS1), és un element visual que dificulta encara més la interpretació del desgast i que els distorsiona l'explicació que en donen.

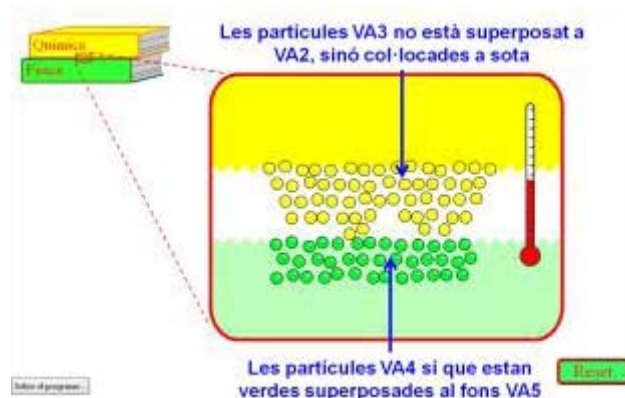


Figura 109. Asimetria entre el comportament de les partícules del llibre groc i llibre verd.

SECCIÓ III: Les dificultats de lectura d'imatges

En la Secció III estudiarem les dificultats dels estudiants de secundària en la lectura de les representacions visuals de les simulacions A i B, per així respondre la pregunta de recerca **P2**:

***P2.** Amb quines dificultats de lectura es troben els estudiants de 14-15 anys al llegir les representacions visuals de les simulacions A i B?*

Aquesta secció consta dels següents capítols:

- Capítol 8: Metodologia per a l'anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges.
- Capítol 9: Anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges.
- Capítol 10: Síntesi i discussió dels resultats de l'anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges.

Capítol 8. Metodologia d'anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges

L'anàlisi de les dues simulacions A i B de la Secció II ha permès conèixer les característiques visuals d'aquestes dues simulacions i els requeriments de lectura per llegir-les adequadament, responant així la pregunta de recerca **P1**. Arribats a aquest punt ens preguntem per com és la lectura que els estudiants del 2n cicle de la ESO fan d'aquestes dues simulacions:

P2. "Amb quines dificultats de lectura es troben els estudiants de 14-16 anys al llegir les representacions visuals de les simulacions A i B?"

Per respondre a la pregunta de recerca **P2** s'han dut a terme un conjunt de tasques que en la Figura 110 hem agrupat d'una banda, en les tasques de recollida de dades que ens permetran identificar aquestes dificultats en la lectura de les simulacions A i B, i de l'altra, l'anàlisi qualitativa d'aquestes dades recollides a través de la selecció d'unitats d'anàlisi, de la seva codificació i de la construcció d'un sistema de dimensions i categories de dificultats de lectura.

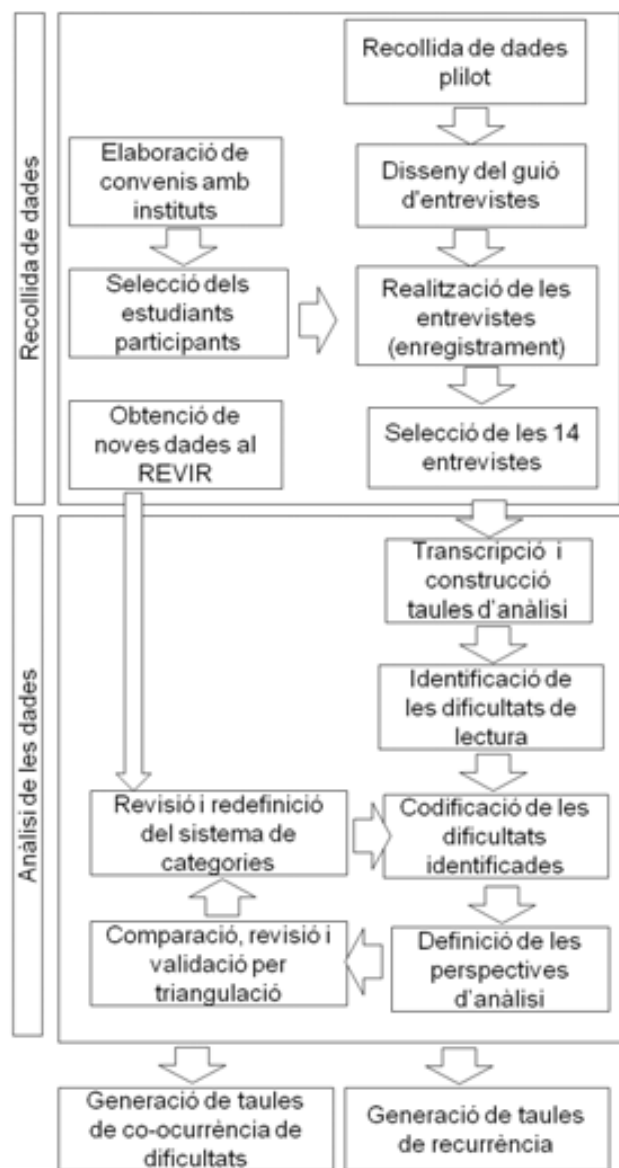


Figura 110. Disseny metodològic de la Secció III.

En aquest capítol 8 presentem i discutim tot aquest disseny metodològic, presentant cadascun dels passos realitzats. En l'apartat 8.1 presentem com es va dur a terme la recollida de dades durant els cursos 2011-12 i 2012-13, com es van realitzar les entrevistes i quines d'aquestes entrevistes van ser seleccionades, entre d'altres. En l'apartat 8.2 presentem com es va realitzar l'anàlisi d'aquestes dades obtingudes a través de les entrevistes i altres mecanismes, i com es va dur a terme el procés d'identificació de dificultats i de construcció de dimensions i categories. En els darrers apartats també presentem com vam extreure taules de co-ocurrència i de recompte a partir de les dades codificades. Finalment, en l'apartat 8.3 discutim algunes consideracions metodològiques per tal d'advertir sobre els riscos i limitacions d'un disseny metodològic basat en entrevistes a participants com el que vam seguir en aquesta recerca.

8.1. Recollida de les dades

La recollida de dades de les dificultats de lectura s'ha fet, majoritàriament a través d'entrevistes a estudiants de 3r i 4t d'ESO de diferents instituts del Vallès Occidental i Barcelona. En paral·lel, s'han recollit dades dins del projecte REVIR, en el marc de les sessions de treball EN i EL1 que hem presentat en el capítol 4 de la secció I. Al llarg d'aquest apartat presentem el conjunt de tasques incloses en aquest disseny metodològic de recollida de dades, les quals presentem en la Taula 17 en les dates que van ser realitzades.

Tasques relacionades amb la recollida de dades	Dates
Disseny pràctiques EN i EL1	Març, abril i maig de 2011
Recollida inicial de dades al REVIR	Juny i octubre 2011
Entrevistes obertes pilot	Novembre i desembre 2011
Disseny del guió d'entrevista	Gener de 2012
Convenis de col·laboració amb els INS participants	Febrer de 2012
Conducció i enregistrament de les entrevistes	Març i abril de 2012
Selecció final de les entrevistes	Maig de 2012
Recollida final de dades al REVIR	Abril de 2013

Taula 17. Calendari de la recollida de dades

8.1.1. Recollida de dades pilot

Abans d'endinsar-nos en la obtenció sistemàtica i acurada de les dades a partir de les quals identificar les dificultats de lectura, vam considerar que era necessària una fase prèvia, exploratòria, a través de la qual conèixer a grans trets què era el que els estudiants de 3r i 4t d'ESO podien dir respecte les simulacions A i B.

Recollida de dades pilot al REVIR

Això ens va portar a utilitzar el context del projecte REVIR per obtenir algunes respostes d'estudiants. A finals del curs 2010-11 vam aprofitar la seqüència didàctica EN (*"Dissipació de l'energia per fregament"*, que havia estat dissenyada una mesos abans, veure capítol 4) per preguntar als estudiants participant al REVIR sobre la simulació A. Concretament vam incloure en el dossier dels estudiants un qüestionari en format *GoogleForms* que incloïa tres preguntes molt generals sobre aquesta simulació, semblant a les utilitzades per Stylianidou i Ogborn (2002):

1. *Descriu les característiques més generals de la imatge:*
2. *Explica que creus que es pretén comunicar amb aquesta imatge:*
3. *Quins suggeriments faries per tal de millorar la imatge:*

Aquest qüestionari es va mantenir en el dossier de pràctiques durant les primeres sessions de la pràctica EN del curs 2011-12, temps durant el qual es van obtenir 41 respostes d'estudiants de 3r i 4t d'ESO. També durant els primers mesos del curs 2011-12 es van enregistrar en vídeo alguns fragments de 8 sessions de la pràctica EL1 (*"Generació d'electricitat, també dissenyada el curs anterior"*), en el que es formulava a grups de dos o tres estudiants de 3r d'ESO preguntes molt generals sobre la simulació B, tant sobre aspectes visuals com de contingut.

L'anàlisi de les 41 respostes dels estudiants via qüestionari respecte la simulació A i de les 8 gravacions fetes respecte la simulació B (veure Annex 4) va permetre arribar a

un seguit de conclusions. En primer lloc, vam veure que dins del marc de les sessions de treball REVIR era molt difícil saber què era el que els estudiants veritablement llegien les simulacions, ja que les respostes d'aquests eren molt superficials. En la immensa majoria de casos ens vam trobar amb respostes com ara “[La simulació pretén comunicar] la relació entre el canvi de temperatura i el moviment vibrator”, la qual no ens permet conèixer com els participants entenien aquesta “relació”, o també si la simulació pretén comunicar altres coses. En segon lloc, també vam considerar que la presència d'un entrevistador amb una càmera de vídeo dins del laboratori suposava un element de distracció pels estudiants, i que el temps que els estudiants entrevistats dedicaven a respondre les preguntes de l'investigador era temps que es restava als estudiants per fer experiències de laboratori que havien de fer durant la sessió de treball.

Tots aquests motius van portar a concloure que era necessari un entorn diferent en el que dur a terme la recollida de dades, un entorn que permetés abordar amb els participants la lectura de les simulacions amb una major profunditat, i sense els condicionats d'haver d'incloure la recollida en una sessió de treball de laboratori.

Entrevistes obertes pilot

Amb la voluntat de trobar un sistema que ens permetés conèixer en profunditat què és el que estudiants de 3r i 4t d'ESO llegien i entenien al trobar-se davant de les simulacions A i B durant la tardor de 2011 vam realitzar dues entrevistes pilot. Aquestes entrevistes van ser totalment obertes, sense un guió previ, de manera que va permetre veure en què es fixaven els estudiants, quins eren els elements visuals o conceptuals als que de forma espontània es referien i a quins no. En aquestes entrevistes van participar dos estudiants de 4t d'ESO, un de l'INS Escola Industrial (Sabadell) i una altre de l'INS Ferran Casablanca (Sabadell). Aquestes entrevistes obertes van ser de gran utilitat per posteriorment elaborar el guió d'entrevista (veure Annex 5).

8.1.2. Disseny del guió d'entrevista

En base als resultats de la recollida de dades inicials al REVIR i de les entrevistes obertes pilot, es va veure la necessitat d'establir un guió d'entrevista que conduís una entrevista semiestructurada. Per aquest motiu vam preparar el guió que presentem en la Taula 18, i que inclou un conjunt de preguntes inicials sobre el o la participant, un bloc de preguntes referides a la representació visual de la simulació i un segon bloc de preguntes sobre el seu contingut científic.

Al preguntar als participants sobre la representació visual, vam basar-nos en el conjunt d'elements $VA[i]$ i $VB[i]$ que hem definit en la secció II, i al preguntar als participants sobre el seu contingut científic vam basar-nos en el conjunt de proposicions $CA[i]$ i $CB[i]$ que també hem definit en la secció II. Recordem que les lletres V i C fan referència respectivament a “visual” i “conceptual”, $X=\{A, B\}$ fa referència a la simulació i $i=\{1,2,3,\dots\}$ al número d'element visual o de proposició conceptual en qüestió.

Així, tant en la descripció visual de la simulació com en l'explicació del seu contingut científic, primer es deixava al participant respondre espontàniament. Si després d'insistir seguien havent-hi elements que no havien estat mencionats pel participant, se'l preguntava sobre l'element específic. Aquest guió d'entrevista va ser dissenyat per tal que l'entrevista durés entre 15 i 20 minuts.

Apartat	Preguntes a fer	Temps
Informació general sobre el / la participant	<p>1. Com et dius? Quants anys tens?</p> <p>2. A quina escola vas? A quin curs vas?</p>	1 minut
Preguntes sobre la representació visual de la simulació A o B.	<p>3. Observa detingudament la simulació que veus per pantalla i utilitza el ratolí per fer tot allò que consideris oportú. Si vols, descriu en veu alta tot allò que se t'acudeixi de forma espontània, però si vols mirar-te-la en silenci, pots fer-ho.</p> <hr/> <p>4. Que pots observar en aquesta simulació? Intenta descriure tot el que puguis veure en aquesta simulació com si intentessis explicar-li a un amic o amiga que tingués els ulls tancats.</p> <p><i>[Mentre fa una descripció visual dels elements que apareixen cal anar posant creus en la graella d'elements visuals VA[i] o VB[i]]</i></p> <hr/> <p><i>[Si en un moment determinat es queda en silenci]</i></p> <p>5. Creus que apareix alguna cosa més a la simulació?</p> <hr/> <p><i>[Només si no ho ha fet abans]</i></p> <p>6. Prova de modificar els diferents elements del quadre de control.</p> <hr/> <p><i>[Si queden elements de la representació sense anomenar després d'una estona d'entrevista]</i></p> <p>7. T'havies fixat en -----?</p> <p><i>[Si diu que no]</i> Perquè no t'havies fixat?</p> <p><i>[Si diu que sí]</i> Perquè no ho has comentat?</p>	Entre 5 i 10 minuts
Preguntes sobre el contingut científic de la simulació A o B.	<p>8. Que creus que pretén explicar aquesta simulació?</p> <p><i>[Mentre fa una explicació científica del sistema conceptual cal anar posant creus en la graella de proposicions CA[i] o CB[i]]</i></p> <hr/> <p><i>[Si en un moment determinat es queda en silenci]</i></p> <p>9. Creus que la simulació ens comunica alguna cosa més que no hagin dit?</p> <hr/> <p><i>[Si queden elements de la representació sense anomenar després d'una estona d'entrevista]</i></p> <p>10. Creus que també ens diu alguna cosa sobre -----?</p> <p><i>[Si diu que no]</i> Perquè no t'havies fixat?</p> <p><i>[Si diu que sí]</i> Perquè no ho has comentat?</p>	Entre 5 i 10 minuts
Síntesi	<p><i>[Pregunta molt oberta]</i></p> <p>11. Has après alguna cosa nova amb la simulació que abans no sabies?</p>	Indefinit

Taula 18. Guió d'entrevista semi-estructurada utilitzat.

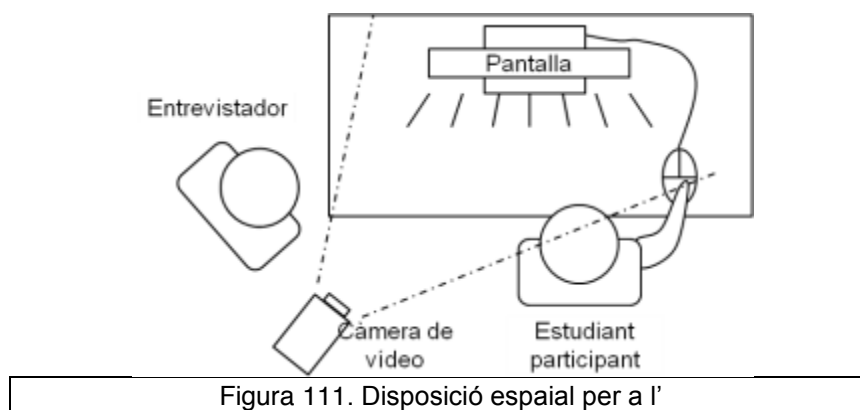
8.1.3. Realització de les entrevistes

Un cop dissenyat el guió d'entrevista es va procedir a establir una col·laboració amb l'INS Banús (Cerdanyola del Vallès) i amb l'INS Infanta Isabel (Barcelona, Districte de St. Martí). A través d'aquesta col·laboració aquests centres habilitaven durant unes hores a la setmana una aula on realitzar les entrevistes, i diferents professors de Física i Química del centre accedien a que alumnes seus poguessin sortir de les seves

classes (un en un) durant vint minuts per poder fer l'entrevista. Els i les participants que van ser entrevistats havien estat seleccionats pels professors de Física i Química del centre sota un únic criteri demanat per l'investigador: que aquests participants fossin comunicatius i expressius. Donada la naturalesa de la nostra recerca inicialment, per seleccionar els participants no es va demanar cap requisit respecte el coneixement previ ni el rendiment acad mic. Ara bé, sí que vam fer unes breus entrevistes amb el professorat de ciències d'aquests estudiants per conèixer quins temes havien treballat a classe, i sobretot per garantir que les simulacions A i B no s'havien treballat a classe (veure el conveni en Annex 3).

Per paral·lel a les col·laboracions amb aquests dos INS de Barcelona i Cerdanyola, també es van dur a terme quatre entrevistes més amb alumnes de 3r i 4t d'ESO de INS Ferran Casablanques (Sabadell) i de l'INS Can Planes (Barberà del Vallès). Aquestes entrevistes es van fer fora d'un context escolar, aprofitant els vincles personals amb els participants. En aquests quatre casos els participants tampoc havien vist abans la simulació A o B.

La disposició física que es va seguir en tots els casos per a fer l'entrevista va ser situar el participant davant l'ordinador per tal que pogués visualitzar i manipular la simulació. L'entrevistador es va situar en un lateral, de manera que pogués veure tant la pantalla com el participant. Una càmera de vídeo enregistrava tant l'estudiant com el que apareixia per pantalla en cada moment.



En el desenvolupament de les entrevistes es va seguir el guió establert que hem presentat en la Taula 18. A partir de les preguntes realitzades als participants aquests van elaborar descripcions visuals del que estaven veient i van fer tota mena d'explicacions i raonaments. Ara bé, com que les respostes dels estudiants eren en molts casos molt breus, en alguns casos vam haver de saltar-nos el guió previst, provant d'estirar del fil en les explicacions dels participants per poder realment entendre què era el que estaven llegint i interpretant en cada moment.

Així fa que les entrevistes, que es poden llegir de forma completa en l'Annex 6, en molts casos van acabar farcides de tota mena de preguntes de l'entrevistador als participants. És a dir, que malauradament l'entrevistador moltes vegades acabà tenint un paper molt rellevant, inclús arribant en molts casos a parlar més que els propis entrevistats.

8.1.4. Selecció de les entrevistes

Al llarg del procés d'elaboració de les entrevistes vam realitzar un total de 23 enregistraments, cadascun d'ells d'una duració entre 15 i 20 minuts. En la Taula 19

apareix representat el nombre de participants en funció de la ciutat, el curs i la simulació amb la que se'ls va entrevistar.

Ciutat	Barcelona		Sabadell		Cerdanyola		Barberà	Total
Curs	4t ESO	3r ESO	4t ESO	3r ESO	4t ESO	3r ESO		
Sim. A	2 (1)	2 (0)	2 (1)	4 (4)	0	1 (1)		11 (7)
Sim. B	2 (1)	0	2 (1)	2 (1)	5 (3)	1 (1)		12 (7)

Taula 19. Nombre total d'entrevistes fetes (entre parèntesi, les entrevistes seleccionades).

Posteriorment es va procedir a seleccionar algunes de les entrevistes i a descartar-ne unes altres. Per fer aquesta selecció, vam tenir en compte el tipus de respostes que els participants donaven en les seves entrevistes.

Vam descartar algunes entrevistes on el participant tenia un **coneixement previ elevat sobre el contingut de la simulació**, de manera que en comptes d'explicar el que veia, explicava el seu coneixement sobre el tema. Alhora, també vam excloure algunes entrevistes on les respostes dels participants denotaven un **coneixement previ massa baix**, fins al punt que ni tan sols es podia parlar de la lectura de la simulació. Per exemple, vam descartar una entrevista on l'estudiant ens parlava de que la simulació A era "com un a cara", ja que "això [VA3] seria els ulls, això [VA4] seria la boca, i això [VA2] seria com el cabell", com hem representat en la Figura 112.

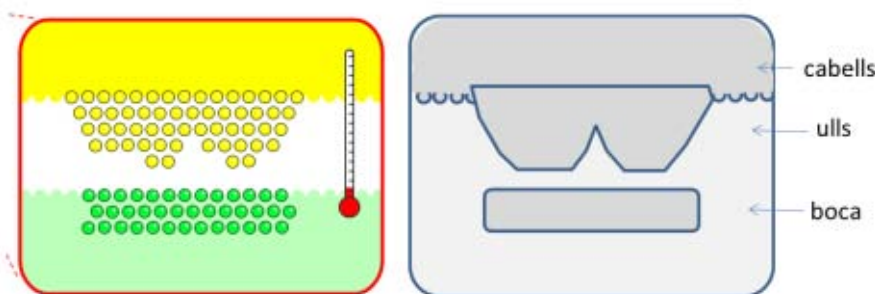


Figura 112. Interpretació de la simulació A feta per un estudiant que considerava la imatge com una representació d'una cara amb cabells, ulls i boca.

D'aquesta manera, les 14 entrevistes seleccionades (7 per cada simulació) per a l'anàlisi de dades també van quedar de la següent forma:

Nom	Simulació	Curs	Escola	Ciutat
PA1	A	3r ESO	Banús	Cerdanyola
PA2	A	3r ESO	Banús	Cerdanyola
PA3	A	4t ESO	Infanta Isabel	Barcelona
PA4	A	4t ESO	Casablanças	Sabadell
PA5	A	3r ESO	Banús	Cerdanyola
PA6	A	3r ESO	Banús	Cerdanyola
PA7	A	3r ESO	Can Planes	Barberà
PB1	B	4t ESO	Banús	Cerdanyola
PB2	B	3r ESO	Banús	Cerdanyola
PB3	B	4t ESO	Casablanças	Sabadell

PB4	B	4t ESO	Infanta Isabel	Barcelona
PB5	B	4t ESO	Banús	Cerdanyola
PB6	B	4t ESO	Banús	Cerdanyola
PB7	B	3r ESO	Can Planes	Barberà

Taula 20. Llistat d'entrevistes seleccionades.

8.1.5. Recollida final de dades a través de les sessions del REVIR

En una fase més avançada de la recerca, mesos després d'haver analitzat les 14 entrevistes seleccionades, vam tornar a fer una darrera recollida de dades que ens permetés comparar les dificultats que ja havíem identificat, i també que ens permetés validar el sistema de dimensions i categories que estàvem construint. Aquesta recollida final de dades es va tornar a realitzar dins del marc del projecte REVIR, aprofitant tres sessions de treball EL1 durant l'abril de 2013, en els que van participar estudiants dels SES Cervelló (Cervelló), INS Manuel Raspall (Cardedeu) i Escola Pia de Sitges (Sitges), tots ells de 3r d'ESO.

En aquests sessions de treball al REVIR es va deixar als estudiants participants treballar en grup en base al guió de treball que hem presentat en el capítol 4, que en un moment de la pràctica inclou una breu discussió sobre la simulació B. Quan els estudiants arribaven a aquest punt de la pràctica, l'investigador s'acostava al grup d'estudiant, mantenint un rol passiu d'observació. Ara bé, si s'observava algun símptoma de que algun estudiant estigués llegint la simulació de forma errònia (el que hem anomenat **intervenció rellevant**), l'investigador intervenia en la discussió, i demanava a l'estudiant en qüestió una breu explicació de què era el que estava entenent de la simulació, mentre l'investigador o bé enregistrava en so o bé simplement prenia anotacions per escrit (Annex 7). Al llarg de les 3 sessions EL1 es van recollir 5 intervencions rellevants respecte la simulació B, que posteriorment servien per al procés de comparació i refinament de les categories tal i com presentem en el punt 8.2.5.

Nom	Simulació	Curs	Escola	Ciutat
PA8	A	3t ESO	Casablanças	Sabadell
PA9	A	3t ESO	Casablanças	Sabadell
PA10	A	Mixt	Hatikva	St. Cugat
PA11	A	4t ESO	Manuel Raspall	Cardedeu
PA12	A	4t ESO	Manuel Raspall	Cardedeu
PB8	B	3t ESO	Pia	Sitges
PB9	B	3t ESO	Pia	Sitges
PB10	B	4t ESO	Manuel Raspall	Cardedeu
PB11	B	3r ESO	Cervelló	Cervelló

Taula 21. Llistat d'intervencions recollides del REVIR.

8.2. Anàlisi de les dades

8.2.1. Transcripció de les entrevistes i construcció de les taules d'anàlisi

En primer lloc, vam transcriure les 14 entrevistes seleccionades en 14 documents de text (7 de la simulació A i 7 de la B, a les que com hem dit anteriorment, vam assignar respectivament els codis PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6 i PA7, PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6 i PB7), i també vam incloure els 14 documents com a **P-Docs** en una unitat hermenèutica del programa Atlas.ti. En paral·lel, vam penjar els vídeos de cada entrevista al Youtube, en mode privat (Veure annex 5).

En segon lloc, vam dividir cada entrevista en fragments per facilitar la tasca d'anàlisi. Aquesta divisió es va fer en base a fragments temàtics, és a dir, a intervals en els que participant i entrevistador parlaven d'una mateixa unitat temàtica, tal com mostrem en l'exemple de la Taula 22 pel cas concret de la participant PA1. Al costat de cada fragment vam incloure comentaris descriptius sobre de què es parlava en cada fragment per facilitar l'anàlisi posterior, ja que es tractava de comentaris contextuals (quins gestos o quines cares feia el participant, referències a fragments previs o posteriors, etc.) i també de contingut.

Unitat temàtica	Entrevista	Comentaris d'anàlisi
PA1-Fragment 5 Discussió sobre el contorn de VA4 (sense explicació)	<p>I: Hi ha àtoms? A: No I: Perquè creus que un lloc no hi ha àtoms i en l'altre sí que hi ha àtoms? A: Bueno, quan hem (no s'entén) si que hi eren. I: Reinicia. (Ho fa). Per exemple, ara aquí a dalt no hi ha àtoms. Perquè creus que no hi ha àtoms. A: No se... ni idea. I: Se t'acut que pot voler dir que només hi hagi àtoms en aquest trosset d'aquí? A: No se... I: Tu ho hauries dibuixat així o ho hauries dibuixat diferent? A: Jo ho hauria dibuixat així, però tampoc se perquè...</p>	<p>Li pregunto sobre el fons "<i>hi ha àtoms?</i>" i la relació entre fons i àtoms. De fet, no entén la pregunta perquè no està entenent la representació doble (àtoms + fons), és a dir, no està identificant dues representacions redundants amb diferent modalitat científica (corpuscular i contínua) i amb diferent rang visual de validesa (l'espai on es representen les dues representacions és diferent).</p>
PA1-Fragment 6 Discussió sobre el contorn de VA4 (amb explicació)	<p>A: Ah, vale, ja se. Que tot això se suposa que són àtoms, i tot això se suposa que són àtoms. Llavors, quan ho ajuntem, doncs passa això... que s'escalfa. I: I per què no estan aquests àtoms si representen que són àtoms? A: Perquè no és necessari. I: El què no és necessari? A: Que hi hagi tots, perquè només has de veure això. I: O sigui, que creus que és una cosa que el dibuix només han dibuixat uns quants. Però això se t'havia acudit a tu o t'hi he fet pensar jo? A: M'hi has fet pensar tu.... I: Sinó, tu que haguessis pensat? O no haguessis pensat res? A: Hagués dit que segurament no els han pogut dibuixar tots perquè hi ha moltíssims.</p>	<p>Després de molta estona de jo preguntar-li i explicar-li el sentit de la representació i de la combinació de dues modalitats, finalment veu que els àtoms estan parcialment representats i per tant, acaba comprenent que la representació dels àtoms no és exhaustiva. Diu "<i>No és necessari que es vegin tots els àtoms</i>". De totes maneres, segueix parlant de "<i>Quan ho ajuntem</i>" en comptes de "<i>Quan freguem</i>", és a dir continua amb la confusió entre la posició i el moviment a l'hora d'explicar el comportament de la simulació.</p>

<p>PA1-Fragment 7 Discussió sobre la pujada i baixada de temperatura VA6d1 i VA6d2.</p>	<p>I: Estem parlant de la pujada. I és continua? A: No, depenent de com ho moguis, doncs canvia. Si ho mous més ràpid, doncs puja més ràpid i si ho mous més lent, doncs es va caient. I: Es va? A: Va baixant la temperatura. I: Ah si? Com ho has dit, si mous més lent... A: A veure, vull dir que si mous ràpid, puja la temperatura. I quan "soltes" i encara s'està movent es manté. Per quan es van separant, baixa.</p>	<p>Després de parlar dels toms for a estona, li comen o a preguntar pel comportament del terme metre. Explica bé la pujada "<i>depenent de com ho moguis, doncs canvia. Si ho mous més ràpid, doncs puja més ràpid i si ho mous més lent, doncs es va caient</i>". És a dir, en tot moment relaciona bé fregament amb escalfament macroscòpic, tot i que insisteix tota l'estona en parlar en termes de separació entre els llibres.</p>
---	---	--

Taula 22. Fragment de la taula d'anàlisi de la participant PA1.

8.2.2. Identificació de les dificultats de lectura específiques de cada participant

Després de construir les taules d'anàlisi com la que presentem en la Taula 22, vam procedir a identificar els comentaris fragment a fragment i entrevista per entrevista on es podien entreveure alguna dificultat de lectura del participant. Per fer-ho, vam basar-nos en la definició de dificultat de lectura feta en el capítol 3:

Dificultat en la lectura d'una imatge: *Situació, factor o procés que actua com a obstacle en la lectura d'una imatge i que impedeixen que la interpretació sigui canònica.*

Ara bé, en base a aquesta definició, vam haver de discernir entre els **casos en que hi havia una dificultat de lectura i altres situacions alienes al fet lector en sí mateix**. És a dir, algunes de les explicacions fetes pels participants que podríem identificar com incorrectes des del punt de vista conceptual, inexactes, poc acurades, etc., no es tenien perquè considerar dificultats de lectura, sinó altres tipus de dificultats de comprensió conceptual. Per exemple, fixem-nos en el següent fragment d'una entrevista referida a un fragment de l'entrevista a la participant PA1:

"Jo crec que se suposa que quan tu fregues un material amb un altre, doncs fan així (gest de fregar) i es crea calor, energia i quan separen, doncs no."

En aquesta explicació feta per PA1 crida l'atenció dues expressions: "crea calor" i "quan separen, doncs no":

- En el cas de "crea calor", podem parlar d'una explicació (o com a mínim una terminologia) **científicament errònia**, ja que PA1 confonia calor i energia, i parlava de que aquesta "es crea" en comptes de dir "es transfereix". Ara bé, el component erroni de l'explicació que fa la participant no es pot atribuir a la lectura que ella pogués fer de la simulació A, sinó als seus coneixements previs o simplement a la falta de rigor del seu vocabulari. Per tant, **no ho vam considerar dificultat de lectura**.
- En canvi, el cas de "quan separen, doncs no" sí que **porta associada una dificultat de lectura**. En la simulació es pot moure el bloc VA2 i el grup de partícules VA3 tant horitzontalment com verticalment. Al moure el bloc VA2 la temperatura puja, i al deixar de moure, la temperatura baixa. Per tant, la causa del refredament no és separar VA2 de VA5, sinó simplement deixar de moure

VA2. La confusió d'aquesta participant entre la posició de VA2 i el moviment de VA2 **sí que va ser considerada com una dificultat de lectura.**

En conclusió, només vam considerar com a dificultats de lectura aquells casos on sí que hi ha una certa interpretació particular per part dels estudiants fruit de la pròpia lectura de la representació, és a dir, on es podia **identificar un obstacle per a la interpretació canònica en la forma com l'estudiant llegeix la representació o algun element particular d'aquesta.**

Així, a mesura que vam anar identificant les dificultats de lectura particulars de cada participant, vam anar elaborant 14 llistes (una per participant seleccionat) on anotàvem aquestes dificultats. En la Taula 23 presentem un exemple d'algunes de les dificultats del llistat de la participant PA1.

Codi	Dificultats de lectura identificades
PA1, dificultat 1	Al principi només identifica els àtoms de la representació de la dreta de forma aïllada, i no de forma coherent amb la resta de la representació.
PA1, dificultat 2	En múltiples ocasions al llarg de l'entrevista interpreta el comportament del sistema en funció de la posició dels llibres i no en funció del moviment d'aquests, ja que en diversos moments parla en termes de com estan situats aquests llibres, dient " <i>si els ajuntes</i> " i " <i>si els separes</i> " en comptes de dir " <i>si els mous</i> " i " <i>si els deixes de moure</i> ".
PA1, dificultat 3	En la explicació inicial que dona a la estructura de la representació apareix una excessiva importància al text "Física" i "Química" fins al punt que integra el text dient " <i>això és una representació d'una reacció química</i> ".
PA1, dificultat 4	No llegeix adequadament els connectors visuals formats pels dos rectangles i per les dues línies discontinues, de manera que en comptes de llegir una connexió d'ampliació entre la representació de la dreta i de l'esquerra, ho llegeix com fletxes connectores, dient " <i>el de física té com unes fletxes que porta aquest verd de boles</i> ".

Taula 23. Llistat de dificultats específiques de la participant PA1, prèvies al procés de unificació i homologació de dificultats.

Un cop vam tenir els 14 llistats de dificultats específiques identificades en cada participant, vam incloure els 14 documents de text corresponent (és a dir, document per llistat de dificultats específiques de cada participant) a la unitat hermenèutica anterior en forma de P-docs. D'aquesta manera, la unitat hermenèutica del Atlas.ti va quedar constituïda per 28 documents primaris: 14 entrevistes i 14 llistats de dificultats específiques.

Amb les 14 llistes de dificultats inserides en la unitat hermenèutica, vam seleccionar cada dificultat específica de cada llista com una **quote** del Atlas.ti. D'aquesta manera, vam obtenir tantes quotes com dificultats específiques identificades. Alhora, també a través del Atlas.ti vam anar seleccionant els fragments de cada entrevista on cada dificultat específica havia estat identificada, i a cadascun d'aquests fragments també se'ls va associar una **quote** del Atlas.ti. És a dir, en la unitat hermenèutica vam establir 2 tipus de quotes: les quotes de dificultats de lectura específiques com les de la Taula 23 i les quotes corresponents als fragments d'entrevista on aquestes dificultats havien estat identificades.

Finalment, amb el programa Atlas.ti vam establir **links** entre quotes d'entrevistes i quotes de dificultats específiques. Així, vam relacionar amb el link "*Supports*" cada

dificultat amb el fragment d'entrevista on la dificultat es podia identificar. També vam relacionar amb el link “*Contradicts*” les dificultats amb els fragments d'entrevista on un participant llegia canònicament la representació i per tant no tenia aquesta dificultat en qüestió, fent així una comparació per contrast de dades (Boeije, 2002).

8.2.3. Codificació per comparació de les dificultats identificades

Després d'haver introduït a la unitat hermenèutica els 28 P-docs, les quotes de cada document i els links corresponents entre els diferents quotes, vam procedir a la codificació de les quotes corresponents a les dificultats de lectura a partir de la funció **code** que permet Atlas.ti. Per fer-ho, vam basar-nos en el paradigma de la comparació constant de dades (Boeije, 2002; Tesch, 1990) duent a terme: (a) la comparació dins d'una sola entrevista, (b) la comparació entre entrevistes d'un mateix grup i (c) la comparació entre entrevistes de diferents grups. Segons aquests autors, aquest procés porta a millorar la validesa interna dels resultats a mesura que es realitzen més comparacions.

Així, en primer lloc vam codificar les dificultats de cada llista comparant les dificultats entre elles, cosa que ens va permetre eliminar repeticions o solapaments entre dificultats identificades. A continuació, vam fer 2 grups de codis, un per cada grup de llistes corresponents a la simulació A i a la simulació B, per així poder comparar les dificultats de cada participant amb la resta de dificultats identificades en la resta de participants. De nou, això ens va permetre eliminar repeticions i unificar i/o homologar dificultats que en cada llista havíem formulat amb un redactat diferent, però que corresponien a una mateixa idea, fent ús de la funció **merge codes** de Atlas.ti. Finalment vam tornar a ajuntar els 2 grups de codis obtinguts convertint-los en un de sol que ens va permetre obtenir un únic llistat de tipus de dificultats identificat, repetint prèviament el procés d'unificació i homologació de codis.

Hem volgut representar una mostra del resultat d'aquest procés d'enllaçament i de codificació de quotes seleccionades en els documents primaris de la unitat hermenèutica a través de la Figura 113. El document que apareix a l'esquerra és el document de l'entrevista amb el nom *A_Anabel.rtf*, el qual té al seu voltant un seguit de quotes corresponents als fragments de l'entrevista on apareix cada dificultat. Com que PA1 és l'estudiant PA1, els fragments de l'esquerra de la imatge són els fragments d'entrevista que en la Taula 22 hem anomenat fragment 5, fragment 6, etc. En canvi, els fragments que apareixen a la dreta del document corresponen a fragments d'entrevista més petits, de només una o unes poques frases. Cada una d'aquestes quotes està relacionada amb el link “*supports*” a les quotes que apareixen a la dreta de la imatge, que corresponen a les dificultats del llistat seleccionades del document *Dificultats_Anabel.rtf*, com les que hem presentat en la Taula 23. En la figura podem observar com cada quote del llistat de dificultats està etiquetat amb els codis EC1, DI1, RE3, NC2 (etiquetes en colors).

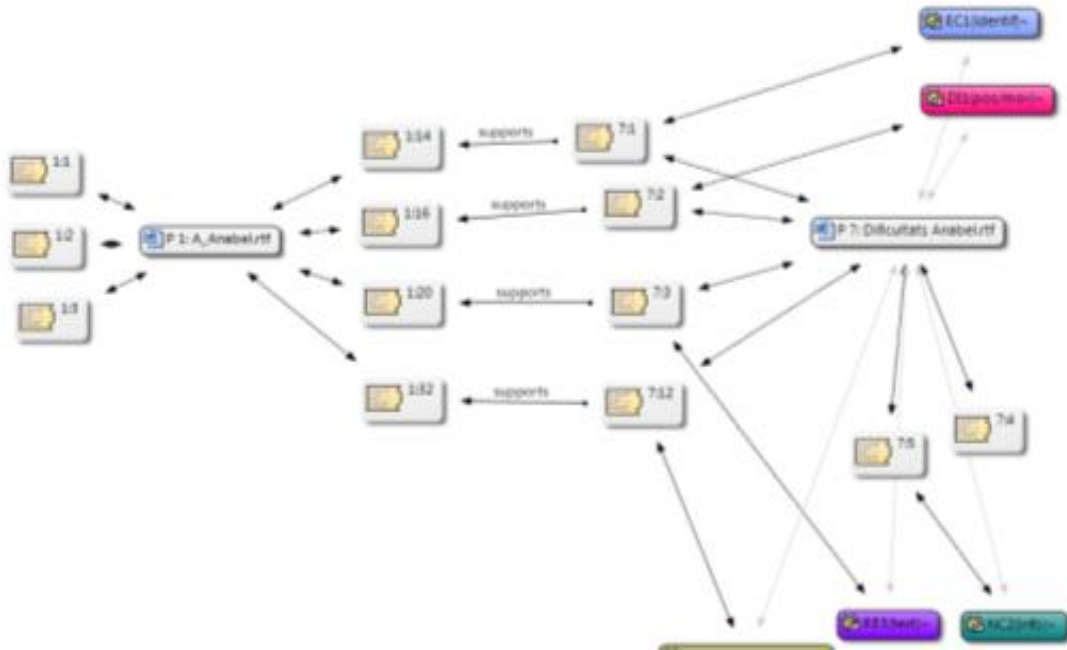


Figura 113. Captura de pantalla de Atlas.ti on apareixen 2 P-docs, algunes de les quotes de cada P-doc, els links entre les quotes i els codis que hem associat a cada quote.

Evidentment, aquest procés de codificació de les dificultats no va ser un procés lineal sinó un procés iteratiu de refinament de les classificacions. Així, vam dur a terme proves de **triangulació** entre l'investigador, la directora de la recerca i altres investigadors especialistes en didàctica de les ciències a través de **seminaris de discussió de dades**. L'objectiu de tot aquest procés de re-codificació i reformulació de les dificultats va ser refinar la capacitat discriminativa de les categories (Tesch, 1990). A més, mesos després d'haver construït tot el sistema de dimensions i categories, vam fer una darrera recollida de dades al REVIR (veure l'apartat 8.1.5). Aquestes últimes dades van permetre comprovar la validesa de les classificacions fetes, i en algun cas fins i tot ampliar alguna nova dificultat.

8.2.4. Definició de les perspectives d'anàlisi

Ahora que codificàvem cada dificultat i construïem un sistema de categories per classificar les dificultats, vam anar agrupant aquests diferents codis en **famílies de codis**, essent cada família una perspectiva d'anàlisi diferent. En la Taula 24 presentem en tres columnes un exemple de la dificultat específica (és a dir, referent al contingut específic representat en la simulació A), el tipus de dificultat (en aquest cas, amb el codi EC1) i la perspectiva d'anàlisi a la que correspon aquesta dificultat.

Dificultat específica d'un participant en particular	Tipus de dificultat general de lectura	Perspectiva
PA1.dif1: Al principi només identifica els àtoms de la representació de la dreta de forma aïllada, i no de forma coherent amb la resta de la representació.	↔ EC1: No identificar un o més sintagmes visuals.	↔ EC: Lectura de l'estructura compositiva

Taula 24. Exemple de dificultat específica identificada en un participant, dificultat general de lectura i perspectiva.

En la Figura 114 presentem de forma resumida tots els procediments seguits des de la transcripció i la fragmentació d'entrevistes fins al procés de definició de les perspectives d'anàlisi de les dificultats. En aquesta figura, les fletxes de color vermell corresponen a els links entre les dificultats específiques de cada participant i els fragments d'entrevista; i les fletxes de color blau corresponen a els links entre dificultats específiques i codis de dificultats. Alhora, cal tenir present que tot i que en la Figura 114 haguem presentat el procés d'esquerra a dreta, com hem dit anteriorment no és un procés lineal. Per aquest motiu en aquesta figura també hem inclòs el marc teòric a l'extrem dret, per representar que el procés no ha estat de codificació emergent "bottom-up" (Latorre, del Rincón, i Arnal, 2003)., sinó que el marc teòric del qual partíem ha estat determinant per definir les perspectives i les categories d'anàlisi

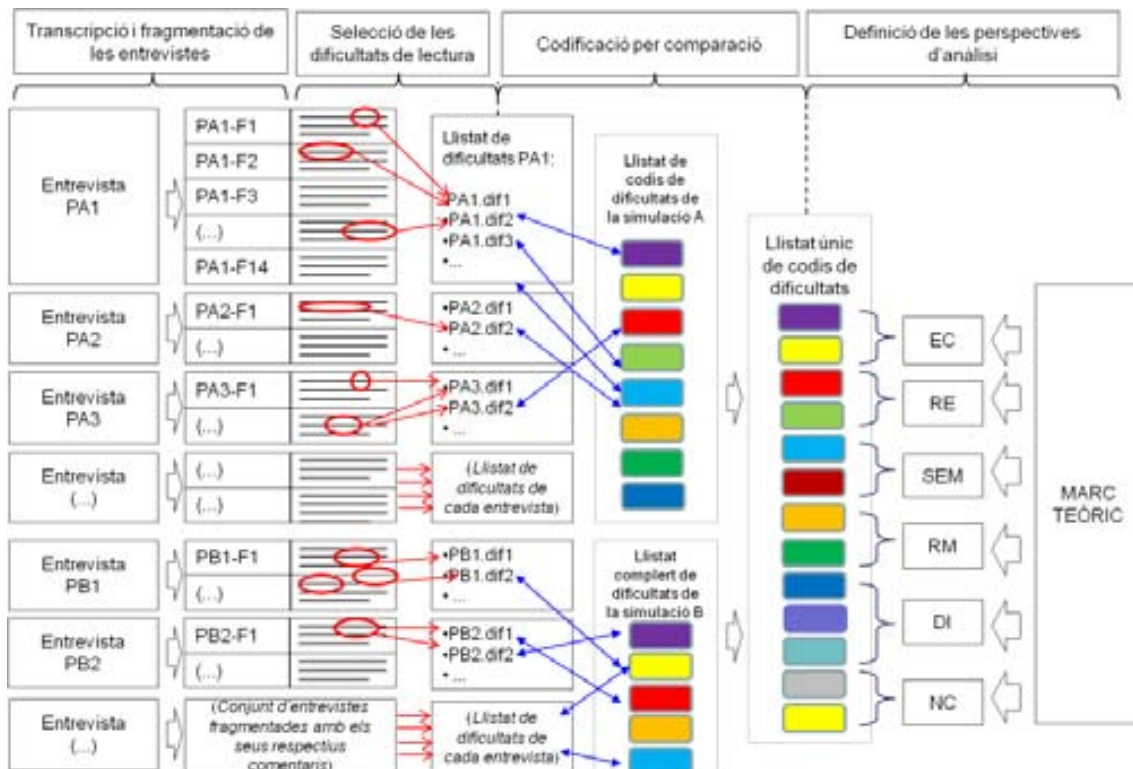


Figura 114. Diagrama detallat del procés d'anàlisi de dades a partir de les entrevistes. Les fletxes vermelles corresponen als enllaços quotes-quotes, i les fletxes blaves els enllaços quotes-codis.

D'aquest procés d'anàlisi de les dades, a més, és important destacar que en cap moment vam codificar sobre el text de les entrevistes, sinó que hem relacionat cada fragment d'entrevista amb una dificultat i cada dificultat amb un codi. Aquest sistema d'enregistrament de les dades ens ha permès al llarg del procés d'anàlisi un accés ràpid i flexible a tots els documents i tots els fragments d'entrevista on poguéssim identificar-se una dificultat. A més, a través de l'opció d'elaboració d'informe de quotes associades a cada codi (incloent-hi els hiperllinks a altres quotes)²⁸ podíem accedir fàcilment al llistat tenir tots els fragments de totes les simulacions lligats codi o a una família de codis determinada.

8.2.5. Anàlisi de la co-ocurrència de dificultats

²⁸ Aquesta opció s'executa a través de la funció: *Codes/ Ouput /Quotations for selected code(s)/Include hyperlinks*

Durant el procés de categorització de les dificultats ens hem trobat amb molts casos de **co-ocurrència de dificultats**. Al llarg del procés d'anàlisi de les entrevistes hem trobat algunes situacions on els estudiants topaven amb més d'una dificultat de lectura alhora, i per tant, a un fragment d'entrevista li associàvem també més d'una dificultat específica, les quals alhora es codificaven amb dues categories corresponents a dos dimensions diferents. En la Figura 115 apareix un exemple d'un d'aquests casos, que hem representat a través de les xarxes d'enllaços que genera Atlas.ti. El fragment 2:11 que apareix en la figura correspon a un dels primers moments de l'entrevista amb la participant PA2, en la que es veu com aquesta participant durant els primers instants de l'entrevista només es fixava en la part central de la representació de la simulació A (és a dir, els conjunts de partícules VA3 i VA4), i en canvi, no es fixa en els llibres VA1 de l'extrem esquerra.

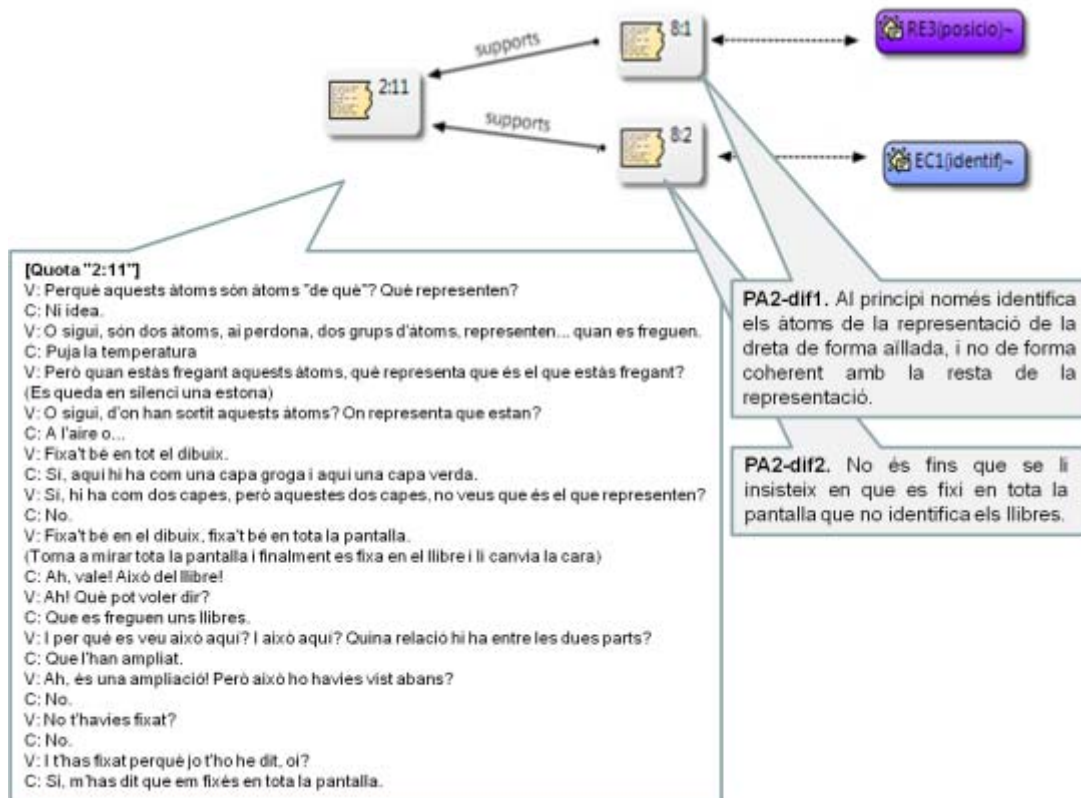


Figura 115. Captura de pantalla de Atlas.ti on apareix una quota amb un fragment d'entrevista vinculat a 2 quotes de dificultats, cada una de les quals està alhora vinculada a dos codis, que són per tant co-occurrents.

A aquest fragment d'entrevista Quota "2:11" li vam associar dos dificultats específiques (la dificultat 1 de la participant PA2, amb codi PA2-dif1; i també la dificultat 2, amb codi PA2-dif2) ja que vam considerar que en aquest fragment la participant PA2 es trobava amb dues dificultats estretament relacionades. Cada dificultat específica PA2-dif1 i PA2-dif2 va ser classificat en les categories RE3 i EC1 (que corresponen respectivament a les perspectives RE i EC). Aquesta "doble codificació" la vam fer també amb molts altres participants, de manera que vam anar enregistrant tots els casos en els que un mateix fragment d'entrevista portava associades dues dificultats específiques, i en alguns casos, fins i tot tres.

Així, a partir d'aquest enregistrament de dades, vam generar amb el programa Atlas.ti una **taula de co-ocurrència de codis** (de l'anglès CCT, “*codes co-occurrence table*”)²⁹. Aquesta taula (com la que hem exemplificat en la Figura 116) és una matriu en la que es poden incorporar els codis en files i en columnes i en la que apareixen automàticament el nombre de quotes que comparteixen codi. Aquesta eina, que permet exportar posteriorment els valors de la taula a un document d'Excel, ens ha estat de gran dificultat per identificar aquelles situacions en la que es donaven més d'una dificultat alhora, cosa que discutirem en profunditat en el capítol 10.

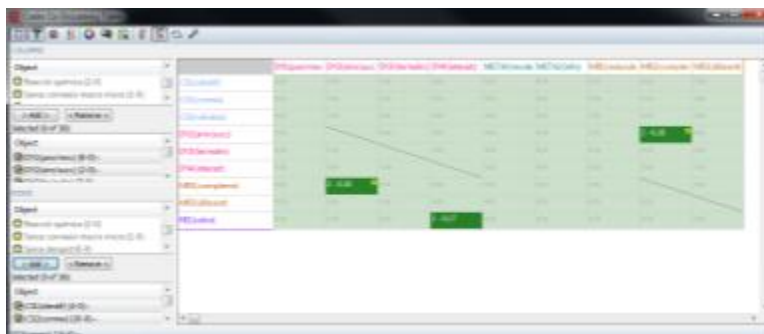


Figura 116. Captura de pantalla de Atlas.ti on apareix la taula de co-ocurrència que genera el programa.

8.2.6. Anàlisi de la recurrència de dificultats

Finalment, tot i que l'enfocament donat a aquesta recerca ha estat en tot moment exploratori i qualitatiu, també vam fer un recompte de dificultats amb l'objectiu de tenir una visió global de com les diferents dificultats específiques identificades estaven distribuïdes en funció de les categories i les dimensions d'anàlisi construïdes, i també com era la distribució de dificultats en funció dels participants. Per fer-ho, la darrera eina que també hem aprofitat del software Atlas.ti fou la generació d'una **taula de codis i documents primaris** (de l'anglès CTP, “*codes and P-docs table*”)³⁰, una eina que permet construir una taula amb les diferents columnes associades a cada codi que es vulgui i les diferents files associades a cada document primari que es vulgui. Tenint en compte que 14 dels nostres documents primaris eren els llistats de dificultat de cada participant, al utilitzar aquesta eina vam poder generar taules com les que presentem en el capítol 11, on apareixen de forma sintètica tots els 14 participants i els codis de les dificultats que apareixen en algun moment de cada entrevista (veure Taula 34 del capítol 11).

	P 7: Dificultats An	P 8: Dificulta	P 9: Dificulta	P10: Dificulti	P11: Dificulti	P12: Dificult	TOTALS:
11 RM1(redundan)	0	0	1	0	0	2	3
12 RM2(compleme)	1	1	0	0	2	1	5
13 RM3(diferent)	1	0	1	1	1	1	5
14 RE1(color)	0	0	0	0	0	0	0
15 RE2(forma)	0	0	0	0	0	0	0
16 RE3(posicio)	1	1	0	0	0	0	2

Figura 117. Captura de pantalla de Atlas.ti on apareix la taula de re-ocurrència entre codis (files) i documents primaris (columnes).

²⁹ Aquesta opció s'executa a través de la funció: *Analysis/Codes Cooccurrence Table*

³⁰ Aquesta opció s'executa a través de la funció: *Analysis/CodesP-docs Table*

8.3. Consideracions metodològiques referents a la recollida i anàlisi de dades realitzat

Hem volgut dedicar un darrer apartat del capítol 8 a discutir algunes consideracions sobre la pròpia metodologia emprada en aquesta recerca, especialment en la recollida de dades. Hem considerat necessari incloure aquestes consideracions amb la voluntat de plantejar les limitacions de la recollida de dades de forma transparent.

Les entrevista fora d'un context d'aula i d'interacció entre iguals

La primera consideració que volem fer és que la recollida de dades (a excepció de les gravacions fetes dins del context REVIR) ha estat basada en un format d'entrevista feta a un participant que es trobava fora de l'aula, en una sala contigua, i només en companyia de l'entrevistador desconegut que, segons les paraules d'alguns entrevistats, feia "*preguntes molt rares*". Per tant, és lògic preguntar-nos si el tipus d'atenció a la simulació, d'interacció o de raonaments dels participants haurien estat els mateixos si aquest es trobés en un context d'aula, amb la resta de companys havent d'utilitzar la mateixa simulació. En conseqüència, també és lògic preguntar-nos si els tipus de dificultats identificats coincidirien o no amb els que es pogués trobar cadascun dels participants en un context d'aula.

Ara bé, tot i posar aquestes preguntes sobre la taula, entenem que no podem respondre, o com a mínim no en el marc d'aquesta tesi doctoral. Com hem explicat en l'apartat 8.1.2., durant el disseny de la recerca vam veure la impossibilitat d'obtenir dades fiables i en profunditat dins de l'aula sense afectar el ritme de treball dels estudiants, i per això vam necessitar dur a terme les entrevistes amb el format amb que ho vam fer. Per tant, qualsevol qüestió entorn de com serien aquestes dificultats en un context diferent (i més concretament, en un context veritablement d'aula) quedaria en tot cas com a futura línia de recerca.

La sensació dels participants de sentir-se avaluats

Fruit d'aquest context on els participants s'entrevistaven amb un "desconegut" en molts casos vam identificar una certa sensació d'aquests participants d'estar avaluats per l'entrevistador, i vam veure que això condicionava els tipus de resposta. Per exemple, en el següent fragment d'entrevista veiem com PA3 en realitat no està entenenent per què algunes partícules de VA3 es desprenen del conjunt, el que hem anomenat com la representació dinàmica VA3d2 del desgast de les superfícies (apartat 6.2). En canvi, tota l'estona fa veure que sí que ho està entenenent i que ella entén perquè aquestes partícules es desprenen de la superfície fregada.

I: Què creus que vol dir que [algunes partícules] desapareguin?

P: Jo crec que al frotar-lo, alguns s'escapen, s'han anat.

I: I això tu ho connectaries amb alguna cosa que tu ja sàpigues? Quan tu fregues dos llibres realment passa alguna cosa....

P: Amb la fricció.

I: I què passa amb la fricció?

P: Eh... doncs que al fregar dos cossos les partícules van desapareixent.

I: Però això passa en la realitat?

P: Sí que passa però no ho veiem, perquè necessitaríem un microscopi.

De fet, aquest tipus de respostes són molt comunes en molt recerques amb entrevistes, i des del camp de les ciències socials s'ha apel·lat al concepte psicològic de **la desitjabilitat social per** explicar-ho (Paulhus, 2002). Podem entendre aquesta desitjabilitat social com la propensió de qui respon una pregunta a donar respostes

socialment desitjables, i per tant en el nostre cas, a fer veure que s'està entenent la simulació a la perfecció. Cal entendre aquest tipus de resposta psicològica davant d'una entrevista com un fet inevitable, i encara més donat el format d'entrevista que hem comentat anteriorment. De nou ens trobem amb un fet que, un cop enregistrades les entrevistes ja no podíem fer-hi res, apart de constatar-lo i exposar-lo com una limitació més.

Les intervencions de l'entrevistador com a condicionants de l'entrevista

Aquesta desitjabilitat social que es dona en molts dels estudiants participants també agreuja una altra limitació de les entrevistes: les pròpies intervencions involuntàries del entrevistador. Entenem que en qualsevol conversa natural entre dos persones les intervencions són espontànies i sovint en forma d'interrupcions mútues, cosa que sovint representa un símptoma inconscient d'empatia entre interlocutors. Ara bé, en les interlocucions entre entrevistador i entrevistat realitzades en les entrevistes, en molts casos les intervencions de l'entrevistador han condicionat molt les posteriors respostes dels participants.

Per exemple, en una entrevista una participant estava explicant la interacció entre els blocs VA2 i VA5 de la simulació A, i en un moment donat aquesta participant es va aturar a mitja frase. Immediatament l'entrevistador va acabar la frase dient "fregament", sense donar-li més importància. A partir d'aquell moment i durant la resta de l'entrevista la participant va utilitzar constantment la paraula fregament, tot i que en l'anàlisi posterior de l'entrevista vam adonar-nos que la participant no havia parlat de fregament abans que ho fes l'entrevistador, i que abans s'havia referit a la interacció com "una barreja" i com "un canvi". Aquest exemple ens mostra com una intervenció involuntària de l'entrevistador pot condicionar les respostes dels participants, de manera que dificulti identificar dificultats de lectura. Ara bé, com en els casos anteriors, es tracta d'una limitació que cal constatar, però que tampoc vam poder fer-hi res un cop les entrevistes ja s'havien enregistrat.

La inventiva dels estudiants

Una darrera consideració que hem volgut destacar abans de presentar els resultats de l'anàlisi és el fet que moltes entrevistes els estudiants directament s'inventen les respostes, i aquesta inventiva moltes vegades escapa del contingut científic de les simulacions. Aquest fet també ha estat identificat en la literatura, tal com expliquen, per exemple Ametller i Pintó (2002):

Some students' responses about the first image showed a certain tendency to add ideas to their readings. They invented stories based on their prior ideas, sometimes hardly related to other images of the document.

Aquest fet torna a ser un factor limitant en l'anàlisi de les dades, ja que no sempre és fàcil discernir i discriminar quan un estudiant realment es troba amb una dificultat de lectura i veritablement està interpretant la representació de forma alternativa, i quan aquest fet va més enllà i aquest estudiant s'inventa una cosa que no veu.

Capítol 9. Anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges

A partir de l'anàlisi exposat en el punt 8.2.4, les perspectives que hem utilitzat per classificar les dificultats de lectura identificades en les respostes dels participants són:

- **La lectura de l'estructura compositiva:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats que tenen els participants per interpretar la disposició i la composició formada pels diferents sintagmes visuals de la representació.
- **L'assignació de rellevància que es dóna als elements visuals:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar els casos en que els estudiants no donaven a un element visual la rellevància de la que li corresponia, ja fos per excés de rellevància o per defecte.
- **La interpretació semàntica dels sintagmes visuals:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats identificades a l'hora d'assignar un significat específic a un element visual determinat.
- **La interpretació de les representacions múltiples:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats que es manifestaven en aquelles situacions on l'estudiant no integraven adequadament la informació representada a través de diferents elements visuals situats en diferents llocs de la composició.
- **La interpretació de les representacions dinàmiques:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats per interpretar les representacions dinàmiques que inclouen algun tipus de canvi visual (translació, transformació o transició).
- **La interpretació de la naturalesa comunicativa de la representació:** És la perspectiva que hem utilitzat per analitzar els diferents casos en que els estudiants no identifiquen adequadament la naturalesa de la informació representada i per tant, interpreten la imatge des d'un marc interpretatiu alternatiu al canònic.

Al llarg del capítol 9 ens centrarem a presentar les dificultats identificades per cadascuna d'aquestes sis perspectives, que per simplicitat hem anomenat respectivament EC, RE, SEM, RM, DI i NC. Per cadascun dels apartats 9.1, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5 i 9.6 presentarem una breu discussió sobre el fonament teòric de la cada perspectiva, definirem i discutirem les dificultats identificades i mostrarem exemples de fragments d'entrevistes rellevants on es puguin identificar com aquestes dificultats intervenen en la lectura. A més, en l'apartat 9.7 hem inclòs una nova perspectiva: la lectura literal d'incorreccions de la simulació A que hem identificat pràcticament en el capítol 6 (apartat 6.4), que li hem associat el codi IS.

9.1. La lectura de l'estructura compositiva (EC)

Com acabem de definir, la lectura de l'estructura compositiva (EC) és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats que tenen els participants per interpretar la disposició i la composició formada pels diferents sintagmes visuals de la representació.

Fonament teòric de la perspectiva

La idea de la **estructura d'una representació** prové de l'enfocament semiòtic de les representacions visuals proposat per Kress i Van Leeuwen (1996) que hem discutit en el capítol 2, tot i que cal tenir en compte que els autors del llibre "*Reading Images. The grammar of visual design*" no parlen pròpiament de l'estructura compositiva, sinó que parlen de les **estructures representacionals** que es distingeixen entre narratives, analítiques, classificatives i simbòliques. Tot i així, el terme **estructura compositiva** sí que ha estat posteriorment utilitzat en les recerques sobre dificultats de lectura realitzades per Ametller i Pintó (2002), Colin, Chauvet, i Viennot, (2002) i Stylianidou i Ogborn (2002). De fet, Pintó i Ametller (2002) defineixen l'estructura compositiva com el significat lligat a l'arranjament espacial dels diferents elements d'una imatge, és a dir, la manera com **es disposen i es distribueixen els seus elements visuals**. Ara bé, basant-nos en la distinció feta també en el capítol 2, de la Secció I, entre elements mínims no significatius (color, forma, posició, etc.) i elements mínims significatius (sintagmes visuals), i partint de l'anàlisi sintàctica feta de les simulacions A i B en el capítol 6, Secció II, l'estructura compositiva no incumbeix només la manera com els sintagmes d'una representació es disposen i distribueixen en el pla de la representació, sinó també com es superposen en diferents plans.

Tipus de dificultats associades a la lectura de l'estructura compositiva

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva EC són:

Codi	Dificultat	Definició
EC1	Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals	La dificultat es presenta quan l'estudiant directament no veu, no percep, un sintagma visual, i per tant, no pot incorporar-lo al conjunt de l'estructura compositiva.
EC2	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla	La dificultat es presenta quan l'estudiant sí que identifica els diferents sintagmes visuals disposats en el pla, però o bé no estableix cap connexió sintàctica o bé estableix una connexió sintàctica errònia.
EC3	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats	La dificultat es presenta quan l'estudiant sí que identifica els diferents sintagmes visuals superposats però no estableix cap connexió sintàctica o bé estableix una connexió sintàctica errònia.

Taula 25. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva EC.

9.1.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva EC

En l'anàlisi de la simulació A presentat en el capítol 6 hem discutit la seva estructura compositiva, i hem identificat com a requeriments de lectura connectar els llibres de l'esquerra (VA1) amb la representació microscòpica (VA2-VA5) a través de l'estructura de zoom (veure Figura 73 de l'apartat 6.3), així com interpretar el contorn de les partícules (VA3 i VA4) i la seva relació amb els seus respectius fons sòlids (VA2 i VA5) (veure Figura 82 de l'apartat 6.3). Tot i així, en diferents situacions hem vist que els requeriments de lectura no es donen. Els discutim a continuació.

Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals (EC1) en la simulació A

Una situació que es va donar en les entrevistes realitzades a PA1, PA2 i PA7 és que aquests al principi **no identificaven els llibres VB1**, i això no els permetia llegir l'estructura de la representació. Per exemple, PA1 començà dient "Hi ha un grup de boles grogues i un grup de boles verdes, i un termòmetre que si frotes, si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa" [Quota "1:14"], sense fer cap referència a que es tractava d'una representació microscòpica, d'un zoom, d'una ampliació. En l'exemple de PA2 podem veure com fins que se li va insistir que es fixés en tota la pantalla no va identificar els llibres:

[Quota "2:11"]

I: Però quan estàs fregant aquests àtoms, què representa que és el que estàs fregant?

(Es queda en silenci una estona)

I: O sigui, d'on han sortit aquests àtoms? On representa que estan?

P: A l'aire o...

I: Fixa't bé en tot el dibuix.

P: Sí, aquí hi ha com una capa groga i aquí una capa verda.

I: Sí, hi ha com dos capes, però aquestes dos capes, no veus que és el que representen?

P: No.

I: Fixa't bé en el dibuix, fixa't bé en tota la pantalla.

(Torna a mirar tota la pantalla i finalment es fixa en el llibre i li canvia la cara)

P: Ah, vale! Això del llibre!

I: Ah! Què pot voler dir?

P: Que es freguen uns llibres.

I: I per què es veu això aquí? I això aquí? Quina relació hi ha entre les dues parts?

P: Que l'han ampliat.

I: Ah, és una ampliació! Però això ho havies vist abans?

P: No.

I: No t'havies fixat?

P: No.

I: I t'has fixat perquè jo t'ho he dit, oi?

P: Sí, m'has dit que em fixés en tota la pantalla.

Amb la participant PA3 vam trobar una altra dificultat de tipus EC1. A mitja entrevista ens va dir que "abans no veia el fons, perquè és tan claret que no veia el fons. I jo deia "fons verd?", sí és blanc!" [Quota "3:29"]. El fet de **no veure el fons verd VA5** li impedia comprendre la composició de sintagmes superposats fons-partícules.

Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2) en la simulació A

La connexió de zoom entre VA1 i VA2-VA5 que hem presentat en la Figura 73, al principi de l'apartat 6.3, no va ser realitzada en primera instància per tots els participants. En alguns casos aquest requeriment sí que es va complir. La participant PA5, per exemple, començant identificant l'estructura analítica des del primer moment, al referir-se a "És com l'amplificació d'un tros de llibre o algo així. Està amplificat com aquest tros, on estan els dos llibres junts, i quan baixo el llibre groc i el frego amb el verd, puja la temperatura i em desapareixen els toms" [Quota "5:24 "]:

Però aquesta lectura canònica de l'estructura que va fer PA5 no es va donar en altres casos. La participant PA1, per exemple, en comptes de llegir una connexió d'ampliació entre la representació VA1 i VA2-VA5 **va interpretar les línies discontinues que fan de connectors com si fossin fletxes** com les de la Figura 118. Així es desprèn de la seva explicació:

[Quota "1:21"]

P: El llibre de química groc, i el de física verd. El de física té com unes fletxes que porta aquest verd de boles, i el de química una altra fletxa que porta al grup groc.

I: Aquestes fletxes me les pots senyalar per pantalla? (les senyala). Per tant, aquestes fletxes que creus que volen dir?

P: Que és una reacció. Que es fa com una reacció química.

I: Explica-m'ho una mica millor, que no ho estic entenent. O sigui, aquestes fletxes volen dir que...

P: Que així és una part de química i així una part de física, (...).

La participant PA3 encara va anar més enllà en la seva interpretació particular de l'estructura compositiva, i va arribar a associar les etiquetes verbals "física" i "química" dient que "uns [toms] són químics i els altres són físics":

[Quota "3:22"]

I: I aquests toms, són toms de què ?

P: Uf... De... (es queda encallada. Potser es pensa que li pregunto de quin element químic són).

I: Vull dir, tenen alguna cosa a veure amb la part que hi ha a l'esquerra?

P: Sí, perquè uns són químics i els altres són físics, pot ser?

I: Què et fa pensar que així és així?

P: Perquè un llibre és groc i l'altre verd. Pels toms.

I: O sigui, tu veus una relació entre els colors, no? I així et fa pensar que com que a dalt posa "química"....

P: Sí, uns són química i els altres són física. Estan compostos d'així .

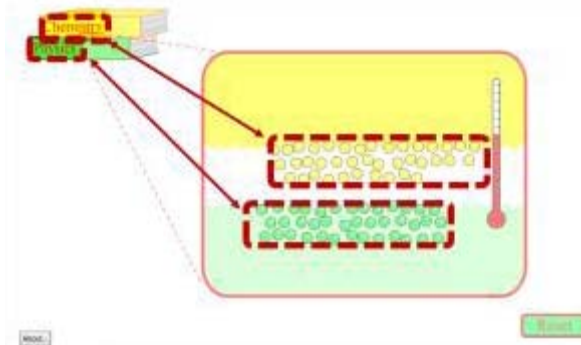


Figura 118. Interpretació alternativa de l'estructura compositiva de la representació. La interpretació canònica l'hem definida en la Figura 73.

Una altra dificultat per connectar aquests sintagmes la vam trobar en el participant PA7, que també va mostrar símptomes de no entendre l'estructura compositiva: tot i suposadament haver entès la estructura de zoom, va referir-se als sintagmes VA3 i VA4 com “*els àtoms que estan entre mig dels dos llibres*”. És a dir, no estava llegint que VA3 eren partícules del llibre groc i que VA4 eren partícules del llibre verd, sinó que eren **dos conjunts de partícules externes als llibres**, pertanyents a “*el tros que queda entre els dos llibres*” [Quota "13:19"].

Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3) en la simulació A

El requeriment de connectar els sintagmes superposats VA2 amb VA3 (i també VA4 amb VA5) necessari per comprendre la doble representació de la matèria ha sigut identificat com un dels més problemàtics en les entrevistes fetes, especialment pel fet que només apareguin partícules sobre un tros dels fons sòlids que representen els llibres i que no ho facin de forma exhaustiva per tota la pantalla. A tots els participants se'ls va preguntar perquè només hi havia àtoms en el requadre determinat pel contorn de VA4, i cada estudiant va respondre de forma diferent. Una resposta que hem considerat canònica és la de la Participant PA2, que va referir-se a la zona sense partícules dient “*Home, si que hi ha [àtoms a la resta d'àrea], però no estan posats*”.

En canvi, la participant PA1, va respondre fins a dos ocasions [Quota "1:26"] que no sabia el perquè d'aquesta distribució, demostrant que no estava connectant de cap manera fons i partícules. La participant PA6 tampoc va ser capaç d'explicar perquè només hi havia partícules VA4 a sobre d'una part del fons verd VA5, i va acabar fent la següent explicació alternativa de perquè el contorn de VA5 tenia bonys:

[Quota "6:19"]

I: Això d'aquí, per exemple, com ho definiries amb paraules?

P: Doncs que cada llibre té uns bonys, però no se que son. Sembla com si els àtoms es possessin allà, el lloc on han d'anar els àtoms.

I: I, per tant, si jo et pregunto què volen dir aquests bonys, la teva resposta seria...

P: Sí, com una espècie de... (dubta) forats, on es situen cada àtom.

I: I per què creus que no hi ha àtoms allà?

P: Perquè.. no se. També s'han anat molts i llavors també alguns anirien allà i com s'han anat, doncs queden [els forats].

Finalment, una darrera dificultat per connectar la vam identificar en el participant PA7, que va explicar que només hi havia alguns àtoms representats perquè “*estan tots al centre perquè s'atrauen*” [Quota "13:20"].

9.1.2. Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva EC

En l'anàlisi de la simulació B presentat en el l'apartat 6.6 hem identificat un requeriment de lectura necessari el connectar a nivell sintàctic els diferents elements de la representació com a elements constituents d'un circuit elèctric (veure Figura 101).

Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2) en la simulació B

Les respostes dels estudiants davant la pregunta de què era el que apareixia representat en la simulació B en molts casos van distar molt d'una explicació basada en la idea de circuit. En alguns casos, l'explicació dels estudiants es va **reduir a explicar que en la representació hi havia elements "connectats"**, sense parlar d'una connexió tancada, ni d'una connexió entre els extrems dels elements del circuit, ni qualsevol altra descripció que pogués portar a conceptualitzar la idea de circuit. Per exemple, la participant PB4, en la seva explicació de la representació parlà de *"la bombeta, les bobines, la mquina aquesta que he dit del voltatge, i lo que estan unides les bombetes i les bobines"* [Quota "19:14"], i més endavant tornà a dir que *"Les bobines. Estan unides amb la bombeta"* sense fer cap referència a la idea de circuit ni com estan units. El mateix li passà a l'Eduard, que primer parlà dels elements de forma aïllada i posteriorment, quan se li va preguntar pel sentit del conjunt format pels cables, bobina, bombeta i sensor va respondre que *"[el conjunt] seria com una mena d'interruptor"* [Quota "15:9"], sense fer tampoc cap referència a la idea de circuit.

En altres casos vam trobar que, quan preguntem per la segona bobina (VB6), els estudiants responien que una segona bobina serviria per utilitzar un segon imant, com si existís una relació bijectiva entre aquests elements: *"una bobina per cada imant"*. En algun cas, aquest raonament es va utilitzar per parlar també de *"una bobina per cada imant i per cada bombeta"*, com hem presentat en la Figura 119. La participant PB3, al preguntar-li per la segona bobina, va dir *"Que en el circuit se li podrien afegir més bombetes o dos imants"* [Quota "18:24"]. Aquest tipus de raonament el vam trobar en la Laia, que va respondre *"Perquè si hi ha més d'una bombeta, si només tens una (bobina) i tens que encendre les dos amb aquesta doncs far s menys llum. I si tens dos imants doncs far s més llum"* [Quota "16:14"], i també en el Manuel, que al preguntar-li *"I quina és la funció que creus que té posar la segona bobina?"* va respondre que *"No se... bé, si tinguéssim dos imants, suposo que hi hauria més voltatge."*

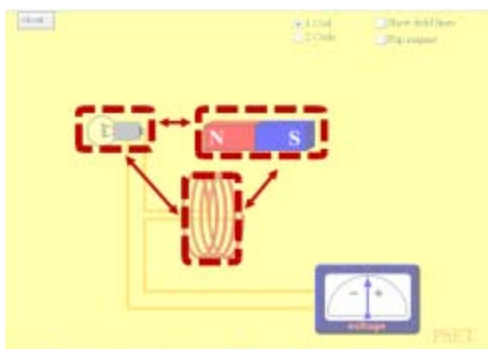


Figura 119. Connexió bijectiva entre els elements de la representació.

Una altra interpretació alternativa de l'estructura compositiva la vam trobar en la resposta del participant PB8 vers aquesta mateixa qüestió del perquè de la segona bobina. Aquest estudiant va començar a moure l'imant de forma circular, fent-lo entrar per una bobina i després per l'altra, com representem en la Figura 120, mentre deia *"Ah, ja ho entenc, per fer electricitat, això [l'imant], ha d'anar per aquí, en forma de cercle"* [Quota "30:01"].

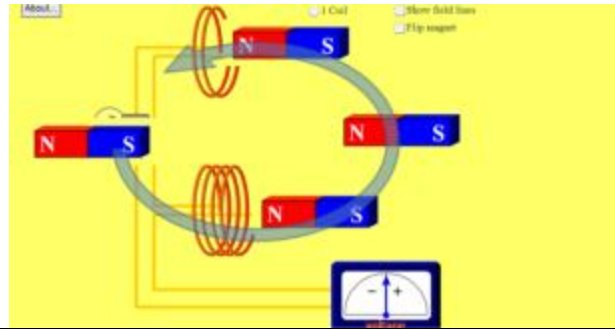


Figura 120. Connexió entre els bobines i l'imant com un "circuit" per on ha de passar l'imant donant voltes per les dues bobines.

Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3) en la simulació B

A partir dels vídeos de les entrevistes vam observar que alguns estudiants provaven de desplaçar l'imant per tota la pantalla, i quan l'imant topava amb la bobina, amb la bombeta o el sensor, provaven de fer-lo passar per sobre dels elements del circuit, com si en la representació **l'imant és pogués superposar a la resta d'elements**. Vam identificar aquesta dificultat quan la participant PB3, després que se li hagués encallat l'imant entre la bobina i la bombeta ens digués *"Es que no puc moure-ho bé [l'imant], es que no puc pujar cap a dalt"* [Quota "18:12"]. De fet, la percepció d'alguns participants que l'imant pogués moure's tridimensionalment i passar per sobre de la resta d'elements pot ser deguda a la presència d'elements tridimensionals en la representació (la bobina i de l'imant sí que són tridimensionals amb profunditat i volum).

9.2. L'assignació de rellevància que es dona a cada element visual (RE)

Com hem definit a l'inici del capítol, l'assignació de rellevància que es dona als elements visuals és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar els casos en que els estudiants no donaven a un element visual la rellevància de la que li corresponia, ja fos per excés de rellevància o per defecte.

Fonament teòric de la perspectiva

En la perspectiva semiòtica de les representacions visuals (que hem abordat en l'apartat 2.1, Secció I) no es parla de rellevància d'un element visual, sinó de la **prominència** (de l'anglès, "*saliency*"). Kress i Van Leeuwen (1996) defineixen aquesta propietat d'un element visual com el grau amb el que sobresurten del seu conjunt, i la relacionen amb la posició i l'emmarcatge ("*framing*") d'aquest element. Paral·lelament, des de la Teoria de la Gestalt (que hem presentat en l'apartat 2.2, Secció I) tampoc es parla pròpiament de rellevància sinó de **pregnància**, que molts autors defineixen com la qualitat d'un element visual de ser percebut de forma privilegiada respecte la resta d'elements. Segons Winn (1994), els factors que condicionen la **pregnància** són el contrast entre les figures i el fons, la simplicitat, el gruix del traç o la simetria (entre d'altres), i són aquests factors els que porten a que el lector estableixi **precedència** entre uns elements visuals i uns altres. Així, mentre la pregnància és una propietat o una característica de la representació, la precedència és un procés cognitiu del lector de donar prioritat a uns elements respecte uns altres. Un altre factor que modula la percepció és l'**atenció**, la qual ve eminentment condicionada pels objectius de lectura (Kulhavy et al, 1985). Lowe (2003), en canvi, argumenta que l'atenció del lector sovint ve més condicionada per la **prominència perceptiva** que no per la **rellevància temàtica** d'un element visual (de l'anglès "*perceptive saliency vs. thematic relevance*"), i que això pot esdevenir una dificultat de lectura. Així, la **rellevància** és una propietat de la representació, però no és una propietat visual a diferència de la prominència o la pregnància, sinó una propietat del contingut. Un element visual **és més rellevant si condiciona més el significat o el sentit de la representació**, i viceversa.

Aquestes idees de prominència, pregnància, precedència i rellevància s'han aplicat també al camp de la didàctica de les ciències, per tal de veure com intervenen en la lectura d'imatges. Jiménez (1999) va discutir sobre la pregnància de les representacions científiques com un element clau a l'hora de que els estudiants donin rellevància a cada element, i Pintó i Ametller (2002) van identificar que alguns estudiants podien tenir dificultats per **seleccionar i ressaltar** (de l'anglès, "*selection and highlighting*") les informacions més rellevants. Més concretament, Testa et al. (2002) van identificar dificultats dels estudiants a l'hora de **discriminar la informació més rellevant de la informació secundària o anecdòtica**, i Ametller i Pintó (2002) van identificar dificultats semblants, ja que els estudiants o bé podien donar **massa importància al text**, o bé podien ni tan sols fixar-s'hi.

Tipus de dificultats associades a l'assignació de rellevància als elements visuals

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva RE són:

Codi	Dificultat	Definició
RE1	Dificultat per donar rellevància adient al color	La dificultat es presenta quan l'estudiant, a l'hora de construir una explicació del que està

		llegint, dóna massa importància al color d'un sintagma visual; o bé quan no li dóna prou importància.
RE2	Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn	La dificultat es presenta quan l'estudiant, a l'hora de construir una explicació del que està llegint, dóna massa importància a la forma i el contorn d'un sintagma visual; o bé quan no li dóna prou importància.
RE3	Dificultat per donar rellevància adient a un element visual per la seva posició	La dificultat es presenta quan l'estudiant, a l'hora de construir una explicació del que està llegint, dóna massa importància a un sintagma visual per la seva posició; o bé quan no li dóna prou importància també per la seva posició.
RE4	Dificultat per donar rellevància adient al text	La dificultat es presenta quan l'estudiant, a l'hora de construir una explicació del que està llegint, dóna massa importància a les etiquetes verbals inserides en la representació; o bé quan no li dóna prou importància a aquestes etiquetes.

Taula 26. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva RE.

Aclariment: Diferència entre les dificultats RE i la dificultat EC1.

En aquestes definicions presentades, és important aclarir la diferència que hi ha entre les dificultats de la perspectiva RE i les que abans hem categoritzat com EC1. En el capítol anterior, la categoria EC1 feia referència a la dificultat dels estudiants de comprendre l'estructura compositiva pel fet de **no identificar un element**. En canvi, en el cas de RE no ens fixem si els participants identifiquen o no un element visual determinat, sinó si **no li donen la rellevància adequada**.

9.2.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva RE

En l'anàlisi de la simulació A que hem presentat en el capítol 6 hem identificat elements visuals més prominents i d'altres de menys prominents, i també hem identificat els requeriments de lectura per arribar a comprendre la simulació. Donen els participants en la nostra recerca la rellevància necessària a cada element visual per poder realitzar tots els requeriments de lectura? Donen massa rellevància o massa poca rellevància a alguns elements?

Dificultat per donar rellevància adient al color (RE1) en la simulació A

Una situació que es va repetir en la majoria d'entrevistes va ser les constants referències a "el llibre groc" i "el llibre verd" per descriure i explicar la simulació A, cosa que ens podria portar a pensar en un excés de rellevància atorgada a aquests colors. Ara bé, **no hem considerat dificultats relacionades amb la rellevància del color en la simulació A**, ja que considerem que donar una rellevància errònia (en aquest cas, en excés) al color implicaria que els estudiants haguessin generat una explicació en base al color i no simplement haver-lo anomenat per descriure visualment la representació. En totes les entrevistes realitzades, els estudiants van parlar del color per distingir els dos llibres (en comptes de dir "el llibre de dalt" o "el llibre de baix") i no pas per construir explicacions.

Dificultat per donar rellevància adient a la forma i al contorn (RE2) en la simulació A

En canvi, sí que vam identificar **una manca de rellevància per part de molts participants en el contorn irregular de les partícules VA3** (veure Figura 81, apartat 6.3) cada vegada que es reinicia la simulació i les partícules restitueixen la seva posició inicial (VA3d3). Tot i la rellevància que té aquest contorn per comprendre la idea de irregularitat mesoscòpica de les superfícies fregades, cap participant en va fer cap referència directa, cosa que mostra **la poca rellevància que els participants li van donar**. En algun cas, fins i tot al ser preguntats explícitament pel contorn irregular de VA3, els participants van donar respostes vagues o poc clares, símptoma de la poca rellevància a aquest contorn. Aquest va ser el cas, per exemple, de la participant PA3 *“Jo crec que [la forma irregular] no vol dir res, perquè aquí [partícules verdes] no acaben en punta. Jo crec que, no se perquè, aquests [partícules verdes] estan més uniformes i aquests [partícules grogues] estan més a la seva bola”* [Quota "3:33"].

A més, aquesta falta de rellevància es veu reforçada pel fet que al principi d'interactuar amb la simulació A les participants van començar a fregar, i algunes partícules de VA3 van desprendre's (VA3d2) molt ràpidament, i cap d'elles havia pogut copsar aquesta representació de VA3d2. Per exemple, en la Figura 121 es veu com només començar el vídeo la participant PA6 comença a fregar VA2 amb VA5, i només en 6 segons **totes les partícules de VA3 s'han després** i han desaparegut de la representació. És a dir, la falta de rellevància es dona perquè les participants directament no perceben la informació inicial, ja que si comencen a fregar immediatament desapareix una part de les partícules VA3 considerem que **és normal que no tinguin temps per fixar-se** en com estaven col·locades al principi.

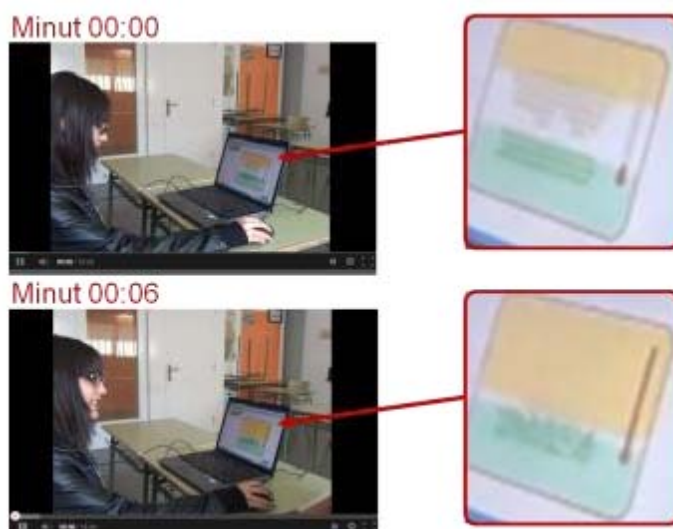


Figura 121. En només sis segons, les partícules de VA3 s'han després del llibre i han desaparegut (VA3d2).

Dificultat per donar rellevància adient de la posició (RE3) en la simulació A

La falta de rellevància del contorn de VA3 contrasta, en canvi, amb l'excés de rellevància als **sintagmes situats al centre de la representació**. En els diferents fragments que ja hem discutit en les dificultats EC1 de la simulació A, es podia veure com l'explicació dels estudiants sobre el què estaven veient es centrava en les

partícules, i com hem dit abans, sense identificar els llibres. Aquest és el cas de PA1 [Quota 1:14], PA2 [Quota "2:11"] o PA7:

[Quota "13:11"]

I: Diques que és el que veus per pantalla?

P: Doncs són com boles grogues i voles verdes. I un termòmetre. Ara mateix està baixant la temperatura. I diu de fregar els àtoms que són les boles aquestes.

I: Jo m'ho he d'imaginar. Creus que amb la informació aquesta jo ja m'ho puc imaginar tot?

P: No. Els àtoms grossos estan a la part de dalt i els àtoms verds a la part de baix. Estan separats.

I: Més coses?

P: No.

Es tracta, per tant, de situacions en què els estudiants donen tota la rellevància de la representació als elements centrals, deixant completament de banda la representació macroscòpica o els connectors que conformen l'estructura de zoom (Figura 122).

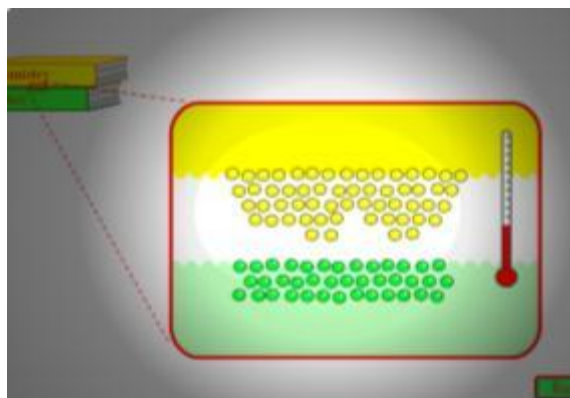


Figura 122. Representació de la prominència dels elements. Blanc: màxima prominència. Gris: mínima prominència.

Dificultat per donar rellevància adient al text inserit (RE4) en la simulació A

Vam trobar situacions on els estudiants donaven excés de rellevància en aquelles explicacions basades en les etiquetes verbals "Física" i "Química". Abans hem presentat la problemàtica en la lectura de l'estructura compositiva realitzada per PA1 i PA3 (dificultat EC2 per la simulació A), i hem presentat que aquestes es referien a les partícules representades com "això és una part de química i això una part de física" (PA1) i "uns [àtoms] són químics i els altres són físics" (PA3). En tots dos casos també intervé una excessiva importància al text escrit, ja que les etiquetes verbals "física" i "química" reben per part d'aquestes dues estudiants una importància major que la que hauria de tenir.

Ara bé, en altres casos, la rellevància al text apareix de forma més subtil. En aquest cas la rellevància del text potser no afecta a la comprensió global de la representació, però sí que l'hem identificada d'una forma equivalent a la idea de "prestigi" proposada per Ametller i Pintó (2002) respecte a com els estudiants llegeixen representacions que contenen formulisme matemàtic, com discutirem més endavant en la Secció V.

Aquest "prestigi" el trobem, per exemple, en la participant PA6, que sense una dificultat aparent per llegir el conjunt de la imatge, quan se li pregunta pels llibres dona una

excessiva importància al text "Física" i "Química", com si el fet d'aparèixer aquest text donés algun sentit específic a la representació.

[Quota "6:12"]

I: Apareixen més coses per pantalla?

P: Surt que és dos llibres que és com si es frotessin els dos llibres.

I: I els dos llibres que tenen a veure amb els àtoms que m'has dit abans?

P: Que són de física i química.

9.2.2. Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva RE

En l'anàlisi de la simulació B presentat en el capítol 7 hem identificat elements més o menys prominents, i també els requeriments de lectura que porta associat cadascun dels elements de la composició. En quins casos els participants no van donar prou rellevància o van donar un excés de rellevància als elements visuals de la simulació B?

Dificultat per donar rellevància adient al color (RE1) en la simulació B

D'una banda, hem identificat alguna dificultat relacionada amb **donar un excés de rellevància al color de l'imant**. Al analitzar les respostes de la participant PB3, vam veure que aquesta participant no explicava què feia l'imant en el seu conjunt, sinó què feien els seus pols. En l'explicació, arribà un moment que el color de l'imant era el subjecte de les frases que utilitzava per fer les seves explicacions, fins al punt que va arribar a **construir explicacions del comportament de la simulació en funció del color** de l'imant. Aquesta participant va arribar a fer explicacions com ara "*Quan ho passo per la bobina, la bombeta, quan passa el color blau, s'encén, i el vermell, té com poca il·luminació i és com si s'apagués*" [Quota "18:14"]; i també "*I amb el color blau la bombeta s'encén, però quan passa el vermell no*" [Quota "18:16"], fins al punt d'acabar fent-se un embolic en l'explicació que ella mateixa estava fent "*Espera... Em sembla que es canvien els colors... No, no, espera. Que amb el vermell també hi ha electricitat. Sí, amb el vermell també... I amb l'altre no. L'altre quan li passa el vermell no fa res.*" [Quota "18:26"].

De l'altra banda, també hem identificat una dificultat relacionada amb **no donar prou rellevància al color blanc associat a la il·luminació de la bombeta**. Com hem identificat en el capítol 7, la representació de la il·luminació pot ser molt suau, i per això, arribar a ser poc perceptible, tot i que sigui d'una gran rellevància. En l'entrevista al participant PB7 vam trobar que la il·luminació tan suau que tenia en alguns casos la bombeta feia que aquest no li pogués donar la rellevància adient, i per tant, no podia interpretar adequadament el comportament del sistema [Quote "27:14"].

Dificultat per donar rellevància adient a la forma i al contorn (RE2) en la simulació B

Al analitzar les dificultats en la lectura de la simulació B vam trobar una explicació errònia que apareixia en diferents estudiants, en la **que es concebia la bobina com un cilindre amb un forat en mig** que feia que el circuit estigués obert, i no com un conductor elèctric que forma part del circuit. Segons les explicacions dels participants, quan el forat es tapava (és a dir, quan l'imant entrava a la bobina) es tancava el circuit i podia circular l'electricitat (Figura 123).

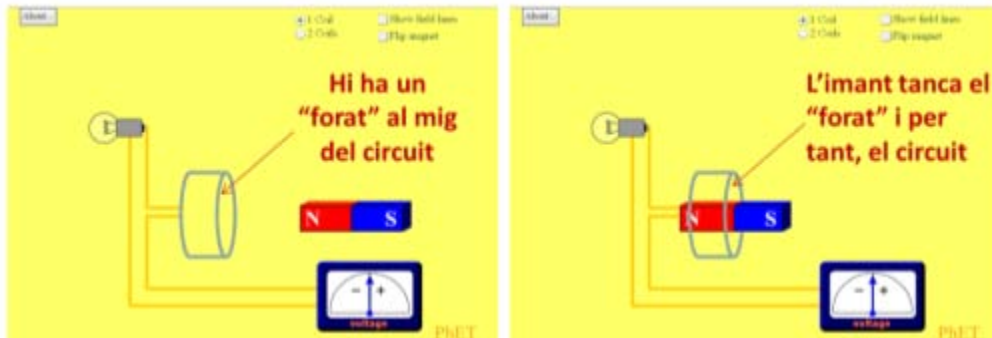


Figura 123. Forma cilíndrica de la bobina que és interpretada com un “forat”.

Aquesta dificultat es pot explicar per l'alta pregnància de la forma de “forat” de la bobina, que és superior a la forma helicoidal de conductor, i que per tant, això va fer que els estudiants donessin més rellevància del compte al forat de dins la bobina. Vam trobar aquesta dificultat en els participants PB1 [Quota "15:10"], PB3 [Quota "18:19"] i també PB6, com mostrem a continuació:

[Quota "25:12"]

I: Vale, hi ha com tres coses connectades en el circuit. Però en el circuit, quan la bombeta s'està encenent, què està passant?

P: Em sembla que ja ho entenc.

I: Vinga!

P: Perquè el circuit elèctric no està tancat, saps? Aleshores, quan fiques l'imatge el tanques completament i aleshores...

I: A tu et sona alguna cosa de circuit obert / circuit tancat i aleshores suposes que...

P: Per aquí està obert i quan passes ... permet passar l'electricitat.

I: D'alguna manera, quan acostes un imant, què li passa al circuit?

P: Que es tanca i aleshores permet el pas d'electricitat. (...) Però si fico l'imatge hi ha un moment que tanco el circuit i aleshores pugen els electrons per encendre la bombeta. I segons on la fiqui, on s'encén més la bombeta hi ha més voltatge.

Una altra dificultat identificada també tenia a veure amb la rellevància de la forma de la bobina, però no és a causa de la pregnància de la forma de “forat” de la bobina, sinó de la **seva longitud**. En un moment de l'entrevista, la participant PB2 digué que “Aquesta [bobina] com que és més curta fa menys llum, i aquesta com que és més llarga fa més llum”. [Quota "16:16"]. Tot i que això podria ser només una qüestió de vocabulari, més endavant vam veure que la participant PB2 realment entenia que era la longitud l'element rellevant que feia variar la generació de corrent, i no pas el nombre d'espines: “Que com més llarga és la bobina, més electricitat passa perquè més estona està l'imatge passant per dintre la bobina. I si és més curt, no fa tanta llum” [Quota "16:17"].

Dificultat per donar rellevància adient al text inserit (RE4) en la simulació B

Tot i la poca presència de text en la simulació B, vam identificar dificultats de lectura associades tant a l'excés de rellevància a les etiquetes verbals inserides, i també a la falta de rellevància d'aquestes etiquetes. D'una banda, vam trobar una **falta de rellevància de les lletres “N” i “S”**, corresponents a Nord i Sud, que apareixen en l'imatge. L'Eduard, per exemple, va referir-se en diferents moments de l'entrevista a “el pol positiu o negatiu de l'imatge” [Quota "15:11"], tot i la presència d'unes etiquetes

verbals que haurien d'ajudar-lo a concebre els pols de l'imant com "*nord i sud*" i no com "*positiu i negatiu*".

Al mateix temps, també vam trobar **un excés de rellevància a l'etiqueta verbal "voltatge"** que apareix dins el sensor, ja que alguns participants van utilitzar aquesta etiqueta com si aquest fos el nom del sensor. Aquesta dificultat la vam trobar en la Laia, que al llarg de la seva entrevista va referir-se en múltiples ocasions al sensor com "*el voltatge*". Per exemple, a l'hora d'anomenar els elements del circuit va dir "*[En la simulació B podem observar] com funciona un circuit elèctric a partir de la bobina, l'imant, la bombeta i el voltatge*" [Quote "16:20"].

9.3. La interpretació semàntica dels elements visuals (SEM)

La interpretació semàntica dels sintagmes visuals és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats dels participants per d'assignar un significat específic (en el nostre cas, un significat científic) a un element visual determinat de la representació.

Fonament teòric de la perspectiva

Tot i que la lectura visual d'una simulació o de qualsevol altre tipus de representació visual externa porta sempre implícit el fet de donar significat a una representació, la perspectiva estrictament semàntica de la lectura de les dificultats de lectura fa referència a com els lectors assignen un significat particular a cada un dels elements visuals de la representació. De fet, basant-nos en l'analogia entre el llenguatge visual i el llenguatge escrit que hem presentat en l'apartat 2.1, podem concebre les dificultats semàntiques ens referim a dificultats equivalents a les dificultats lexico-semàntiques que es donen quan un lector novell desconeix, per falta de vocabulari, el significat d'una paraula, cosa que afecta a la comprensió global de l'oració (Genover, Pozo, i Vilar, 1998). Ara bé, l'assignació de significat errònia també pot donar-se per similitud visual entre un element de la representació i altres representacions mentals que el lector coneix prèviament, el que en el capítol 2 hem anomenat com homonímia (Ametller i Pintó, 2002). Tanmateix, cal tenir en compte que en el camp de la lectura de text escrit l'homonímia és una relació lèxica que s'estableix entre dos paraules que presenten identitat formal, mentre que en el nostre cas no parlarem de identitat gràfica sinó de similitud gràfica.

Tipus de dificultats associades a la perspectiva semàntica de la lectura

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva SEM són:

Codi	Dificultat	Definició
SEM1	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia entre la representació externa i una representació mental prèvia del lector	La dificultat es presenta quan l'estudiant confon una imatge representada amb una altre representació visualment similar que l'estudiant coneix.
SEM2	Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual	La dificultat es presenta quan l'estudiant desconeix completament el significat d'un element visual i, per tant, no fa cap interpretació d'aquest element, o bé dóna una interpretació en base a la seva inventiva sense cap relació amb el significat real.

Taula 27. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva SEM.

Aclariment: Diferència entre les dificultats SEM2 i la dificultat EC1.

Abans de presentar les situacions en les que hem identificat aquestes dificultats, és convenient fer una distinció per tal d'evitar confusions. En l'apartat 9.1 ens hem referit a la categoria EC1 per fer referència a les dificultats on els participants no identificaven un element visual, és a dir, el que en el llenguatge quotidià podríem dir com "*no ho*

veia". En canvi, ens referirem a la categoria SEM2 en aquells casos en que el lector sí que identificava un element visual determinat (i de fet, en feia referència en algun moment de l'entrevista) però explicitava el seu desconeixement del significat d'aquest element. És a dir, considerarem els casos que de forma implícita o explícita els alumnes expressen que "sí que ho veia, però no sabia què volia dir".

9.3.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva SEM

A través de les set entrevistes realitzades a participants que utilitzaven la simulació A, vam identificar tant dificultats de tipus SEM1 com de tipus SEM2, especialment relacionades amb el significat que els alumnes atorgaven a la vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d) i molt especialment, amb el fet que algunes de les partícules marxin (VA3d2).

Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1) en la simulació A

En algunes de les entrevistes vam identificar que els alumnes parlaven del moviment de les partícules com si es tractés d'un canvi d'estat, ja que la representació que s'acostuma a utilitzar en els llibres i materials educatius de ciències per explicar el canvi d'estat té moltes similituds amb la representació de la simulació A, com presentem en la Figura 124.

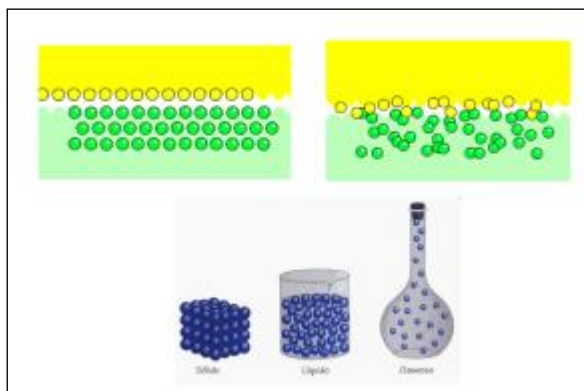


Figura 124. Semblança visual entre les partícules de la simulació A i les representacions més corrents utilitzades en el model cinètic-molecular.

Per exemple, la participant PA8, en un moment de l'entrevista va fer referència a l'evaporació, expressant els seus dubtes sobre el perquè del desprendiment de partícules representat a través de VA3d2: "O sea, se van si se evaporan, pero solo juntándolos así no se evaporan..." [Quote 29:01]. De la mateixa manera, la Participant PA4, en un moment donat de la discussió sobre el que estava veient, va parlar d'evaporació per referir-se a VA3d2 "Doncs que a més temperatura més vibren i més es mouen i llavors arriba un moment que és com si s'evaporessin i marxessin. I quan es refreden tornen a la mateixa posició" [Quote "4:19"]. Aquesta mateixa estudiant, en un altre moment de l'entrevista, va tornar a fer referència als canvis d'estat "de sòlid a líquid" [Quote "4:25"], i una explicació semblant va donar el participant PA11 dient "Quan hi ha molta temperatura [el conjunt de partícules] es separa i és líquid" [Quota "29:07"].

Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2) en la simulació A

En altres casos, altres participants no van trobar similituds entre la representació VA3d2 amb representacions homònimes, sinó simplement van expressar el seu desconeixement del significat d'aquesta representació. Per exemple, la participant PA9 va dir, referint-se a VA3d2 va dir *"Pero es que no entiendo porque se van..."* [Quote 29:04], és a dir, no estava donant cap significat a la representació VA3d2. En el cas de la participant PA1, per exemple, va intentar fer veure que entenia VA3d2, però ella mateixa va acabar reconeixement que *"no sé per què se'n van"*:

[Quote "1:30"]

I: Què pot voler dir?

P: Doncs que al fregar-ho, el grup d'àtoms verd es manté però el groc una part se'n va i es queden uns quants.

I: I que se'n vagin aquests àtoms té algun significat? En el mon real, quan tu fregues dues coses...

P: No es nota. A vista no es nota, però "si un cas", després sí.

I: I què és el que estaria passant encara que no ho veiessis?

P: Doncs que una part dels àtoms se'n va.

I: I com ho explicaries que se'n vagin? Què passa, que no estan a gust i se'n van?

P: No! Perquè ho estàs fregant. I llavors... no se, no se perquè se'n van, però quan fregues, se'n van.

Respostes similars també les vam trobar en PA3 [Quote "3:37"], PA7 [Quote "13:14"] o PA5 [Quote "5:26"].

9.3.2. Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva SEM

Com ja hem discutit al final del capítol 7, la simulació B compta amb múltiples elements visuals representant objectes de caire científic (ja siguin reals o imaginaris) dels quals el lector ha de conèixer el seu significat per poder interpretar canònicament el conjunt de la representació. A continuació veurem com la lectura d'aquests elements en alguns casos va portar als participants a trobar-se amb dificultats de tipus semàntiques.

Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1) en la simulació B

Al llarg de les entrevistes realitzades vam trobar fins a quatre tipus d'homonímies diferents, que en diferents entrevistes van estar relacionades amb la lectura del sensor, de la bobina i de les línies de camp.

En primer lloc, la participant PB4, al principi de l'entrevista va explicar que *"el voltímetre mesura el voltatge de l'imant"* [Quote "19:17"], i en un altre moment posterior tornà a relacionar sensor i imant dient que *"[el comportament del sensor] Pot ser la part de l'imant. Nord i sud, una que sigui positiva i l'altre negativa (...) Aquesta força [de l'imant sobre el sensor] és positiva"* [Quota "19:21"]. La relació directa que PB4 va establir entre sensor i imant i la referència a "la mesura de la força" de l'imant ens va fer pensar que aquesta participant estava pensant en una mena de brúixola (com mostra la similitud visual entre el sensor i la **representació d'una brúixola** de la Figura 125), i no en un sensor en termes elèctrics.

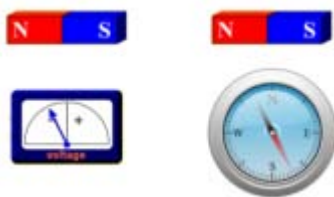


Figura 125. Semblança visual entre la relació imant - sensor i la relació entre l'imant i una brúixola.

El moviment lateral de l'agulla del sensor, que en el capítol 7 hem anomenat VB4d1/2 va resultar visualment similar a una altra representació que la participant PB2 coneixia perquè com ella mateixa va dir, havia estudiat a classe: la **representació d'un interruptor**. La representació d'una agulla en moviment entorn dels signes + i el - va ser interpretat per la seva similitud visual (Figura 126) com un interruptor que s'obre i es tanca. En les seves paraules, "l'interruptor seria el voltatge, que va canviant..." [Quote "16:22"]. Recordem que la participant PB2 va passar-se tot a l'entrevista referint-se al sensor com "el voltatge", com hem presentat anteriorment en la dificultat RE4 (excés de rellevància de l'etiqueta verbal).

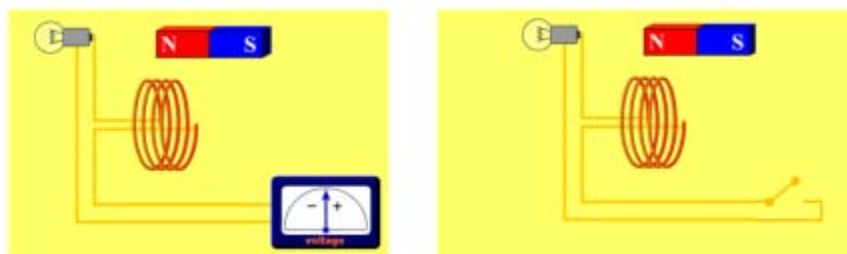


Figura 126. Semblança visual entre el moviment de l'agulla del sensor i el moviment d'obrir i tancar un interruptor.

Una altra conflicte d'homonímia identificat com a dificultat de lectura és el de la participant PB3, que va relacionar les línies de camp (VB5) amb les **isòbares que es representen en els mapes meteorològics** (Figura 127). Al preguntar-li per si "[les línies] et recorden a alguna altra cosa que hagin vist alguna vegada?", la participant PB3 va riure, i tot seguit va respondre "És que em recorda a les línies que surt lo del temps" [Quote "18:17"].

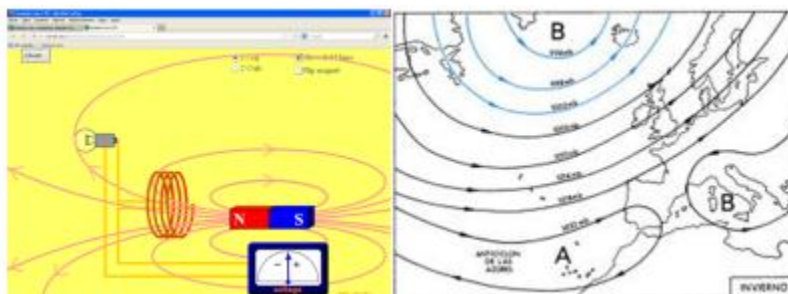


Figura 127. Semblança visual entre les línies de camp i les isòbares d'un mapa meteorològic.

Vam poder identificar una altra homonímia a partir de l'embolic que es va fer el participant PB7 entre la bobina VB2 i alguna altra representació que aquest participant devia conèixer o recordar **d'un electroimant** (que, de fet, no és més que una bobina per la que se li fa circular un corrent elèctric, provocant un camp magnètic al seu voltant), o qualsevol altre aparell que ell pogués conèixer en el que aparegués una bobina. En la primera part de l'entrevista, quan encara estava fent la descripció visual

del que apareixia representat en la simulació B, va dir “*que sigui un electroimant tot això junt*” [Quote "27:11"]. Aquesta situació, que el propi participant va reconèixer que “*li sona*” però que ni sabia exactament què era un electroimant ni com es relacionava amb el que està veient, podria haver quedat en una anècdota si no fos per la manera com va continuar l'entrevista:

[Quote "27:12"]

I: *Per tant, tu què creus que està passant aquí?*

P: *Que l'imant fa que giri la bobina i que s'encengui la bombeta.*

I: *Cap a on gira la bobina?*

P: *Depèn, si és nord cap a la dreta i si és sud cap a l'esquerra.*

I: *A veure com gira?*

P: *(Ho prova). No gira.*

I: *Jo havia entès que tu m'havies dit que gira la bobina.*

P: *Sí, però aquí no gira.*

I: *I no gira? És que no t'estic entenent. Tu m'has dit que... Ens hem fet un lio, no?*

P: *(Riem els dos) Sí, sí.*

És a dir, el participant PB7 va començar a explicar **que la bobina es movia**, sense que això succeís en cap moment. És a dir, la interpretació de PB7 va estar totalment condicionada per el seu coneixement previ sobre bobines, possiblement associat a algun rotor embobinat que ell hagués vist, tot i que amb l'anàlisi de l'entrevista no vam poder desxifrar amb precisió.

Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2) en la simulació B

De la mateixa manera que vam identificar dificultats on els participants interpretaven el significat d'alguns elements visuals (VB2, VB4 i VB6) a partir d'una representació homònima, altres situacions que es van donar a les entrevistes ens van permetre identificar dificultats on el lector desconeixia el significat d'aquests mateixos elements visuals.

La dificultat per interpretar el sensor va portar a la participant PB2 a construir una explicació totalment alternativa, on l'element VB4 **no era un sensor sinó un regulador**. Així, la participant PB2 va expressar “*O sigui quan... Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge que ho controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta.*” [Quote "16:11"], i més endavant, al preguntar-li com podríem anomenar a aquest aparell, ella mateixa va dir “*No se... Controlador o així.*” [Quote "16:12"].

Una situació semblant la vam trobar amb la interpretació de les línies de camp (VB6), les quals diferents participants van reconèixer que no sabien què eren, que no les havien vist mai. Així, el participant PB6 va expressar el seu desconeixement de què eren les línies de camp [Quote "25:11"], tot i que va acabar dient que les “*Això no se si és el camí que fan els electrons...*”, al igual que la participant PB9 [Quote "30:02"]. En canvi la participant PB10 va referir-se a “*dins del camp magnètic*” [Quote "30:03"] per referir-se a que les línies de camp eren **línies que delimitaven l'interior i l'exterior del camp**.



Figura 128. Representació de la interpretació semàntica que fa la participant PB10 de les línies de camp.

9.4. La interpretació de les representacions múltiples (RM)

La interpretació de les representacions múltiples és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats que es manifestaven en aquelles situacions on l'estudiant no integraven adequadament la informació representada a través de diferents elements visuals situats en diferents llocs de la composició.

Fonament teòric de la perspectiva

D'entre els requeriments de lectura de les simulacions A i B discutits en el capítol 7, Secció II, un nombre important feia referència a la integració de diferents informacions, cadascuna d'elles representades a través d'un element diferent de la imatge, al que hem anomenat **representacions múltiples**, basant-nos en la idea de representacions múltiples externes (Ainsworth i van Labeke, 2004; Ainsworth, 1999, 2006). Ara bé, la definició de representació múltiple feta per aquests autors és molt àmplia, ja que pot incloure combinacions de tota mena de canals (auditiu, visual, gestual, etc.) i tota mena de llenguatges (text escrit, imatges, gràfics i formulisme matemàtic, etc.). A més, la idea del “*more than one representation*” o “*more than one document*” utilitzat en el camp de la didàctica de les ciències (Ametller i Pintó, 2002; Cook et al., 2008) ha servit per descriure tant els casos on el lector ha de llegir un **únic document amb informacions integrades** com els casos on el lector ha de llegir un **conjunt de documents independents disposats un al costat de l'altre**. En canvi, en el nostre cas, donada les característiques de les simulacions A i B, hem volgut acotar la idea de representació múltiple **al conjunt de dos o més elements visuals d'una mateixa composició** que, degudament integrats, conformen una unitat d'informació que el lector ha de poder interpretar de forma conjunta.

Tipus de dificultats associades a la interpretació de representacions múltiples

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva RM són:

Codi	Dificultat	Definició
RM1	Dificultat per integrar adequadament informació redundant	La dificultat es presenta quan l'estudiant identifica dues o més representacions redundants (dues maneres diferents d'expressar el mateix concepte) però no és capaç d'integrar-les adequadament i construir un significat conjunt.
RM2	Dificultat per integrar adequadament informació complementària	La dificultat es presenta quan l'estudiant identifica dues o més representacions que contenen informacions complementàries però no és capaç d'integrar-les adequadament per assolir una comprensió més profunda (ja sigui en abstracció, en extensió o en relació).
RM3	Dificultat per distingir adequadament informació diferent	La dificultat es presenta quan l'estudiant identifica dues representacions que contenen informacions independents però en comptes de distingir-les, les confon i les integra.

Taula 28. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva RM.

Aclariment: Diferència entre connectar a nivell sintàctic i integrar a nivell semàntic

Per evitar confusions, és important entendre la diferència entre les dificultats de tipus RM i les dificultats de tipus EC2 que hem presentat anteriorment, en l'apartat 9.1. Anteriorment hem parlat de la categoria EC2 per explicar la dificultat dels estudiants per **connectar** diferents elements visuals i comprendre la informació associada a l'estructura compositiva resultant d'aquestes connexions, que podem associar a un nivell gramatical sintàctic. En canvi, en les dificultats de tipus RM no ens centrarem en l'estructura compositiva resultant de la connexió dels diferents elements a nivell sintàctic, sinó en com el lector integra les informacions provinents de diferents elements visuals. Per aquest motiu considerem que **la integració d'informacions és a nivell semàntic**, ja que és a través de la combinació de significats de cada representació simple que es construeix el significat de la representació múltiple.

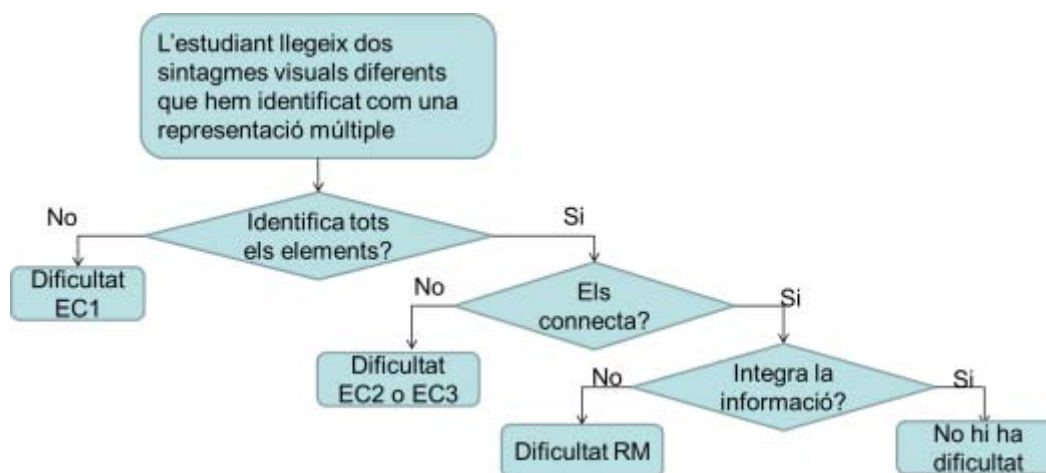


Figura 129. Diagrama de fluxos per distingir entre EC i RM.

9.4.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva RM

En l'anàlisi de les simulació A feta en el capítol 6 hem identificat requeriments de lectura associats a representacions múltiples redundants (com VA2 i VA3), representacions complementàries pensades per ajudar al lector a construir relacions conceptuals (com VA3d1 i VA5d1) i representacions d'informacions diferents que per la seva similitud i per la seva continuïtat espacial i temporal es poden confondre o no discriminar adequadament (VA3d1 i VA3d2). Quines són les dificultats identificades en les entrevistes realitzades que van afectar a la lectura de les representacions múltiples de la simulació A?

Dificultat per integrar informació redundant (RM1) en la simulació A

La dificultat per integrar les dues representacions redundants de la matèria (és a dir, la representació de la matèria corpuscular –partícules– amb la representació de la matèria contínua –fons sòlid) van aparèixer en algunes de les entrevistes analitzades. Com hem presentat en la Figura 129, no ens referim als casos en que els participants no van ser capaços de connectar ambdues representacions, sinó els casos en que van donar un significat erroni a aquesta connexió.

Una primera integració errònia entre VA4 i VA5 la vam trobar en l'Eva, que després d'una llarga discussió en la que va mostrar dificultats per entendre la relació entre fons i partícules com si **la matèria estigués composta per diferents tipus de partícules, algunes de les quals representades i altres no**. Al preguntar-li a la participant PA3 per la relació entre fons i partícules la participant va dir que "*Jo crec que [el fons de color verd representa] les altres partícules que conté el llibre (...) Perquè en aquesta simulació el més important són els àtoms. El que vol donar a veure són els àtoms, no les altres partícules*" [Quota "3:31"].

Una explicació diferent va ser identificada en la resposta de PA6, a la qual es referí al fons com **una membrana on es situaven els àtoms**. Després de preguntar-li què creia que volia dir el fons VA5 va respondre que "*Diria que és on es situen els àtoms*", i més endavant va afegir "*com una membrana*" [Quota "6:15"].

Una darrera dificultat la vam trobar de nou en la participant PA6, interpretant la relació VA2 i VA3 com sí **VA3 fossin partícules de l'aire**. En aquest cas, PA6 va explicar "*al mig hi hagi uns àtoms que al frotar-se, se'n van*", i a partir d'aquesta explicació se li va preguntar d'on sortien aquests "àtoms", al que va respondre "*els àtoms de l'aire, del que hi ha [en mig dels dos llibres]*" [Quota "6:18"].

Dificultat per integrar informació complementària (RM2) en la simulació A

La integració entre vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d1) i l'augment i descens de temperatura (VA6d1/2) ha estat discutida en el capítol 6, i l'hi hem associat un requeriment de lectura. Entenem, per tant, que una lectura canònica de la simulació A hauria de permetre als estudiants enunciar quelcom semblant a "*quan la temperatura representada en el termòmetre és més alta, la intensitat de la vibració de les partícules és major, i quan la temperatura és més baixa, la intensitat de la vibració de les partícules és menor*". Ara bé, en l'anàlisi de les entrevistes vam trobar que aquesta integració entre representacions no sempre es donava. En el següent fragment es pot veure com PA1 estava identificant la vibració de les partícules i el moviment del termòmetre, però tot i les múltiples demandes, no va arribar a relacionar en cap moment les dues informacions:

[Quota "1:24"]

Si el termòmetre no hi fos, si estigués tapat (l'entrevistador el tapa amb la mà) tu m'hauries explicat el mateix o no?

P: No.

I: Què hauries vist? Fes, fes (demanant-li que fregui i observi els àtoms). Què passa?

P: Que es mouen, però... ja està.

I: Que vol dir que estiguin en moviment?

P: Que estan en contacte.

I: Vale. I ara, es mouen menys?

P: Sí.

I: Vale, torna a mirar què passa quan fregues. Mira com es mouen i mira què passa amb el termòmetre. (Ho fa). Podríem relacionar d'alguna manera el que es moguin i com es mouen amb el termòmetre?

P: Quan van parant el moviment...

I: Vibració, si vols, pots dir-li vibració.

P: Doncs el termòmetre baixa, i quan hi ha moviment, quan estic així movent-ho, doncs puja.

I: Vale, per tant, quina conclusió podríem treure d'aquesta relació?

P: Doncs que quan freguem, la temperatura puja i quan deixem, baixa.

I: I com relaciones el moviment amb el termòmetre? El moviment dels àtoms...

P: No se...

I: Ni idea?

P: No.

En el cas de la participant PA5 va succeir un fet semblant, ja que no va aconseguir connectar la representació VA3d1 i VA4d amb VA6d1/2, **tot i identificar i interpretar cada representació per separat**. Hem volgut destacar també aquest fragment d'entrevista a la participant PA5 perquè permet veure com fins que no se li va demanar explícitament que ho fes, no va formular la relació entre partícules i termòmetre. Però fins i tot així, quan al final se li demanà que tornés a explicar aquesta relació es veié **que seguia sense relacionar adequadament aquestes representacions**, ja que d'una banda parlà dels canvis de temperatura deguts al fregament, i de l'altra afegí "i els àtoms es mouen":

[Quota "5:23"]

I: Però tu com has vist que puja la temperatura?

P: Pel termòmetre.

I: I si el termòmetre no hi fos.

P: Doncs jo deduiria que la temperatura puja o baixa.

I: Què és el que veus tu que estigui passant aquí que et faci pensar que la temperatura puja? (Riu) És que sóc molt "quisquilloso", jo.

P: Doncs quan els àtoms es freguen, ràpidament la temperatura puja ràpidament i si es freguen més a poc a poc, la temperatura puja més a poc a poc.

I: Jo el que volia que em diguessis és que quan els àtoms es freguen, es mouen. És això el que volies dir?

P: Bueno, se me ha olvidado. Però també ho se.

I: Però tu has vist aquí quan fregues, si el termòmetre no hi fos tu que veuries?

P: A vale, que es mourien més ràpid...

I: I això té alguna cosa a veure amb la temperatura o no té res a veure. Què té a veure?

P: Que... suposo que tindrà a veure. Què té a veure no ho se.

I: per exemple, si es mouen molt, que vol dir?

P: Que la temperatura és més alta

I: I si es mouen poc?

P: Que la temperatura és més baixa.

I: Estaves pensant en això?

P: No.

I: No?

P: No sabia el que m'estaves preguntant.

I: Però quan deies "quan freguem puja la temperatura", tu a part de veure-ho amb el termòmetre, ho havies vist amb els àtoms o no ho havies vist?

P: Sí, sí que ho havia vist.

I: T'hi havies fixat?

P: Sí.

I: Molt bé, em pots tornar a dir la frase ja per acabar, amb totes aquestes coses?

P: Que quan freguem els àtoms la temperatura puja depèn de la velocitat que freguem. Si freguem ràpid la temperatura puja ràpid, i si freguem a poc a poc, la temperatura puja a poc a poc. I els àtoms es mouen, i es desgasten, i desapareixen.

Un altre cas identificat on va aparèixer una dificultat per connectar VA3d1 i VA4d1 amb VA6d1 va ser quan la mateixa PA5 [Quota "5:22"] i també PA6 [Quota "6:22"] sí que van acabar relacionant les dues representacions, però ho van fer **associant l'augment de temperatura com la causa de l'increment de la vibració de les**

partícules. És a dir, segons algunes interpretacions no és que pugés la temperatura perquè les partícules vibressin més, sinó que aquestes partícules vibren més perquè hi havia major temperatura:

I: Tu això ho saps que els àtoms sempre una mica es mouen? Mou-lo una mica més. Que ha passat?

P: Que ha pujat una mica la temperatura.

I: Què ha passat a cada àtom?

P: Que s'ha mogut més ràpid.

I: Què és el que ha fet que s'hagi mogut més ràpid?

P: La temperatura.

Un altre requeriment de lectura que hem identificat en el capítol 6 i que en algunes entrevistes no es va donar és la relació entre la representació dels xocs entre partícules i la representació de l'augment de temperatura. Per exemple, la participant PA2 va arribar a dir que “[les partícules] es xoquen entre ells”, però posteriorment, quan se li va demanar que relacionés xocs i increment de vibració **va ser incapaç d'integrar les dues informacions**, i va tornar a basar-se en la idea d'escalfament en comptes de la idea de vibració:

[Quota "2:16"]

I: Es xoquen entre ells! I com que xoquen entre ells... què passa després?

P: Que s'escalfen.

I: Si, però, aquesta partícula concreta... O sigui, tu saps que la temperatura és, diguéssim, la vibració mitjana de moltes partícules. Si les partícules vibren més, això vol dir que el material està més calent. Per tant, quan hi ha xocs, que els hi passa a les partícules?

P: Que agafen calor.

Dificultat per discriminar informació diferent (RM3) en la simulació A

L'escalfament (partícules que vibren, representat amb VA3d1) i l'erosió (partícules que es desplacen cap als extrems de la pantalla i desapareixen, representat amb VA3d2) són dues representacions independents que, tal com hem exposat en els requeriments del capítol 6, el lector ha distingir i discriminar com a tal (Figura 130).

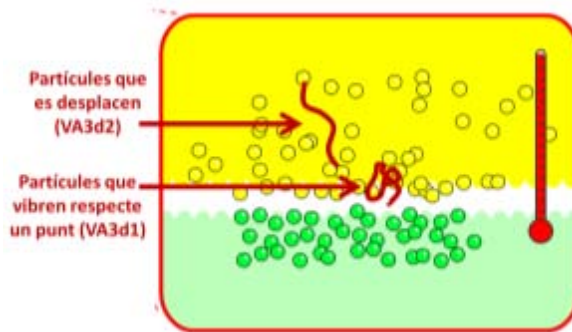


Figura 130. Presentació simultània de les partícules que vibren i les partícules que marxen.

Tanmateix, algunes participants **van confondre les dues representacions** en les explicacions que van fer al llarg de les entrevistes. Vam identificar aquesta confusió en la participant PA1, que en preguntar-li per l'erosió parlà de l'escalfament [Quota "1:29"], i en la participant PA3, que va barrejar les dues representacions dient que “Aquesta simulació el que vol dir és que si fem fricció amb el llibre a l'altre, puja la temperatura i llavors els àtoms desapareixen” [Quota "3:32"]. La Participant PA4 també va descriure en varis moments de l'entrevista les dues representacions com una

de sola, com quan digué “a més temperatura més vibren i més es mouen i llavors arriba un moment que és com si s'evaporessin i marxessin” [Quota "4:19"], i un comentari semblant el vam trobar en la Participant PA6 “que quan augmenta la temperatura, hi ha varis àtoms que se'n van, es desfan” [Quota "6:21"].

En l'entrevista a la participant PA5 també vam identificar que confonia vibració (VA3d1) i desgast (VA3d2), però va resultar especialment curiós pel fet que al principi de l'entrevista l'entrevistador va utilitzar el terme “desgast” per parlar de les partícules que es desprenien del conjunt VA3.

[Quota "5:17"]

I: Se n'han anat. No és que hagin desaparegut que ja no existeixin, sinó que ja no estan aquí [a la pantalla]. Que et sembla el nom de desgast?

P: Ah! Sí. Com els cotxes de la Fórmula 1.

I: Sí, explica, que els passa als cotxes de F1.

P: Que quan corren a molta velocitat, amb l'asfalt de la carretera, fa pujar la temperatura i han de canviar els pneumàtics cada cert temps.

A partir d'aquell moment PA5 **va respondre a totes les preguntes relacionades amb les partícules parlant del desgast**, cosa que va eclipsar totalment la idea de vibració, que desapareix de les seves explicacions.

[Quota "5:19"]

I: Per tant, quines conseqüències té el fregament?

P: Que puja la temperatura, que es desgasten els àtoms, que desapareixen els àtoms.

(...)

[Quota "5:20"]

I: Si tu haguessis de fer un resum de la simulació, què diries?

P: Els àtoms quan es freguen, alguns es desgasten, i puja la temperatura.

(...)

[Quota "5:21"]

I: Per tant, que és el que fa que es moguin?

P: Els altres àtoms, perquè es mouen també els altres àtoms i es com si es desgasten (ho diu amb veu fluixa i poc convençuda)

I: Però si jo ara faig així (sense que els dos blocs toquin) ben fort, ben fort...

P: No, perquè no es toquen.

I: Per tant, la idea clau aquí és que quan hi ha fregament... O sigui, el fregament tu el veus, els àtoms no els veus, però que vol dir que hi hagi fregament? Que li està passant així amb el zoom? Els àtoms...

P: Que no es toquen.

I: I quan hi ha fregament?

P: Que es toquen.

I: I quan un àtom toca un altre àtom, que passa?

P: Que es desgasta.

I: “Alguns es desgasten”, bueno... es desgasta cada àtom?

P: Alguns. No desapareixen tots.

I: Vale, alguns desapareixen, i els altres que es queden?

P: Doncs que es queden.

I: I què passa quan toquen els que es queden?

P: Que no desapareixen.

I: I a part de no desaparèixer? Vale, fem-ho. Alguns desapareixen, i ara aquests desapareixen. I els que es queden, què passarà quan es toquin?

P: Que es mouran però no desapareixeran.

9.4.2. Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva RM

En l'anàlisi de les simulació B feta en el capítol 7 hem identificat un conjunt d'elements visuals que degudament relacionats permeten la comprensió de la simulació. Ara bé, la presència de tants elements amb un comportament dinàmic fa que el lector hagi d'integrar algunes representacions, alhora que distingir unes altres per evitar confusions i comprensions errònies (Figura 131), cosa que no succeeix en alguns casos. Quines són les dificultats identificades en les entrevistes realitzades que afecten a la lectura de totes aquestes representacions múltiples?

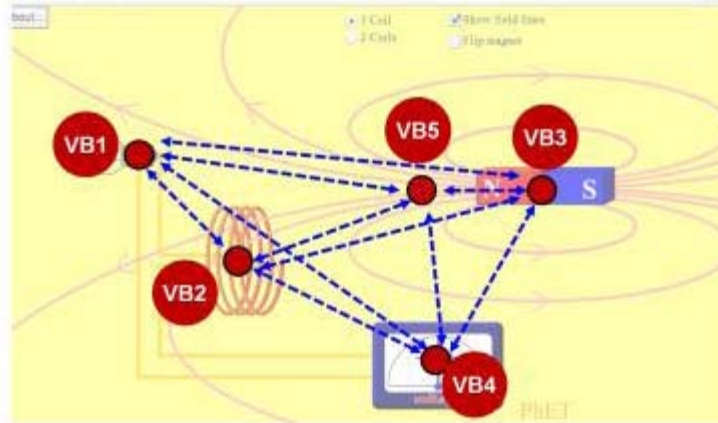


Figura 131. Diferents combinacions en la integració dels diferents sintagmes de la representació.

Dificultat per integrar informació complementària (RM2) en la simulació B

A través de les entrevistes analitzades vam trobar varies situacions on apareixien dificultats per integrar la informació complementària representada a través de diferents elements visuals (especialment la relació entre bombeta VB1 i sensor VB4). La participant PB4, per exemple, **durant una estona no va arribar a relacionar el comportament del sensor amb el de la bombeta** (ja que, com veurem més endavant, estava relacionant tota l'estona el sensor amb l'imant). Així, al preguntar-li per la relació entre VB1d1 i VB4d1/2 va fer varis comentaris com "No, l'agulla i la bombeta no crec que tingui molt [a veure]. Perquè així [el sensor] només et mostra la força que fa l'imant sobre la bobina, que fa que després la bombeta s'encengui o no, però l'agulla no" [Quota "19:22"].

En altres casos, vam identificar una voluntat explícita d'altres participants per relacionar VB1 i VB4, però aquests es feien un embolic al provar de relacionar VB1d1 només amb VB4d1 i no amb VB4d2. Aquest és el cas de l'Eduard, que mentre movia l'imant i observava alhora la bombeta i el sensor es va fer un embolic, ja que no veia que la **bombeta s'il·luminava independentment de si l'agulla del voltímetre estigués marcant valors positius o negatius**. Així, el participant PB1 digué al principi "[quan l'agulla marca negatiu] No s'il·lumina. (ho prova). S'il·lumina... no se. Quan està en el positiu sí que s'il·lumina però quan està en el negatiu no" [Quota "15:15"], tot i que més endavant, al demanar-li que ho mirés amb més calma, va acabar dient "Dóna igual si està en positiu o negatiu. La bombeta s'il·lumina igualment". Una dificultat semblant la vam trobar en la participant PB3, que en un moment de l'entrevista explicà que "no recordava" com es relacionava VB1 amb VB4, i

acabà dient que “[*el sensor*] es fica negatiu de vegades” [Quota "18:18"], sense poder aclarir quan ni com.

Finalment, una darrera dificultat que vam trobar en la lectura de la representació complementària bombeta - sensor consistia en **relacionar les dues representacions de forma seqüencial**, com també veurem més endavant quan discutim les dificultats associades al dinamisme DI3. La participant PB2 en un moment donat digué “*Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge (...)/ llavors sí que va a la bombeta*” [Quota "16:23"], i la participant PB3 va fer una explicació semblant, dient “*augmenta el voltatge i llavors la bombeta s'encén*” [Quota "18:15"].

És a dir, dins de les dificultats RM2 de la lectura de la simulació A, trobem que el participant PB1 i PB3 inicialment no connecten adequadament bombeta i imant per l'embolic que suposa el signe del voltatge (tot i que al final acaben resolent la dificultat); que PB2 i PB3 integren les dues representacions de forma successiva; i que la participant PB4 no integra les representacions perquè les barreja amb altres informacions diferents, com també veurem més endavant.

Dificultat per discriminar informació diferent (RM3) en la simulació B

A part de la falta d'integració entre VB1 i VB4 també vam identificar dos dificultats on les participants barrejaven representacions, integrant-les com si fossin complementàries: VB3 amb VB4 i VB1 amb VB5.

En primer lloc, la participant PB4 va relacionar en diversos moments de l'entrevista **l'imant i el sensor**, cosa que també hem presentat en la dificultat SEM1 per la simulació B (homonímia amb una brúixola). Com hem dit abans, la participant PB4 va referir-se al sensor com “*una petita màquina que detecta el voltatge de l'imant*” [Quota "19:12"], i més endavant tornà a referir-se a la relació entre VB3 i VB4 com “[*el que mesura l'agulla del sensor*] és la força de l'imant” [Quota "19:22"]. Tot i que aquestes explicacions de la participant PB4 tan poc rigoroses no permeten saber què és exactament el que aquesta participant estava entenent quan es referia a “*la força de l'imant*”, sí que podem entendre que parlava de que el **sensor mesurés directament quelcom de l'imant, i no del circuit**.

La segona dificultat de tipus RM3 que vam trobar va ser en una de les sessions del REVIR amb la participant PB10, que anteriorment ja l'hem associat també a una dificultat semàntica. Al preguntar-li què era el que veien en la simulació B, va dir el següent:

[Quota "30:03"]

I: Així, quina és la relació entre el que has vist abans les línies de camp? [Anteriorment havien fet l'experiment real de moure un imant entorn d'una bobina connectada a un sensor de voltatge].

P: Que per a que s'encengui la bombeta ha d'estar dins del camp magnètic.

I: El què ha d'estar “dins del camp magnètic”?

P: La bombeta.

I: Voldràs dir la bobina?

P: No, la bombeta.

I: A veure, no t'entenc.

P: La bombeta aquesta ha d'estar a dins del camp magnètic.

I: [Aleshores vaig interpretar que s'estava referint a les línies de camp amb el nom “el camp magnètic”] Ah, dins les línies de camp! Dins d'alguna línia de camp en concret?

P: No, de qualsevol.

Mentre es realitzava aquesta conversa, casualment hi havia una línia de camp que coincidia amb la bombeta, tal com es veu en la Figura 132. D'aquesta manera, la participant PB10 estava connectant aquesta línia de camp amb la bombeta, com si el fet que passés la línia sobre la bombeta fos la causa de l'encesa de la bombeta.



Figura 132. Moment en que la bombeta s'il·lumina, coincidint amb que una línia de camp passa just per sobre d'aquesta bombeta.

9.5. La interpretació de les representacions dinàmiques (DI)

La interpretació de les representacions dinàmiques és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar les dificultats per interpretar les representacions dinàmiques que inclouen algun tipus de canvi visual (translació, transformació o transició).

Fonament teòric de la perspectiva

Com hem defensat en l'apartat 2.2.4, la inclusió de canvis temporals en la presentació visual d'informació introdueix en la comunicació informació addicional i qualitativament diferent, que també porta associades demandes de processament qualitativament diferents (Lowe i Schnotz, 2008; Lowe, 2003). Ara bé, segons la idea de "informació dinàmica", podríem dir que la major part dels sintagmes visuals de les simulacions A i B contenen algun element dinàmic, ja siguin transformacions de les seves propietats, translacions en l'espai o transicions d'aparició i desaparició. Al mateix temps, tot i que molts dels elements siguin dinàmics, les dificultats no sempre corresponen a la informació explícita dinàmica, sinó a altres característiques que ja hem discutit, com l'estructura compositiva o el significat dels seus elements. Per tant, només ens referirem a les dificultats associades a la interpretació de la informació dinàmica en aquells casos en que de forma nítida haguem pogut associar a una informació dinàmica representada que no s'interpreta adequadament. Dit en altres paraules, considerem aquells casos on si la representació hagués estat estàtica, la dificultat mai no hagués existit.

Tipus de dificultats associades a la interpretació de representacions dinàmiques

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva DI són:

Codi	Dificultat	Definició
DI1	Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació	La dificultat es presenta quan l'estudiant llegeix una simulació el comportament de la qual depèn del moviment d'un element visual determinat, però l'estudiant explica el comportament d'aquesta en termes de posició d'aquest elements en comptes de fer-ho en termes del moviment.
DI2	Dificultat deguda a interpretar transformacions simultànies com a successives	Quan l'estudiant llegeix dos transformacions que es representen de forma simultània però les interpreta de forma successiva (o viceversa).
DI3	Dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals	La dificultat es presenta quan l'estudiant llegeix una translació no lineal (on la velocitat no es constant) com si es tractés d'un canvi lineal (velocitat constant).
DI4	Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació	La dificultat es presenta quan l'estudiant llegeix una transformació que es pot representar amb diferents graus d'intensitat i aquest només ho interpreta en termes de si passa / no passa, però no en termes de si passa amb més o menys intensitat.

Taula 29. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva DI.

9.5.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva DI

En l'anàlisi visual de la simulació A dins de l'apartat 6.2 hem identificat diferents elements dinàmics que l'alumne hauria de poder llegir adequadament, tant en els "inputs" com en els "outputs" de la simulació. Tot seguit exposem les dificultats que hem trobat en les entrevistes.

Dificultat deguda a confondre posició i moviment (DI1) en la simulació A

La confusió entre posició i moviment durant la lectura de la representació de la simulació A apareix en dues situacions diferents, una referent a la translació del llibre groc VA2, i una altra referent a la translació dels conjunts de partícules VA3 i VA4.

En l'anàlisi de diferents entrevistes vam trobar que alguns participants interpretaven el comportament del sistema en funció de la posició de VA2 no en funció del moviment d'aquest. En diferents ocasions al llarg d'aquestes l'entrevistes vam veure que els participants parlaven en termes de com estava situat VA2 respecte VA5. Per exemple, quan vam preguntar a PA1 "Què vol dir que estiguin en moviment?", va respondre "Que estan en contacte". [Quota "1:15"], demostrant una **confusió entre posició i moviment**. Més endavant digué que "si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa." [Quota "1:16"], interpretant la **posició de contacte entre VA2 i VA5 com la causa de l'escalfament**. Més endavant, en altres moments de l'entrevista tornà a explicar l'augment de temperatura utilitzant expressions com "quan ho ajuntem, doncs passa això... que s'escalfa" [Quota "1:17"] i "Però quan es van separant, baixa" [Quota "1:34"].

Aquesta mateixa dificultat la vam identificar en PA2 , que digué "[el que explica l'escalfament de les superfícies és] el contacte amb les dues superfícies" [Quota "2:15"], i també en la participant PA4 , que explicà que "[s'escalfen perquè] els estàs ajuntant, no? Que els estàs unint (...) Llavors és quan agafa la temperatura". [Quota "4:20"]. A més, PA4 també va utilitzar aquest raonament basat en la posició de VA2 per explicar el refredament, que segons aquesta participant **era conseqüència de que VA2 i VA5 no s'estaven tocant** "[La temperatura baixa] perquè no estan junts els cossos [VA2 i VA5], i llavors, al no tocar-se ni res es va refredant" [Quota "4:24"], i més endavant tornà a dir que "I quan ja no estan junts llavors la temperatura disminueix un altre cop" [Quota "4:22"].

Una darrera mostra d'aquesta confusió entre posició i moviment de la translació de VA2 és que quan a PA1 se la va fer raonar en termes del moviment de VA2 la seva interpretació va canviar completament, i va reconèixer que la interpretació que feia inicialment es basava en la posició del llibre i no en el seu moviment:

[Quota "1:18"]

A: Suposo que quan ja no estan en contacte, la temperatura... com sempre, i per tant, es va quedant així.

I: Però ara els dos llibres estan en contacte.

A: Doncs no se...

I: Per què ara no està pujant la temperatura?

A: Perquè no s'estan movent.

I: Tu m'has dit "és quan estan en contacte".

A: Bueno, quan es mouen.

I: Han d'estar en contacte, i a més a més...

A: Moure's.

I: Perqu si estan en contacte i quiets...

A: La temperatura no puja.

I: Per abans de que jo t'ho preguntés, tu haguessis dit que en contacte també puja la temperatura?

A: Si.

A part de la confusió entre la posició i el moviment de VA2 també vam trobar una **interpretació del moviment de les partícules VA4** en funció de si “*estan més juntes*” o “*estan més separades*” (Figura 133). És a dir, en els termes científics que s'utilitzen per parlar d'una oscil·lació harmònica, podem dir que per aquests estudiants el fet rellevant no era la **velocitat de les partícules** sinó l'**amplitud de la seva oscil·lació**.

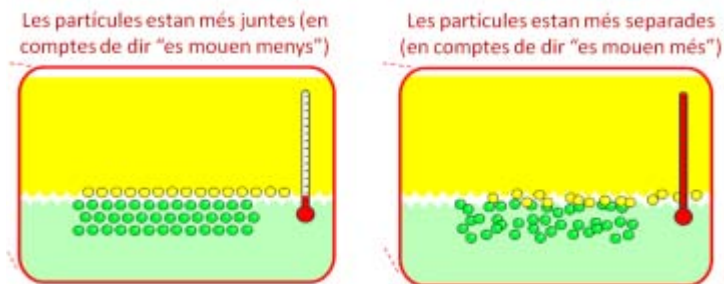


Figura 133. Comparació entre les partícules quan es representa la temperatura alta i quan es representa la temperatura baixa.

Aquesta explicació la vam trobar en la participant PA6, que en un moment donat va fer una explicació en termes de posició i no de moviment, dient que el que havia passat a les partícules VA4 era que “[al refredar-se] s’han aproximat més” [Quota "6:17"]. El participant PA7 també es va referir en diferents moments de la seva entrevista a les partícules en funció de si estaven més juntes o més separades. Primer es va referir a “Els toms verds es dispersen per quan la temperatura baixa es tornen a posar al seu estat original” [Quota "13:15"], i més endavant va dir “Doncs que quan els toms estan junts la temperatura és més baixa i quan es dispersen és més alta” [Quota "13:16"]. Una explicació semblant va donar el participant PA11 dient “Quan hi ha molta temperatura [el conjunt de partícules] es separa” [Quota "29:07"].

Dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals (DI3) en la simulació A

En el capítol 6 hem abordat els requeriments de lectura per identificar i interpretar el descens de temperatura (VA6d2) i la variació en el ritme d’aquest descens (VA6d3), necessaris per copsar el descens no lineal de la temperatura (refredament de Newton, Figura 77, que representem de nou en la Figura 134).

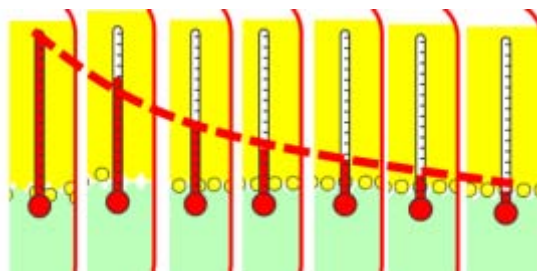


Figura 134. Representació del descens exponencial de la temperatura.

Analitzant les entrevistes vam trobar que alguns dels participants sí que eren capaços de llegir canònicament aquest descens no lineal de temperatura, al menys quan se'ls va demanar que ho fessin, com per exemple la participant PA6 “*quan ja està més fred, baixa més lent*” [en el fragment 6 de l'entrevista] o PA3 “*Quan és el primer tros fa una baixada més forta. Després va baixant més lent*” [Quote “9:10”]. En canvi, altres estudiants no van arribar a percebre en les primeres observacions aquest canvi en el ritme de descens de la temperatura, i van descriure el descens de temperatura com lineal fins que no se'ls va insistir en fixar-se acuradament. Aquest és el cas de la participant PA1:

[Quota “1:28”]

I: I la baixada (de la temperatura), com és?

P: Tota l'estona igual.

I: Torna a fer-ho. (Ho fa). Estàs d'acord amb el que has dit abans?

P: Sí.

I: Tu veus que la baixada sigui tota l'estona igual?

P: Bueno... al final va més lenta. Va baixant tota l'estona igual, però quan arriba al final va més lenta.

Aquest tipus de dificultat el trobem en situacions semblants identificades en les entrevistes a PA2 [Quota “2:14”], a PA4 [Quota “4:23”] o a PA5 [Quota “5:18”].

Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4) per la simulació A

Com hem discutit en el capítol 6, el comportament dinàmic VA3d1 i VA4d1 (és a dir, la vibració de les partícules) no és sempre el mateix. En absència de fregament les partícules VA3 i VA4 vibren, encara que molt poc, i al fregar VA2 amb VA5, l'amplitud de vibració de les partícules augmenta. És a dir, les partícules tenen una amplitud de vibració variable, amb valors continus que van d'un valor proper a zero fins al valor màxim que es dona després d'una acció de fregament molt intensa.

Tot i així, en les entrevistes vam identificar algunes situacions on els participants no interpreten adequadament aquesta vibració “variable”. La participant PA4, en un moment donat de l'entrevista va referir-se a la intensitat de vibració de les partícules dient que “*quan mous el ratolí llavors es mou la posició. Abans estaven només vibrant*” [Quota “4:17”]. És a dir, aquesta participant no estava percebent el grau d'intensitat de la vibració, i va convertir la representació en discreta: les partícules o ve vibren o bé es movien.

Una altra interpretació errònia la vam trobar en l'entrevista al participant PA7, que va justificar que “*els [les partícules] verds són els que vibren més*”, i posteriorment corrobora la seva percepció dient que “*els verds vibren més que els grocs*” [Quota “13:18”].

9.5.2. Dificultats de lectura de la simulació B des de la perspectiva DI

En l'anàlisi visual de la simulació B presentat al capítol 7 (Secció II) hem identificat molts elements visuals dinàmics, molts dels quals alhora són “inputs” de la simulació. En l'apartat 7.4 també hem identificat diferents requeriments de lectura associats a aquest comportament dinàmic de la simulació. Quines són les dificultats de lectura d'elements dinàmics que hem trobat en el transcurs de les entrevistes realitzades?

Dificultat deguda a confondre posició i moviment (DI1) en la simulació B

La confusió entre la posició i el moviment de l'imant apareix en els casos on els estudiants interpreten el comportament del sistema (és a dir, el com s'il·lumina la bombeta o el com es mou l'agulla del voltímetre) **en termes de la posició i no en termes de moviment de l'imant**. Trobem aquesta dificultat quan el participant PB1 es centra explicar que el sistema depèn de *"on està l'imant"* [Quota "15:13"], i també que *"[el comportament de l'agulla del sensor] depèn de la posició de l'imant"* [Quota "15:14"], en comptes de parlar de *"com es mou l'imant"* o *"quina velocitat té l'imant"*. El fragment següent mostra aquesta tendència a confondre posició i moviment:

[Quota "15:12"]

P: *Depèn d'on posis el pol positiu o negatiu de l'imant, la bombeta s'il·lumina o no.*

I: *Ara mateix on tens el pol... El tens aquí dalt. I la bombeta s'il·lumina o no?*

P: *No. Si està al mig si que s'il·lumina però si està tocant la bobina no.*

I: *Vale, digues un lloc on s'il·lumina.*

P: *(Ho prova). Bueno, tiene que tocar.*

I: *A veure, a veure... Primer m'has dit que havia d'estar al mig, ara que havia de tocar. És una mica més complicat...*

P: *Bueno, si està en moviment.*

I: *Ara! Això t'has adonat ara. Abans te n'havies adonat?*

P: *No.*

Vam trobar una dificultat de la mateixa categoria en la participant PB4. Com l'Eduard, quan li vam preguntar de què depenia una major il·luminació de la bombeta, va respondre *"Dependiendo de la cercanía, a bueno así no... dependiendo de la posición del imán, el campo magnético es uno o es otro"* [Quota "19:15"]. I de la mateixa manera que en l'entrevista anterior, al **fer-li veure que si no movia l'imant la bombeta no s'encenia**, va acabar dient que *"Clar, però és [la bombeta s'il·lumina] quan està en moviment"* [Quota "19:20"]. També la participant PB3 va trobar-se amb una dificultat semblant, que ja hem descrit en la discussió de RE2, a partir de la qual va descriure la relació imant - bobina com si l'imant "es connectés" i tanqués el circuit [Quota "18:20"].

Dificultat deguda a interpretar transformacions simultànies com a successives (DI2) en la simulació B

Com hem exposat al presentar les dificultats de tipus RM2, alguns participants van relacionar la il·luminació de la bombeta (VB1d1) i el moviment del sensor (VB4d1/2) **de forma seqüencial** durant la seva lectura, en comptes de relacionar aquestes representacions com dues de simultànies. Aquest va ser el cas de la Laia, que en un moment donat digué *"Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge (...)/ llavors sí que va a la bombeta"* [Quota "16:23"]. Com ja hem exposat en la discussió de RM2 en la simulació B, la participant PB3 també va fer una explicació semblant, dient *"augmenta el voltatge i llavors la bombeta s'encén"* [Quota "18:15"].

Ara bé, la participant PB3 no només va interpretar com seqüencial el moviment de l'agulla (VB4d1/2) i la il·luminació de la bombeta (VB1d1), **sinó també el moviment de l'imant (VB3d1) i la il·luminació de la bombeta (VB1d1)**, dient: *"quan passo l'imant, quan passa la part blava s'engega però després s'apaga. Però si la deixo una estona dura com uns segons només la part blava"* [Quota "18:23"], com si aquesta última es produís uns instants després d'haver aturat l'imant.

Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació i/o translació (DI4) per la simulació B

Els diferents comportaments dinàmics VB1d1, VB3d1 i VB4d1/2 són tots comportaments variables, ja que la bombeta es poc il·luminar poc, molt, gens, etc., i igual passa amb l'agulla del sensor (que pot marcar diferents intensitats) i amb l'imant, que pot moure's a poc a poc o ràpid. És a dir, es tracta de representacions variables. Tot i així, a través de les entrevistes vam trobar alguns casos on els participants interpretaven el comportament dinàmic en termes discrets.

El primer cas identificat va ser el de la Laia, que de forma espontània **no va provar de moure l'imant amb diferents velocitats** per veure com aquesta velocitat afectava al comportament del sistema. La Laia, al interactuar amb la simulació només movia l'imant i després l'aturava, i tornava a moure'l i aturar-lo, mentre explicava "*Jo ho veig tot igual*" referint-se a la il·luminació de la bombeta [Quota "16:19"]. És a dir, simplement estava veient que l'imant podia moure's o no moure's, però no que podia moure's amb diferents velocitats. El fet que més endavant, quan se li va demanar explícitament que moguéssim l'imant a poc a poc per comparar amb el que passava quan l'imant es movia ràpid, digué que "*depèn de com passi l'imant per dintre la bobina, si passa més lent fa menys, i si passa més ràpid*" demostrà que inicialment no estava copsant els diferents graus d'il·luminació de la bombeta. Una situació semblant vam trobar en l'entrevista al participant PA7, que digué "*dóna igual la bobina per la que passi l'imant. S'encén igual la bombeta*" [Quota "27:15"]. Tot i que després va rectificar dient que "*Dóna igual la bobina, però amb la que té més espirals té més intensitat*", va reconèixer que al principi no havia copsat els diferents graus d'il·luminació.

9.6. La interpretació de la naturalesa comunicativa de la representació (NC)

La interpretació de la naturalesa comunicativa de la representació és la perspectiva que hem utilitzat per analitzar els diferents casos en que els estudiants no identifiquen adequadament la naturalesa de la informació representada i per tant, interpreten la imatge des d'un marc interpretatiu alternatiu al canònic.

Fonament teòric de la perspectiva

Hem definit la naturalesa comunicativa de les representacions visuals en l'apartat 2.1.3 de la Secció I com el sentit comunicatiu de la representació que regula la relació entre emissor i receptor i entre emissor i representació. Per fer-ho, ens hem basat en la idea de modalitat representativa d'una representació, de marcadors de modalitat i de elements metatextuals (Kress i Ogborn, 1998; Kress i van Leeuwen, 1996; Lemarié et al., 2008; Moles, 1991). Ara bé, sota el paraigües de la idea de la "naturalesa comunicativa" en l'apartat 2.3.1 també hem definit el nivell amb que els autors d'una imatge representen el món (Johnstone, 1991): el nivell macroscòpic dels observables a escala humana, el nivell microscòpic, molecular o submicroscòpic i el nivell simbòlic de representació de símbols abstractes o imaginaris (Ardac i Akaygun, 2005; Cook et al., 2008; MVSEW, 2001, Harrisson i Treagust, 2003), al que considerem que cal afegir el nivell de representació mesoscòpic (Besson i Viennot, 2004). Així, el denominador comú entre la modalitat i el nivell de representació del món, tot i que provinguin de camps teòrics diferents, tenen en comú la idea que el lector hauria de poder interpretar no només el significat de cada element visual, sinó el sentit comunicatiu amb que ha estat representat, el que anomenem com naturalesa comunicativa.

Tipus de dificultats associades a la interpretació de la naturalesa comunicativa de la representació

A partir de l'anàlisi de dades que presentarem a continuació, els tipus de dificultats que hem associat a aquesta perspectiva NC són:

Codi	Categoria	Definició
NC1	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat	Quan l'estudiant interpreta la representació en base a un model científic de la simulació, de manera que el tipus de lectura que en fa esdevé errònia.
NC2	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat	Quan l'estudiant interpreta la representació en base a un mode representatiu erroni, ja sigui per la confusió entre elements decoratius i científics o bé per la confusió d'elements reals i simbòlics.

Taula 30. Tipus de dificultats corresponents a la perspectiva NC.

9.6.1. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva NC

En l'anàlisi de la simulació A vam identificar un conjunt de requeriments de lectura a nivell pragmàtic, els quals hem presentat en el capítol 6 (presentats en l'apartat 6.4 i

posteriorment discutits en l'apartat 6.6), però en l'anàlisi de les entrevistes hem vist que els participants no sempre complien aquests requeriments, apareixent dificultats de lectura. Quines són aquestes dificultats associades a la perspectiva NC?

Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1) en la simulació A

En l'anàlisi de l'entrevista a la Cristian vam identificar una interpretació que aquesta participant basada en un nivell de representació mesoscòpic i no molecular quan estava explicant **els bonys que delimiten el perímetre de VA4** (i també de VA3). De fet, aquests bonys estan representant una escala molecular (ja que els bonys representen la forma arrodonida de les partícules, com es veu en la Figura 84), però la participant va referir-se a aquests bonys com si fossin les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies que a ull nu semblen llises (veure Figura 80, apartat 6.3): *“Doncs que si són rodons, [la superfície] no estarà tot... bueno. Què no estarà tot així [pla]”*, mentre feia el gest amb la mà de superfície plana. [Quota "2:13"]. És a dir, que va interpretar una representació microscòpica (la forma de cada partícula) en base a un nivell de representació mesoscòpic (la irregularitat de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises).



Figura 135. Perímetre dels blocs de color sòlid VA2 i VA5, amb forma de semicercles.

Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent a la utilitzada (NC2) en la simulació A

Quan hem destacat en el capítol 6 els elements visuals corresponents a modalitats diferents, hem identificat tres modalitats diferents. En la Figura 86, que tornem a presentar en la Figura 136, hem representat els elements que corresponen a una modalitat científica de color groc i els que corresponen a una modalitat decorativa de color blau. També hem representat en vermell el botó “Reset” (element VA7) que no és un element de la representació científica sinó un element d'interacció amb la representació i, per tant, un element meta-textual, que té com a funció informar al lector sobre el control de la simulació (és a dir, sobre la capacitat del lector de reiniciar la simulació) i no sobre el fenomen científic simulat.

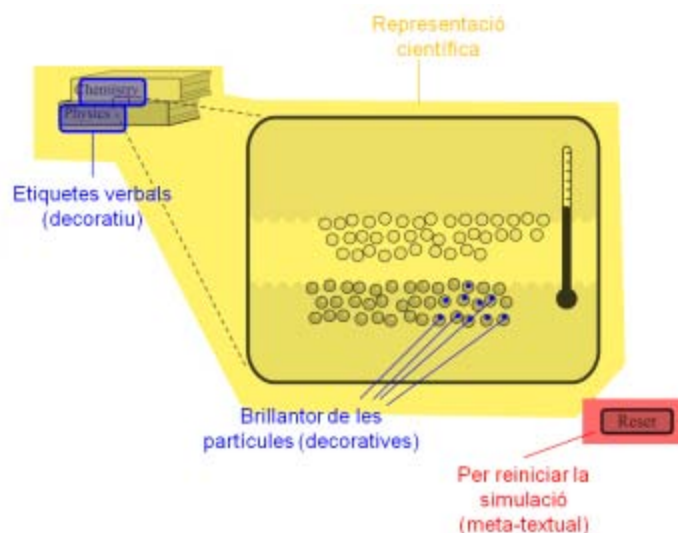


Figura 136. Elements de diferent naturalesa comunicativa combinats en una mateixa representació.

En primer lloc, vam trobar que PA3 i PA1 durant una estona van estar **entenent les paraules “física” i “química” com una informació científica**, cosa que ja hem comentat al analitzar la lectura sintàctica de la estructura compositiva (EC2) i quan hem parlat de la rellevància al text “física” i “química” (ho hem abordat en RE3). Com hem dit anteriorment, PA1 va referir-se a la representació com “*aix és una part de química i aix una part de física*” [Quota "1:21"], i PA3 fa fer un raonament semblant, dient que “*uns [toms] són químics i els altres són físics*” [Quota "3:22"]. És a dir, en tots dos casos les participants van estar interpretant una modalitat decorativa com si fos científica.

En l'entrevista a la participant PA6 vam trobar de nou una **interpretació científica d'un element decoratiu**, ja que va referir-se als punts blancs que representen la brillantor de les partícules argumentant que “*dins de cada tom hi ha un puntet que m'imagino que ser el nucli*” [Quota "6:20"].

Finalment, vam trobar una darrera dificultat en comprendre **la naturalesa comunicativa del botó “Reset”** en l'entrevista a PA3. Aquesta participant va començar a interactuar amb la simulació pitjant el botó sense entendre que havia de desplaçar el bloc VA3 horitzontalment (veure fragment d'entrevista corresponent a Quota "3:27"). També va dir que “*Hi ha un botó que diu “Reset” que si cliques baixant i pujant la temperatura i les boletes es van movent*” [Quote "3:21"]. És a dir, durant una estona PA3 va interpretar el botó “Reset” com si fos un element científic “intern” a la representació per modificar la temperatura del sistema representat, i no com un element extern a la pròpia representació (i per tant, com hem dit, meta-textual) que el que fa és reiniciar la simulació cada vegada.

9.6.2. Dificultats de lectura de la simulació A des de la perspectiva NC

En la simulació B hem trobat una única dificultat associada a la interpretació de la naturalesa comunicativa de tipus NC1. En canvi, no apareixen dificultats de lectura de tipus NC2 en cap de les entrevistes. Entenem que això és degut a que mentre en la simulació A apareixen elements científics combinats amb altres de decoratius, la simulació B no té aquesta problemàtica.

Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1) en la simulació B

L'Eduard, que va interpretar una representació d'un objecte ideal (abstracte) com a objecte real. Al referir-se a aquestes línies de camp va dir que "*[l'electricitat] es forma amb les línies del camp de l'imant quan xoquen amb la bobina*" [Quota "15:16"]. Com veurem en el capítol 15, és una dificultat estretament relacionada amb la concepció alternativa identificada per Thong i Gunstone (2008), segons els quals els estudiants identificaven les línies de camp com línies reals que entraven en contacte amb la bobina. Hem volgut distingir aquesta dificultat del participant PB1 de que hem presentat de els participants PB6 i PB9 a la dificultat SEM2, ja que en aquests dos altres casos es tractava d'un problema semàntic (és a dir, els participants expressaven que desconeixien el significat de les línies de camp), mentre que en el cas del participant PB1 no va entrar a discutir sobre el significat de les línies de camp, sinó sobre la naturalesa comunicativa.

9.7. La lectura literal d'incorreccions científiques o visuals de la simulació A (IS)

Com hem introduït breument a l'inici del capítol, a part de les sis dimensions de dificultats de lectura d'imatges, també hem volgut dedicar un darrer apartat a la lectura literal d'incorreccions científiques de la simulació A, basant-nos en les incorreccions prèviament identificades en el capítol 6 (apartat 6.4). Tot i que el nostre interès investigador era veure com els estudiants llegien representacions que *a priori* no haurien de tenir incorreccions i no com llegien aquelles que ja sabem que tenien elements incorrectes, hem volgut introduir aquesta darrera qüestió perquè en l'anàlisi d'algunes entrevistes vam veure que els participants interpretaven de forma literal alguna informació errònia de la simulació A sense adonar-se que es tractava d'un error, i li atribuïen un significat científic.

Lectura literal de l'asimetria entre el comportament de VA3 i de VA4 (IS1)

En l'apartat 6.4, hem destacat la asimetria entre el comportament de les partícules del llibre groc (VA3) i les del verd (VA4), ja que mentre les primeres comencen amb una forma irregular i es desprenen a causa del fregament (VA3d2), les segones es mantenen durant tota l'estona al mateix lloc (veure abans i després de fregar en la Figura 87). També hem dit que aquesta asimetria podria tenir diverses interpretacions i que desconeixiem quina era la voluntat comunicativa dels autors: (a) és suficient representar el desgast d'una de les dues superfícies per expressar la idea d'erosió, (b) la superfície del llibre groc està feta d'un material més tou que el del llibre verd i (c) l'erosió només afecta al llibre groc perquè és el que es mou (error conceptual).

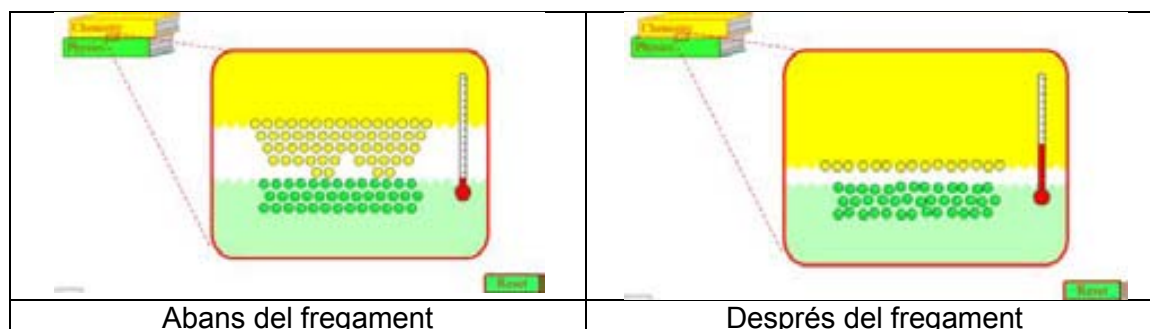


Figura 137. Diferència en la quantitat de partícules grogues abans d i després del fregament.

En canvi, la participant PA3 no només va descriure aquesta asimetria, sinó que li va donar una explicació científica: “*Només desapareixen els àtoms amb els que estàs fent fricció.* [Quota "3:40"], atribuint el desprendiment de VA3d2 al fet que la fricció es fes amb el llibre groc, el superior. El mateix raonament el vam trobar en una de les converses al REVIR, en el que la participant PA8 va dir que “*marxen els de dalt perquè és amb el llibre que fregues. L'altre [llibre] està quiet*” [Quota 29:02].

Finalment, una darrera interpretació la vam identificar en una altra conversa entre estudiants al REVIR, en aquest cas basada en la interpretació que la superfície del llibre groc està feta d'un material més tou que el del llibre verd, ja que en una de les sessions REVIR vam sentir com dos estudiants comentaven que “*los libros son diferentes, solo se rompen los átomos de arriba*” [Quota 29:06].

Lectura literal del temps de retard de VA6d2 (IS2)

Una segona dificultat identificada i presentada en l'apartat 6.4 és el temps de retard amb que el termòmetre comença a baixar (VA6d2) després de deixar de moure el bloc VA2, ja que el termòmetre roman unes dècimes de segon amb la temperatura al màxim abans de començar a baixar en comptes de que aquest comenci a baixar immediatament com succeeix en qualsevol refredament de Newton. Com en l'error anterior, desconeixem el perquè d'aquest error que pot ser: (a) un error conceptual de la simulació o (b) un error informàtic de configuració de la simulació.

En qualsevol dels dos casos, en una entrevista vam trobar la lectura literal d'aquest error quan PA1 digué *"i quan "soltes" i encara s'està movent [la temperatura] es manté [al màxim]"* [Quota "1:33"]. També vam trobar aquesta mateixa dificultat la vam trobar en una de les sessions REVIR, quan PA8 va dir *"la temperatura aguanta una mica"*, i la seva companya va seguir *"Si, es manté i després baixa, si, va baixant, i els àtoms...."* [Quote 29:03].

Lectura literal de la superposició entre VA3 i VA4 (IS3)

La lleugera superposició entre els conjunts de partícules VA3 i VA4 que hem discutit en l'apartat 6.4 i que representem de nou en la Figura 89 també va comportar algunes dificultats de lectura. En les primeres explicacions que la participant PA4 va donar sobre el que veia, va dir que *"al moure la pantalla amb el ratolí doncs alguns [àtoms/partícules] s'han barrejat (...) Quan més ho mous, més es barregen entre ells i quan deixes de donar-li amb el ratolí es torna a la posició on estaven abans, al principi."* [Quota "4:26"]. És a dir, aquesta participant no estava parlant de les col·lisions entre partícules, sinó de la "barreja" entre partícules grogues i verdes. En el cas de la participant PA3, passa una cosa semblant, ja que al preguntar-li per *"què està passant amb aquests àtoms?"* va respondre *"Que s'estan com mesclant amb els verds"* [Quota "3:38"].

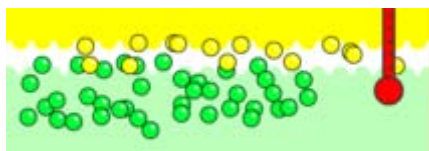


Figura 138. Superposició de les partícules que es interpretada com una mescla / una barreja.

**Capítol 10. Síntesi i discussió dels resultats de
l'anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges**

Amb l'objectiu de respondre a la pregunta de recerca **P2**, en el capítol 9 hem presentat i discutit les diferents perspectives d'anàlisi (EC, RE, SEM, RM, DI, NC i IS) que hem utilitzat per classificar els tipus de dificultats identificats. Arribats a aquest punt, en aquest capítol presentem una síntesi dels resultats obtinguts a partir de l'anàlisi de les entrevistes que ens permeti obtenir una panoràmica general de les dificultats amb que els estudiants de 3r i 4t d'ESO es troben al llegir aquestes dues simulacions. Per fer-ho, en l'apartat 10.1 presentem una taula sintètica dels resultats presentats en el capítol anterior. Seguidament en l'apartat 10.2 presentem una breu anàlisi de les situacions on apareix més d'una dificultat de lectura alhora (el que hem anomenat les dificultats co-occurrents), i en l'apartat 10.3 presentem l'anàlisi de la recurrència amb que apareixen les dificultats de lectura, tant des del punt de vista de les situacions on apareixen com des del punt de vista del nombre de participants que es troben amb aquestes dificultats. Finalment, en l'apartat 10.4 presentem la discussió de tots aquest resultats obtinguts, i que posteriorment reprendrem en la Secció V en el capítol de conclusions.

10.1. Síntesi dels resultats

En la Taula 31 presentem de forma sintètica el conjunt de situacions presentades al llarg del capítol anterior. Per fer-ho, presentem les diferents perspectives utilitzades per analitzar les dificultats de lectura i els tipus de dificultats de lectura identificats, però en les columnes de l'esquerra hem afegit una breu explicació de cadascun dels episodis específics (és a dir, referits al contingut específic de les simulacions A i B) on hem identificat cada dificultat. A més, també hem inclòs en la taula els participants en els que hem trobat cada dificultat. Finalment, hem afegit una darrera columna a l'extrem dret de la taula uns codis amb lletres de l'alfabet grec que corresponen als casos de co-ocurrència de dificultats que discutirem en l'apartat 10.2.

Perspectiva utilitzada	Dificultat de lectura de la imatge	Sim	Breu explicació del episodi específic (referit al contingut de les simulacions A i B) on hem identificat la dificultat	Participants	Cooc
La lectura de l'estructura compositiva (EC)	Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals (EC1)	A	Dificultat per identificar els llibres (VA1)	PA1, PA2, PA7	α
		A	Dificultat per identificar el fons verd (VA5)	PA3	
		A	Connexió errònia dels llibres (VA1) amb el conjunt VA2-VA5	PA1, PA3, PA12	β
		A	Connexió errònia dels llibres (VA1) amb els sintagmes VA3 i VA4.	PA7	
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2)	B	Connexió parcial d'alguns elements, sense arribar a la idea global de circuit	PB1, PB4	β
		B	Connexió entre els elements VB1, VB2 i VB3 de forma bijectiva	PB2, PB3, PB5	
		B	Connexió entre les dos bobines (VB2 i VB6) com una forma toroidal per on ha de passar l'imant (VB3)	PB8	
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3)	A	Interpretació nul·la del contorn dels conjunts de partícules (VA3 i VA4), superposats als fons VA2 i VA5.	PA1	β
		A	Interpretació alternativa del conjunt de partícules VA4 tipus "se n'han anat"	PA6	
		A	Interpretació alternativa del conjunt de partícules VA4 tipus "estan atretes elèctricament"	PA7	
B		Confusió en la superposició entre la bobina (VB2) i l'imant (VB3)	PB3		
L'assignació de rellevància que es dona a cada element visual (RE)	Dificultat per donar rellevància adient al color (RE1)	B	Excés rellevància als colors blau i vermell de l'imant (VB3)	PB3	μ
		B	Falta de rellevància al color blanc de la il·luminació de la bombeta (VB1d1)	PB7	
	Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2)	A	Falta de rellevància al contorn irregular del perímetre del conjunt de partícules (VA3)	PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA7	λ
		B	Excés de rellevància a la forma de forat de la bobina (VB2)	PB1, PB3, PB6	
		B	Excés de rellevància a la longitud de les bobines (VB2 i VB6)	PB2	
	Dificultat per donar rellevància adient a un element visual per la SPA3 posició (RE3)	A	Excés de rellevància als elements centrals de la representació (VA3 i VA4)	PA1, PA2, PA7	α
		A	Excés de rellevància a les etiquetes verbals "Química" i "Física" dels llibres (VA1)	PA1, PA3 PA6	
	Dificultat per donar rellevància adient al text (RE4)	B	Falta de rellevància de les etiquetes verbals "N" i "S" de l'imant (VB3)	PB1	π
B		Excés de rellevància etiqueta "voltímetre" del sensor (VB4)	PB2		
La interpretació semàntica dels	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia	A	Homonímia entre les partícules que vibren (VA3d1) i un procés de fusió	PA4 PA11	α
		A	Homonímia entre les partícules que marxen (VA3d2) i un procés d'evaporació	PA4, PA8	

elements visuals (SEM)	(SEM1)	B	Homonímia entre el sensor (VB4) i una brúixola	PB4	v
		B	Homonímia entre el sensor (VB4) i un interruptor	PB2	
		B	Homonímia entre les línies de camp magnètic (VB5) i unes isòbares	PB3	
		B	Homonímia entre la bobina (VB2) i un electroimant	PB7	
	Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2)	A	Interpretació nul·la del significat de les partícules que marxen (VA3d2)	PA1, PA3, PA5, PA7, PA9	γ
		B	Interpretació nul·la del significat del sensor (VB4)	PB2	π
		B	Interpretació de les línies de camp (VB5) com circulació electrons	PB6, PB9	
			Interpretació de les línies de camp (VB5) com la delimitació del camp	PB10	
La interpretació de les representacions múltiples (RM)	Dificultat per integrar adequadament informació redundant (RM1)	A	Integració semàntica entre partícules (VA3) i fons (VA3) de tipus "són les partícules de l'aire"	PA6	
		A	Integració semàntica entre partícules (VA4) i fons (VA5) interpretant-ho com "el fons són les altres partícules"	PA3	
		A	Integració semàntica entre partícules (VA4) i fons (VA5) interpretant-ho com "una membrana on s'incrusten àtoms"	PA6	
		A	Falta d'integració semàntica entre vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d1) i augment de temperatura (VA6d1)	PA1, PA5, PA9	
	Dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2)	A	Integració semàntica entre vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d1) i augment de temperatura (VA6d1) basada en un raonament causal invers	PA5, PA6	
		A	Falta d'integració semàntica entre xocs (VA3+VA4) i increment de vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d1)	PA2	
		B	Integració parcial entre bombeta (VB1d1) i sensor (VB4d1/2), només associada al + del sensor	PB1, PB3	
		B	Falta d'integració semàntica entre bombeta (VB1d1) i sensor (VB4d1/2)	PB4	v
		B	Integració seqüencial entre bombeta (VB1d1) i sensor (VB4d1/2)	PB2, PB3	ρ
	Dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3)	A	Confusió entre vibració (VA3d1) i despreniment (VA3d2) de les partícules	PA1, PA3, PA4, PA6	γ
		A	Substitució de vibració (VA3d1) per "desgast" (VA3d2)	PA5	
		B	Integració semàntica errònia entre imant (VB3d1) i sensor (VB4d1/2)	PB4	v
		B	Integració semàntica errònia entre bombeta (VB1d1) i línies de camp (VB5d1)	PB10	
La interpretació de representacions	Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una	A	Confusió entre la posició relativa i el moviment relatiu de VA2 respecte VA5	PA1, PA2, PA4	
		A	Confusió entre la posició i el moviment de les partícules VA4	PA6, PA7, PA11	

dinàmiques (DI)	translació (DI1)	B	Confusió entre la posició i moviment de l'imant (VB3)	PB1, PB3, PB4, PB6, PB11	λ
	Dificultat deguda a interpretar transformacions simultànies com a successives (DI2)	B	Integració seqüencial de les representacions dinàmiques de bombeta (VB1d1) i sensor (VB4d1/2)	PB2, PB3	ρ
		B	Integració seqüencial de les representacions dinàmiques de moviment de l'imant (VB3d1) i bombeta (VB1d1)	PB3	
	Dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals (DI3)	A	Dificultat per percebre del canvi de velocitat en el descens de temperatura (VA6d3)	PA1, PA2, PA4, PA5	
	Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4)	A	Dificultat per percebre el canvi gradual d'intensitat de vibració de les partícules VA3 i VA4	PA4, PA7	
B		Dificultat per fer moure l'imant amb diferents velocitats	PB2		
B		Dificultat per copsar els diferents graus d'il·luminació bombeta	PB7	μ	
La interpretació de la naturalesa comunicativa (NC)	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1)	A	Interpretació del perímetre microscòpic de VA5 en base a un nivell de representació mesoscòpic d'irregularitats	PA2	
		B	Interpretació de les línies de camp (VB6) com objectes reals en comptes d'ideals	PB1	
	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat (NC2)	A	Interpretació del text de VA1 com un element informatiu en comptes de decoratiu	PA1, PA3	β
		A	Interpretació de la brillantor de les partícules com un element científic en comptes de decoratiu	PA6	
		A	Interpretació del botó "Reset" (VA7) com un element científic	PA3	
Lectura literal d'incorreccions de la simulació (IS)	Lectura literal de l'asimetria entre VA3 i VA4 (IS1)	A	Interpretació que només es desprèn perquè és amb el llibre fregat	PA3, PA8	
		A	Interpretació que només es desprèn perquè és amb el llibre fregat	PA10	
	Lectura literal del temps de retard de la temperatura (IS2)	A	Interpretació del temps de retard com una informació científica	PA1, PA8	
	Lectura literal de la superposició entre VA3 i VA4 (IS3)	A	Interpretació de la superposició com una barreja entre partícules	PA3, PA4	

Taula 31. Resum de les dificultats de lectura.

10.2. Anàlisi de la co-ocurrència de les dificultats de lectura de la imatge

Com hem exposat en l'apartat 8.2.5., el fet de treballar amb perspectives independents de la lectura d'imatges, un mateix fragment d'entrevista podia contenir dues o més dificultats específiques de lectura intervenint de forma simultània, i això li hem anomenat dificultats **co-ocurrents**. Aquest era el cas que hem presentat en la Figura 115, on PA2 es trobava amb dues dificultats estretament relacionades (RE3 i EC1 respectivament). Com també hem exposat anteriorment, a partir de l'enregistrament amb Atlas.ti dels codis associats a cada quota, vam generar una **taula de co-ocurrència de codis**, la qual presentem a continuació (Taula 32).

	EC 1	EC 2	EC 3	RE 1	RE 2	RE 3	RE 4	SEM 1	SEM 2	RM 1	RM 2	RM 3	DI 1	DI 2	DI 3	DI 4	NC 1	NC 2
EC2																		
EC3																		
RE1																		
RE2																		
RE3	α																	
RE4		β																
SEM1																		
SEM2							π											
RM1																		
RM2																		
RM3								ν	γ									
DI1					λ													
DI2											ρ							
DI3																		
DI4				μ														
NC1																		
NC2		β					β											

Taula 32. Taula de co-ocurrència entre codis.

En aquesta taula apareixen tant en files com en columnes els diferents codis corresponents a cadascuna de les dimensions d'anàlisi. Hem ressaltat les caselles corresponents als casos en que dues dificultats coincideixen en un mateix fragment d'entrevista, utilitzant el color verd (i també les lletres gregues α, β i γ) per els casos corresponents a la lectura de la simulació A i el color groc (amb les lletres greuges λ, μ, ν, π i ρ) pels casos corresponents a la de la simulació B. A continuació presentem les diferents situacions on aquestes dificultats són co-ocurrents.

α) Co-ocurrència de EC1 i RE3

En els primers instants de les entrevistes fetes a PA2, PA1 i PA7 es va donar una mateixa situació: els participants es van centrar des del principi en la representació molecular, que ocupa la part central de la representació (RE3), mentre que no van identificar els llibres que apareixen en la cantonada superior esquerra (EC1) (Figura 139). Mostra d'això és, per exemple, el fragment de l'entrevista a PA2 que hem presentat el capítol anterior, en la que la participant parla de "uns àtoms que es *freguen*", sense entendre aquests àtoms dins de d'una l'estructura compositiva que representa l'ampliació microscòpica de les superfícies de dos llibres. Aquesta co-ocurrència de les dificultats EC2 i RE3 mostra la relació entre la lectura de l'estructura compositiva d'una representació visual i la rellevància que el lector assigni als diferents elements visuals (RE). És a dir, si el lector dóna una excessiva rellevància a alguns elements visuals pot ser que no es fixi i per tant no identifiqui altres elements, veient-se així afectada la comprensió de l'estructura compositiva.

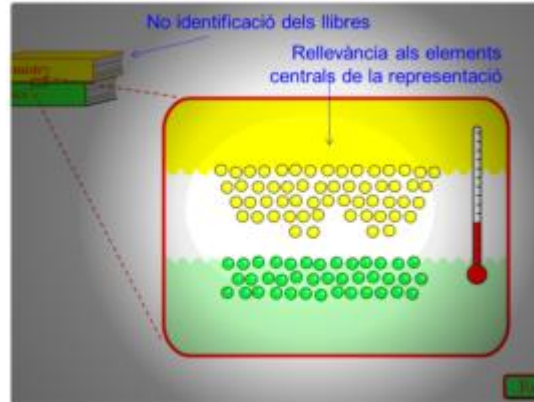


Figura 139. Combinació de no identificar els llibres i donar excés de rellevància als elements centrals.

β) Co-ocurrència de EC2, RE4 i NC2

En les entrevistes de PA1 i PA3 vam trobar una interpretació dels conjunts VA3 i VA4 com dues representacions "d'alguna cosa relacionades amb la química i la física" (Figura 140). Ens referim a "alguna cosa relacionada amb la química i la física" tot i la falta de rigor de l'expressió, i ho fem basant-nos en respostes com ara anomenar VA3 com "la part de química", i més endavant dir que VA3 representa "una reacció química", o bé dir-li a VA3 "els toms de química", i a VA4 "toms de física". És a dir, es tracta d'una interpretació molt naïf (ja quan les participants feien aquestes explicacions, ni elles mateixes sabien què volien dir) basada en la idea de "com que posa química", això ha d'estar relacionat amb alguna cosa "de química". Aquesta co-ocurrència ens mostra la relació entre NC2 (interpretar científicament un element decoratiu) i RE4 (excés de rellevància a les etiquetes verbals "química" i "física"), ja que PA3 i PA1 van donar molta rellevància al text perquè consideraven que aquest informava sobre la representació i que no era només un element decoratiu. Alhora, aquesta combinació de NC2 i RE4 porta a establir una connexió errònia entre el sintagma de la d'esquerra i el de la dreta (EC2) i per tant, a no interpretar canònicament l'estructura compositiva de la representació, dient "El de física té com unes fletxes que porta aquest verd de boles, i el de química una altra fletxa que porta al grup groc" [Quota "1:21"].



Figura 140. Interpretació alternativa de l'estructura compositiva de la simulació A.

γ) Co-ocurrència de RM3 i SEM2

Una darrera co-ocurrència de dificultats en la simulació A la vam trobar també relacionada amb la interpretació semàntica de la representació VA3d2 (les partícules que es desprenen i marxen) entre les dificultats RM3 i SEM2. Al no interpretar semànticament el desprendiment de partícules (SEM2), i per tant, al explicar aquest desprendiment VA3d2 ho confonien amb VA3d1 (la vibració de les partícules). En conclusió, si una representació no s'interpreta adequadament a nivell semàntic (SEM2) és normal que no se sàpiga integrar o distingir d'altres representacions, apareixent així una dificultat de lectura de representacions múltiples (RM3).

λ) Co-ocurrència de RE2 i DI1

Com hem explicat en l'apartat 9.2.2, alguns dels participants van referir-se a la relació entre l'imant i la bobina utilitzant la idea de *"l'imant es connecta a la bobina de manera que així es tanca el circuit i pot circular l'electricitat"*, idea que prové de la dificultat de centrar-se en la forma de "forat" de la bobina que permet omplir-se connectant un element (RE2). Alhora, en l'apartat 9.5.2 també hem presentat la resposta de les participants PB3 o PB4 explicant el comportament del circuit en termes de la posició de l'imant (DI1). Així, segons aquestes participants la bombeta s'encenia si l'imant *"esta connectat"*, i no si l'imant *"es mou dins"* de la bobina. El resultat d'aquestes dues dificultats combinades és el que veiem en la Figura 141, que apareix en participants com la Participant PB3 quan fa explicacions com ara *"[el circuit] no est acabat de tancar del tot, i quan jo hi connecto l'imant si que per una part [passa el corrent el ctreic]"* [Quota "18:21"]. En conclusió, la combinació de la rellevància a un element específic com la forma forta de la bobina (Winn, 1994) i la falta de rellevància a la translació de l'imant (Lowe, 2003) van portar a que alguns participants construïssin una interpretació completament alternativa de la representació, basada en el contacte i en la connexió de l'imant dins la bobina, de manera que en aquesta explicació el camp magnètic queda totalment de banda i no apareix en el model que es construeixen els participants.

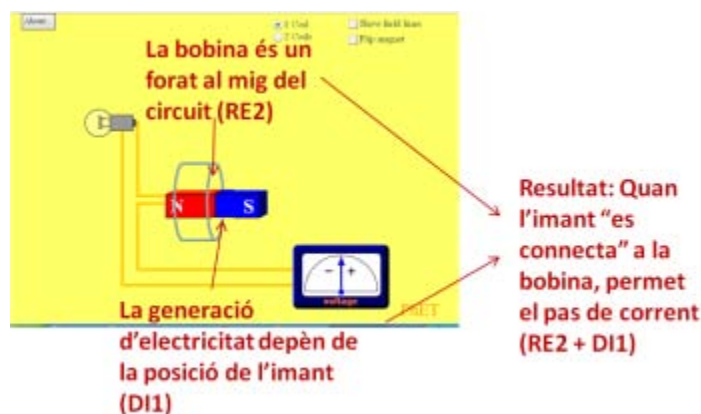


Figura 141. Combinació de dues dificultats de lectura RE2 i DI1 de les que es deriva una interpretació alternativa.

μ) Co-ocurrència de RE1 i DI4

En l'entrevista del participant PB7 també vam trobar una co-ocurrència de les dificultats RE1 i DI4. D'una banda, en un moment de l'entrevista el participant no

donava prou rellevància al color blanc associat a la il·luminació de la bombeta quan aquesta era molt suau, ja que no percebia quan la bombeta estava lleugerament il·luminada (Figura 142). Això va portar-lo durant una estona a pensar en la il·luminació de la bombeta només en termes de si estava encesa o si estava apagada, però no si estava més o menys il·luminada. És a dir, el fet de no donar rellevància a la il·luminació de la bombeta quan aquesta estava només lleugerament il·luminada (RE1) va portar a aquest participant a pensar només en termes de bombeta encesa / apagada (DI4), cosa que durant un moment de l'entrevista no li va permetre relacionar el grau d'il·luminació de la bombeta amb el comportament de l'imant.



Figura 142. Diferents graus d'il·luminació de la bombeta.

v) Co-ocurrència de SEM1, RM2 i RM3

En diferents moments de l'entrevista a PB4 vam trobar una interpretació alternativa de la relació entre l'imant i el sensor. D'una banda, hem identificat aquesta dificultat com una dificultat semàntica, ja que en un moment de l'entrevista la participant va explicar que *"el voltímetre mesura el voltatge de l'imant"* [Quote "19:17"], i també *"[el comportament del sensor] pot ser la part de l'imant. Nord i sud, una que sigui positiva i l'altre negativa (...) Aquesta força [de l'imant sobre el sensor] és positiva"* [Quota "19:21"], com si la participant estigués pensant en una mena de brúixola (SEM1), amb un aspecte homònim amb agulla que es mou quan es mou l'imant. Alhora, aquesta dificultat SEM1 portà a dues altres dificultats. D'una banda, el fet de pensar en el sensor com *"quelcom que mesura la força de l'imant"* va portar a la participant PB4 a relacionar dues representacions diferents (imant i sensor), que en la representació no tenien una relació directa (RM3). AL mateix temps, no va relacionar adequadament la bombeta i el sensor (RM2), tot i que són dues representacions complementàries que sí que cal integrar per comprendre la idea del corrent elèctric que actua sobre el circuit. Aquesta doble dificultat de RM2 i RM3 la podem trobar quan, al preguntar-li per la relació entre VB1d1 i VB4d1/2, la participant PB4 va respondre que *"No, l'agulla i la bombeta no crec que tingui molt [a veure]. Perquè això [el sensor] només et mostra la força que fa el imant sobre la bobina, que fa que després la bombeta s'encengui o no, però l'agulla no"* [Quota "19:22"]. En conclusió, al confondre el sensor VB4 amb una brúixola, la participant PB4 va relacionar durant una estona aquest sensor amb l'imant en comptes de relacionar-lo amb la bombeta.

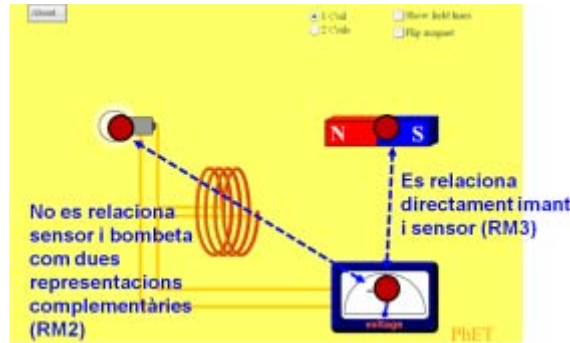


Figura 143. Relacions entre els diferents elements visuals de la representació.

π) Co-ocurrència de RE4 i SEM2

Durant la primera meitat de l'entrevista a la participant PB2 ella mateixa va reconèixer que no sabia què era sensor (SEM2), de manera que va acabar inventant-se un significat basat en la idea de “[un aparell] que controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta” [Quote "16:11"]. Ara bé, com que desconeixia el significat del sensor i aquest contenia l'etiqueta verbal “voltatge”, en diferents moments de l'entrevista va referir-se a aquest aparell com “el voltatge” [Quote "16:12"], [Quote "16:20"]; com si aquest fos el nom de l'aparell, donant així un excés de rellevància al text (RE4). És a dir, la participant PB2 dóna rellevància en excés al text inserit en la representació i acaba anomenant al sensor com “el voltatge” perquè desconeix el significat de la representació VA4, i no és capaç de distingir a nivell semàntic entre el nom d'un aparell i el nom d'una magnitud física.

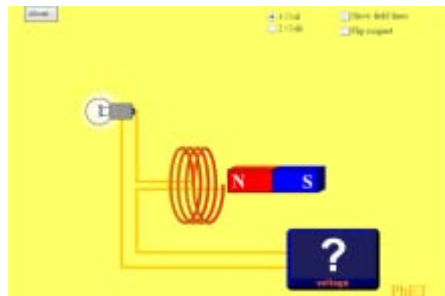


Figura 144. Representació de la situació en que el sensor no s'interpreta, no se li dóna cap significat.

ρ) Co-ocurrència de DI2 i MR2

La darrera co-ocurrència de dificultats que hem identificat en la simulació B ha estat en les entrevistes a les participants PB2 i PB3, que van connectar les representacions VB1d1 (il·luminació bombeta) i VB4d1/2 (moviment de l'agulla del sensor) de forma seqüencial en comptes de fer-ho de forma simultània. En aquest cas les dificultats DI2 i MR2 són co-ocurrents perquè coincideixen en una mateixa dificultat que pot analitzar-se des de les dues perspectives: com es relacionen dues informacions (RM) i com es perceben les informacions dinàmiques (DI).

10.3. Anàlisi de la recurrència de les dificultats de lectura de la imatge

A partir del conjunt de resultats presentats en la Taula 31 podem analitzar la recurrència amb que cadascuna de les dificultats de lectura han aparegut en les 14 entrevistes analitzades i en els comentaris enregistrats en el marc del REVIR. Per fer-ho, podem prendre en consideració dos aspectes diferents de la recurrència dels resultats.

D'una banda, ens mirarem el **nombre d'episodis específics** (és a dir, referits al contingut específic de les simulacions A i B) on hem identificat cada dificultat. Com veurem en la Taula 33 en alguns casos aquest nombre és igual a 1, cosa que indica que la dificultat definida ha estat identificada només en una situació de lectura determinada (ja sigui en un sol participant o en varis participants en els que trobem la mateixa situació). Si el nombre és 2 o més significa que una mateixa dificultat definida s'ha identificat en més d'una situació de lectura diferent en relació a elements visuals diferents de la representació. Per exemple, si considerem la dificultat "Dificultat per donar rellevància adient al text" (RE4), en la simulació hem trobat aquesta dificultat en dues situacions diferents: quan un estudiant no ha donat prou rellevància a les etiquetes verbals "N" i "S" de l'imant i quan un altre estudiant ha atorgat un excés de rellevància etiqueta "voltímetre" del sensor.

En segon lloc, també analitzarem el **nombre de participants** en els que hem identificat cadascuna de les dificultats de lectura a través de la Taula 34. En aquesta taula de recurrència hem considerat una columna per cada un dels 14 participants PA1, PA2, PA3, PA4, PA5, PA6, PA7, PB1, PB2, PB3, PB4, PB5, PB6 i PB7, i hem assenyalat les caselles amb el signe • quan hem identificat una dificultat determinada en un participant determinat. En aquesta mateixa taula també hem assenyalat amb el signe ■ els casos en que un mateix participant presenta una mateixa dificultat referida a dos elements diferents de la representació. Alhora, també hem inclòs dues columnes que hem anomenat PA+ i PB+, que fan referència a les dades obtingudes al REVIR, és a dir, als participants PA8, PA9, PA10, PA11 i PA12 i els participants PB8, PB9, PB10 i PB11 respectivament. Hem agrupat tots aquests participants en una sola columna ja que al no haver-los fet una entrevista sencera, només podem saber de l'existència d'una única dificultat de lectura. En cas d'haver trobat dos participants d'aquest darrer conjunt amb una mateixa dificultat hem utilitzat el doble signe ••. Finalment, les columnes representades a la dreta de la Taula 34 amb la lletra T fan referència al total de participants en els que hem trobat cada dificultat.

La discussió de la Taula 33 i la Taula 34 la presentarem a continuació en l'apartat 10.4, en el que abordarem la discussió general de tots els resultats que hem anat exposant al llarg de la Secció III.

Perspectiva	Dificultat de lectura de la imatge	A	B	A + B
La lectura de l'estructura compositiva (EC)	Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals (EC1)	2	0	2
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2)	2	3	5
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3)	3	1	4
L'assignació de rellevància que es dóna a cada element visual (RE)	Dificultat per donar rellevància adient al color (RE1)	0	2	2
	Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2)	1	2	3
	Dificultat per donar rellevància adient a un element visual per la seva posició (RE3)	1	0	1
	Dificultat per donar rellevància adient al text (RE4)	1	2	3
La interpretació semàntica dels elements visuals (SEM)	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1)	2	4	6
	Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2)	1	2	3
La interpretació de les representacions múltiples (RM)	Dificultat per integrar adequadament informació redundat (RM1)	3	0	3
	Dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2)	3	3	6
	Dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3)	2	2	4
La interpretació de representacions dinàmiques (DI)	Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (DI1)	2	1	3
	Dificultat deguda a confondre transformacions simultànies com a successives (DI2)	0	2	2
	Dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals (DI3)	1	0	1
	Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4)	1	2	3
La interpretació de la naturalesa comunicativa (NC)	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1)	1	1	2
	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat (NC2)	3	0	3
Lectura literal d'incorreccions de la simulació (IS)	Lectura literal de l'asimetria entre VA3 i VA4 (IS1)	2		
	Lectura literal del temps de retard de la temperatura (IS2)	1		
	Lectura literal de la superposició entre VA3 i VA4 (IS3)	1		

Taula 33. Nombre d'episodis específics diferents en les que intervenen les dificultats de lectura.

Perspectiva	Categoria	PA1	PA2	PA3	PA4	PA5	PA6	PA7	PA+	T	PB1	PB2	PB3	PB4	PB5	PB6	PB7	PB+	T
La lectura de l'estructura compositiva (EC)	Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals (EC1)	*	*	*				*		4									0
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2)	*		*				*	*	4	*	*	*	*	*			*	6
	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3)	*					*	*		3			*						1
L'assignació de rellevància que es dona a cada element visual (RE)	Dificultat per donar rellevància adient al color (RE1)									0			*				*		2
	Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2)	*	*	*	*	*	*	*		7	*	*	*			*			4
	Dificultat per donar rellevància adient a un element visual per la seva posició (RE3)	*	*					*		3									0
	Dificultat per donar rellevància adient al text (RE4)	*		*			*			3	*	*							2
La interpretació semàntica dels elements (SEM)	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1)				☐				**	3	*	*	*				*		4
	Dificultat semàntica deguda al desconeixement (...) (SEM2)	*		*		*			**	5	*					*	*	*	4
La interpretació de les representacions múltiples (RM)	Dificultat per integrar informació redundat (RM1)			*			☐			2									0
	Dificultat per integrar informació complementària (RM2)	*	*			☐	*	*	*	5	*	*	☐	*					4
	Dificultat per distingir informació diferent (RM3)	*		*	*	*	*			5				*				*	2
La interpretació de representacions dinàmiques (DI)	Dificultat deguda a confondre posició i moviment (DI1)	*	*		*		*	*	*	6	*		*	*		*		*	5
	Dificultat (...) simultànies com a successives (DI2)									0		*	☐						2
	Dificultat (...) no lineals com lineals (DI3)	*	*		*	*				4									0
	Dificultat per copsar el grau d'intensitat (DI4)				*			*		2		*					*		2
La interpretació de la naturalesa comunicativa (NC)	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació (NC1)		*							1	*								1
	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat (NC2)	*		☐			*			3									0
Lectura literal d'incorreccions de la simulació (IS)	Lectura literal de l'asimetria entre VA3 i VA4 (IS1)			*					**	3									
	Lectura literal del temps de retard de la temperatura (IS2)	*							*	2									
	Lectura literal de la superposició entre VA3 i VA4 (IS3)			*	*					2									

Taula 34. Recurrència de dificultats de lectura per cada participant.

10.4 Discussió dels resultats

10.4.1. Discussió del sistema d'anàlisi

L'anàlisi de les 14 entrevistes realitzades a estudiants de 3r i 4t d'ESO així com els comentaris recollits en diferents sessions de treball al REVIR ens ha permès identificar una gran varietat de situacions en les que hem considerat que intervé algun tipus de dificultat de lectura que no permet al lector interpretar canònicament la representació de la simulació A o la simulació B. A través d'aquest procés d'identificació de dificultats hem trobat entorn a un centenar de fragments d'entrevista, que posteriorment hem codificat i classificat, construint un sistema d'anàlisi que hem discutit en profunditat al llarg del capítol 9. Aquest sistema d'anàlisi de les dificultats de lectura d'imatges compta amb 18 tipus de dificultats diferents, agrupades alhora en 6 perspectives d'anàlisi diferent (EC, RE, SEM, RM, DI, NC), a les que a més cal sumar-li el fet que els estudiants també poden llegir de forma literal elements incorrectes de la representació. Tenint en compte el nombre tan reduït d'entrevistes, i també tenint en compte que el procés de lectura es limitava a dues úniques simulacions, considerem que aquests 18 tipus de dificultats representen una varietat molt gran de dificultats, la qual reforça la idea que la lectura d'imatges és un procés complex en el que intervenen aspectes morfològics i sintàctics de la imatge (tant estàtics com dinàmics, i elements mínims no significatius molt variats, com la posició, la forma o el color), processos mentals (perceptius i cognitius), processos semàntics d'assignació del significat, aspectes de la pròpia naturalesa del contingut representats, etc.

Aquestes perspectives responen als diferents camps teòrics que hem definit en el capítol 2 (semiòtica, psicologia i didàctica de les ciències), fonamentant-nos en la integració que altres autors havien fet prèviament entre didàctica i psicologia de la percepció (Ardac i Akaygun, 2005; Cook et al., 2008; Cook, 2006; Jiménez, 1998; Perales, 2006; Plass et al., 2009), entre didàctica i semiòtica (Ametller i Pintó, 2002; Colin et al., 2002; Pintó i Ametller, 2002a; Stylianidou i Ogborn, 2002; Testa et al., 2002) o entre la didàctica i la psicologia cognitiva (Pozo, 1993). Cal tenir en compte, a més, que hem deixat de banda molts altres aspectes de la imatge per poder reduir al màxim el component interpretatiu que s'acostuma a utilitzar en el món visual associat a la fotografia, l'art o el cinema (Mengual i Català, 2005; Villafaña i Mínguez, 1996).

Així, cadascuna de les perspectives definides entronca amb els tres camps teòrics de referència, tal com presentem en la Taula 35, on es pot veure com les algunes de les perspectives utilitzades provenen de la combinació de diferents camps teòrics.

Perspectiva d'anàlisi de les dificultats de lectura	Camp teòric de referència
La lectura de l'estructura compositiva (EC)	Semiòtica
L'assignació de rellevància que es dona a cada element visual (RE)	Semiòtica Psicologia de la percepció
La interpretació semàntica dels elements visuals (SEM)	Didàctica de les ciències
La interpretació de les representacions múltiples (RM)	Psicologia de la percepció Didàctica de les ciències
La interpretació de representacions dinàmiques (DI)	Psicologia de la percepció
La interpretació de la naturalesa comunicativa (NC)	Semiòtica Didàctica de les ciències

Taula 35. Classificació de les perspectives d'anàlisi de la Secció III en funció del camp teòric de referència utilitzat.

Per exemple, per parlar de la perspectiva RE hem combinat la idea de “prominència” recollida del camp de la semi tica, i la idea de pregn ncia, que prové del camp de la psicologia de la percepció. El mateix passa amb la perspectiva NC, que combina la idea de “modalitat” provinent de la semiòtica amb la idea de “nivells de representació” que prové de la did ctica de les ci ncies. Aquest conjunt d'interrelacions entre coneixements previs, especificitats del contingut, regles gramaticals, processos cognitius, etc., reforça la idea que la lectura d'imatges científiques és un procés complex on intervenen molts factors, i que la seva an lisi difícilment es pot dur a terme des d'un únic camp del coneixement.

En primer lloc, la idea **d'estructura compositiva** definida en l'apartat 9.1 ens ha perm s analitzar algunes de les dificultats de lectura, i aplicar alguns dels principis semiòtics a dificultats específiques. Un dels exemples més clars d'aquests principis semiòtics aplicats a la lectura és la confusió d'alguns participants entre una estructura analítica i una estructura classificacional, que hem presentat en l'apartat 9.1.1, i que resumim en la Taula 36. A més, a partir dels resultats trobem l'estructura compositiva de les simulacions A i B pot semblar molt clara, per molts estudiants mostren dificultats per entendre-la (especialment en la simulació A), i fins i tot de vegades aix és fruit de no haver identificat tots els elements visuals. Per tant, estem d'acord amb Ametller i Pinto (2002) quan afirmen que llegir l'estructura compositiva és un requeriment important de lectura, i que quan el disseny de l'estructura compositiva mostra un nivell important de complexitat aquesta pot produir dificultats als estudiants.

Tipus d'estructura (Kress i Van Leeuwen, 1996)	Significat
Analítica (lectura can nica)	“part-conjunt”: la representació microsc pica és una part del conjunt
Classificacional (lectura err nia)	“tipus”: cada etiqueta verbal est associat a un grup de partícules

Taula 36. Exemples d'interpretació de l'estructura compositiva de la simulació A com analítica o com classificacional.

En segon lloc, per parlar de **rellev ncia** hem assumit la distinció entre la promin ncia perceptiva i la rellev ncia tem tica (Lowe, 2003), i també la diferent rellev ncia que els lectors experts o novells assignen a cada element visual (Cook et al., 2008). L'excés de rellev ncia al color (RE1) est relacionada amb la lectura incorrecta de la funció comunicativa d'aquest codi visual (textual o ideacional) (Kress i van Leeuwen, 2002), i en el cas de la simulació B serveix a alguns participants per explicar el comportament complex del sistema, ja que possiblement el color els és un element visual més accessible que no altres més complexos, com la velocitat relativa imant-bobina. Pel que fa al text, no només hem trobat moltes referències a etiquetes verbals “física i química” per la simulació A i “voltatge” per la simulació B, sinó que la referència que alguns participants fan a aquest text recorda molt a la idea de “prestigi” que, segons Ametller i Pintó (2002), els estudiants atorguen al text (en el seu cas, principalment formulisme matem tic) donant-li més rellev ncia del compte. Ara bé, no assignar rellev ncia adequada a un element visual pot donar-se tant per excés de rellev ncia com per defecte de rellev ncia, com mostrem en l'exemple de la Taula 37, pel cas de

la simulació B. Finalment, a partir dels diferents casos amb dificultats per assignar la rellevància adequada a cada element visual, podem dir que sovint els estudiants llegeixen la simulació amb superficialitat, sovint sense distingir adequadament la informació central de la informació accessòria, cosa que concorda també amb una de les conclusions exposades per Cook (2008), i per tant, considerem que aquest és un argument més a l'hora de justificar la idea que “mirar no és suficient”, i per tant, a ser crítics amb la idea de “visualització de simulacions” i “objectes de visualització” utilitzada a la literatura, com si la visualització fos un procés neutre i universal.

Rellevància...	... al color	...al text
... per excés	Color de l'ímant	“Voltímetre”
... per defecte	Il·luminació de la bombeta	“N” i “S”

Taula 37. Exemples de rellevància per excés i per defecte en la simulació B.

Una tercera dimensió definida és la **perspectiva semàntica**, i fa referència estrictament al significat (en el nostre cas, significat científic) que els participants donen a cada element mínim significatiu de la representació. Aquesta perspectiva ens ha permès identificar la gran varietat d'interpretacions que es fan dels elements visuals, com mostrem a mode d'exemple en la Taula 38, cosa que ens permet concloure la enorme importància que té el coneixement previ en l'assignació de significat, i per tant, de la limitació que suposa la simple visualització de simulacions educatives per introduir nous coneixements.

Representació de la simulació B	Representació homònima que coneixen els estudiants
Sensor amb agulla mòbil	Brúixola
Sensor amb agulla mòbil	Interruptor (sic)
Línies de camp magnètic	Isòbares
Bobina	Electroímant (sic) que gira

Taula 38. Exemples d'homonímia en la simulació B.

En quart lloc, com hem definit en l'apartat 9.4, entenem les **representacions múltiples** com la combinació de diferents sintagmes visuals que degudament integrats porten a la representació d'un o varis conceptes, i no com l'accepció més general del terme “representació múltiples” que sovint s'associa a la combinació a documents de text i imatge independents. Basant-nos en les dificultats identificades, podem afirmar que les representacions múltiples juguen un paper cabdal en la interpretació de les simulacions educatives de física, tal com es defensa en la literatura (McDermott, 1990; Hestenes, 1997, citat a Meltzer, (2007)). Així, hem identificat dificultats per integrar informació redundat entre les representacions contínua i corpuscular de la matèria, amb la complexitat afegida que suposa pels estudiants concebre aquesta doble naturalesa (Gallegos-Cázares i Garritz-Ruiz, 2004). També hem identificat moltes dificultats per integrar informació complementària (Sabelli i Livshits, 1995), que no permeten als estudiants dur a terme els requeriments de lectura necessaris per integrar les representacions múltiples existents en les dues imatges, com ara la relació bombeta - sensor, la relació llibre macroscòpic - fons de la representació microscòpica, la relació vibració partícules - termòmetre, etc. En la Taula 39 presentem un exemple d'aquesta varietat de dificultats, que poden ser donades per diferents combinacions d'informació de la simulació B.

Representació 1 + Representació 2	
Redundants	partícules + fons
Complementàries	partícules + termòmetre
Diferents	partícules vibrant + partícules marxant

Taula 39. Exemples de diferents representacions múltiples de la simulació B.

Basant-nos en aquests resultats, podem afirmar que tot i que molts estudis en la literatura mostren el potencial educatiu d'aquest tipus de representacions (Ainsworth, 2006; Meltzer, 2007; Treagust i Tsui, 2013; van der Meij i de Jong, 2006; Wood et al., 2007), aquestes també porten a dificultats de lectura en la seva interpretació. Per tant, tot i que les simulacions disposin de representacions complementàries per permetre al lector assolir una comprensió més profunda del contingut, aquest fet no sempre es dona, ja que les dificultats identificades ho impedeixen. Per exemple, la representació complementària “*partícules + termòmetre*” no sempre és interpretada de forma adequada pels participants. Tot i que hem vist que els estudiants que disposaven del coneixement previ necessari sí que eren capaços d'interpretar i integrar adequadament, la resta d'estudiants o bé no relacionaven ambdues representacions (arribant només relacionar vagament vibració i temperatura, però sense arribar a discernir si la temperatura és dels àtoms o del material) o bé ho feien assignant una causalitat inversa. Aquesta mateixa integració errònia entre representacions múltiples la trobem en la lectura de la simulació B, on diferents participants no relacionen i integren adequadament el sensor i la bombeta. En aquest sentit, Dega, Kriek, i Mogese (2013), que justament utilitzen en la seva recerca la simulació B, troben que el canvi conceptual que busquen en els estudiants no es produeix en quan el coneixement previ és baix, i per tant, reafirma la idea que les representacions múltiples són una eina comunicativa necessària en les simulacions, però no suficient com per millorar la comprensió del contingut *per se*, i és per aquest motiu que Ainsworth (2006) adverteix que en la lectura d'imatges en contextos escolar cal fer molt explícita la relació entre representacions i ajudar a fer-la, com reprendrem en el capítol 16. A més, el nostre resultat també és concordant amb les conclusions que presenta Cook (2008) en relació al diferent profit que treuen de les representacions múltiples els estudiants amb coneixement previ alt o baix. Finalment, també cal destacar que en altres casos la dificultat consisteix en barrejar i integrar informacions sense una relació directa, cosa que porta a explicacions errònies. Considerem que aquests casos són també especialment rellevants, perquè en la definició dels requisits de lectura no havíem tingut en compte aquesta qüestió. És a dir, havíem identificat la necessitat de combinar adequadament informació complementària, però no havíem previst que alguns participants poguessin relacionar directament les línies de camp amb la bombeta (com li succeeix a PB10), o l'imant amb la bobina (com li succeeix a PB4). Això ens permetrà concloure que de la mateixa manera que els participants poden no integrar adequadament la informació que s'espera d'ells, també poden barrejar altres informacions sense una relació prèvia aparent.

Una altra perspectiva assumida per a l'anàlisi de les dificultats ha estat la interpretació de les **representacions dinàmiques**, que hem definit en l'apartat 9.5. Per definir aquestes dificultats cal tenir en compte que la majoria de requeriments definits en el capítol 6 estaven directament relacionats amb informacions dinàmiques (és a dir, que en les simulacions “gairebé tot és dinàmic”), i per tant, només hem seleccionat com a dificultats associades al dinamisme aquells casos on si la representació hagués estat estàtica, la dificultat mai no hagués existit. Els resultats de l'anàlisi d'aquests tipus de dificultats indiquen que de la mateixa manera que les representacions dinàmiques

obren la porta a un nou format de comunicació (ja que amb imatges animades es poden representar moltes més informacions que amb imatges estàtiques) i tenen elements positius (Lowe i Schnotz, 2008; Lowe, 2003; Price, 2002) aquestes representacions també obren la porta a noves dificultats que no s'havien identificat en la lectura de representacions estàtiques. A més, la dificultat per interpretar de forma lineal un comportament no lineal (DI3) té símils interessants en la literatura, com és el fet que les translacions eclipsen a les transformacions (Lowe, 2003) que podem associar a la dificultat dels estudiants per percebre el canvi de ritme del descens de temperatura en la simulació A. Alhora, la dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4) apareix en els resultats que Gustafson i Mahaffy (2012) anomenen el "*Particle spacing and movement vs Particle spacing only*", és a dir, que els estudiants es centren en la posició i no en el moviment de les partícules.

La darrera perspectiva utilitzada per a l'anàlisi de les dificultats fa referència a la idea de **naturalesa comunicativa**, en la que hem inclòs tant la dificultat per interpretar la modalitat representativa utilitzada (Kress i van Leeuwen, 1996; Moles, 1991) com per interpretar el nivell científic de representació (Johnstone, 1991). D'acord amb els resultats obtinguts, la combinació d'element implica dificultats de lectura des del moment que alguns estudiants no llegeixen adequadament aquesta naturalesa i en fan interpretacions alternatives, com discutirem més a fons en la Secció IV.

Finalment, tot i que no respon prou a la idea de dificultat sinó a la **lectura literal d'incorreccions de la simulació**, les llicències gramaticals i les incorreccions de les simulacions són un aspecte que posa de manifest la diferència entre lectors experts i lectors novells (Bransford i Brown, 1999; Cook et al., 2008), els quals es distingeixen per la capacitat de discriminar la informació, detectar aquestes llicències i incorreccions i donar-li el significat corresponent, superant la literalitat de la representació.

10.4.2. Discussió de la recurrència i co-ocurrència de dificultats de lectura

En primer lloc, respecte la **co-ocurrència entre dificultats** que hem analitzat al llarg de l'apartat 10.2 i concretament en la Taula 32, hem pogut veure com una mateixa situació de lectura es pot interpretar amb diferents perspectives i, per tant, associar-li dificultats diferents. Aquest resultat reforça la necessitat d'adoptar les diferents perspectives que hem adoptat, ja que aporten visions complementàries sobre què està passant en cada moment. Concretament, trobem que 5 de les 8 situacions on hi ha co-ocurrència de dificultats intervé l'assignació incorrecta de rellevància (RE), ja que la interpretació errònia de la imatge porta a l'estudiant a centrar-se en aspectes més secundaris de la representació.

Respecte el **nombre d'episodis específics diferents per cada dificultat de lectura**, en la Taula 33 hem representat el següent:

- Les caselles que hem assenyalat amb un 1 expressen que la dificultat en qüestió l'hem identificada a través d'un únic episodi, independentment de si aquest episodi es dona en un o més participants. Per exemple, la dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2) per la simulació A només l'hem identificat en 1 episodi, que és la falta de rellevància al contorn irregular de les partícules de VA3 que representen la irregularitat mesoscòpica, encara que aquest episodi es doni en varis participants.

- Les caselles que hem assenyalat amb un 2 expressen que la dificultat en qüestió l'hem identificada en dos episodis diferents, com succeeix en l'exemple que ja hem mostrat anteriorment, on la dificultat per donar rellevància adient al text (RE4) respecte la simulació B la trobem en l'episodi en que es no es dona prou rellevància a les etiquetes verbals "N" i "S" de l'imant i també en l'episodi en que es dona excés de rellevància a l'etiqueta verbal "*voltímetre*" del sensor.
- De la mateixa manera, les caselles que hem assenyalat amb un 3 expressen l'existència de tres episodis diferents associats a una mateixa dificultat. És el cas, per exemple, de la dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat (NC2) en la simulació A, que trobem en els episodis en què no s'interpreta adequadament la modalitat del text decoratiu "física" i "química", la modalitat de la brillantor de les partícules i la modalitat del botó d'interacció "Reset".
- Finalment, una de les limitacions dels resultats obtinguts és que algunes de les dificultats definides no apareixen en una de les dues simulacions (concretament 2 en la simulació A –RE1, DI2- i 4 en la simulació B – EC1, RE3, RM1, DI3-), cosa que hem expressat amb un 0 a les seves caselles corresponents. Ara bé, cal tenir en compte que aquesta és una limitació intrínseca a haver treballat només amb dues simulacions, ja que per exemple, la dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals (DI3) no apareix en els participants que llegeixen la simulació B perquè cap element visual d'aquesta simulació podria induir a aquesta dificultat. No per això considerem que DI3 deixi de ser una categoria vàlida, doncs apareix de forma reiterada en els participants que llegeixen la simulació A.

Si tenim en compte els episodis específics relacionats amb totes dues simulacions veiem que de mitjana cada dificultat s'ha trobat en més de tres episodis diferents. D'aquestes destaquen algunes dificultats com EC2, SEM1 o RM2, les quals porten associades fins a 5 o 6 episodis diferents cada una. A més, el fet d'identificar les mateixes dificultats en alumnes diferents llegint simulacions diferents suggereix que és possible inferir patrons més generals de dificultats de lectura que, potser, podran identificar en estudiants que utilitzin terceres simulacions, com discutirem en l'apartat 15.1 de la Secció V.

En paral·lel, respecte el **nombre de participants en els que hem trobat cada dificultat de lectura**, en la Taula 34 hem expressat aquests resultats representant una columna per cadascun dels participants als que vam fer les entrevistes, i afegint dues columnes anomenades PA+ i PB+ on hem recollit les dificultats identificades en les dades recollides al REVIR (veure capítol 4):

- Les caselles en blanc indiquen que no hem identificat la dificultat en qüestió en l'estudiant en qüestió. Ara bé, amb això no volem dir que totes les caselles en blanc de la Taula 34 corresponguin a estudiants hagin resolt canònicament la lectura (tot i que en alguns casos sí és així), sinó que simplement no hem pogut identificar aquesta dificultat.
- Les caselles amb el signe ● expressen que l'estudiant en qüestió s'ha trobat amb la dificultat en qüestió, i les caselles amb el signe ■ expressen els casos en que un mateix participant presenta una mateixa dificultat en dos moments de l'entrevista referida a dos elements diferents de la representació, el que en la Taula 33 hem expressat com dos episodis específics diferents. Per aquest motiu, encara que una dificultat hagi aparegut en 1 estudiant a través de 2 episodis diferents, en el recompte (columnes T de la Taula 34) l'hem considerat com una sola dificultat.

Per analitzar els resultats presentats en aquesta Taula 34 cal tenir en compte, primer de tot, que amb el reduït nombre de participants en la recerca i amb el tipus de metodologia utilitzada no buscàvem obtenir resultats entorn de la freqüència amb que apareix cada dificultat, com ja hem expressat en l'apartat 3.4 de la Secció I al aclarir que en aquesta recerca buscàvem l'existència i no la prevalència de les dificultats de lectura. Tot i així, sense voler entrar en una anàlisi quantitativa respecte el nombre de participants per cada dificultat, sí que volem assenyalar algunes idees per que es desprenen d'aquesta taula. En primer lloc, els valors que apareixen en les dues columnes corresponents al total de participants en els que hem identificat cada dificultat (el que en la Taula 34 apareix a través de les columnes **T**) ens permeten veure que el nombre de participants en els que s'ha identificat cada dificultat varia entre 0 i 7, però en la immensa majoria de casos és major que 1. Tot i que el nombre concret de participants per dificultat no ens dona prou informació sobre la prevalència de cada dificultat, el fet de trobar majoritàriament 2 o més participants per dificultat sí que ens dona una major validesa als resultats qualitius, tal com discutirem en l'apartat 15.1 de les conclusions. Aquest nombre mitjà de participants per cada dificultat varia entre les dues simulacions, i és lleugerament superior a 3 per la simulació A i lleugerament superior a 2 participants per dificultat en la simulació B. Ara bé, de nou, encara que haguem identificat més dificultats en els estudiants que llegien la simulació A que en els que llegien la simulació B això tampoc ens permet concloure que la simulació A impliqui per sí mateixa més dificultats, ja que els dos grups de participants són diferents i molt reduïts.

SECCIÓ IV: Les explicacions conceptuais dels estudiants associades a les dificultats de lectura d'imatges

En la Secció IV analitzarem les explicacions que donen els estudiants dels conceptes representats en les simulacions A i B i la seva relació amb les dificultats pràcticament identificades, per així respondre la pregunta de recerca **P3**:

P3. *Quines són les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats) que donen aquests estudiants quan es troben amb les dificultats de lectura identificades?*

Aquesta secció consta dels següents capítols:

- Capítol 11: Metodologia d'anàlisi de les explicacions conceptuais errònies dels estudiants associades a les dificultats de lectura.
- Capítol 12: Anàlisi de les explicacions conceptuais errònies dels estudiants associades a les dificultats de lectura
- Capítol 13: Síntesi i discussió dels resultats de l'anàlisi de les explicacions conceptuais errònies associades a la lectura d'imatges.

**Capítol 11: Metodologia d'anàlisi de les
explicacions conceptuals dels
estudiants associades a les dificultats
de lectura**

En les premisses inicials presentades en el capítol 3 (Secció I) hem partit de la idea que el disseny de tota simulació educativa, com a constructe didàctic que és, té com a pretensió comunicar un conjunt de conceptes i relacions conceptual que conformen un o varis models. Per tant, el pressupòsit implícit de tot disseny visual en una simulació educativa és que si un estudiant la llegeix canònicament (identificant i interpretant adequadament tots els seus elements i a tots els nivells gramaticals, disposant del suficient coneixement previ, copsant totes les relacions que apareixen, etc.) pot arribar a comprendre aquest conjunt de conceptes i relacions. Aquesta és, en essència, la voluntat comunicativa d'una simulació, com ja hem justificat en el capítol 1 (Secció I).

Pel contrari, en la recerca presentada en la Secció III ens hem centrat en analitzar els casos en que la lectura no és canònica (és a dir, quan hi ha dificultats de lectura) i, per tant, els casos en que el pressupòsit comunicatiu implícit d'una simulació no es dona, i per tant també, quan la comprensió d'aquests conceptes que la simulació volia comunicar tampoc es produeix (ja sigui parcialment o totalment). Quina és / com és doncs la comprensió que els estudiants fan d'aquests o altres conceptes quan es troben amb dificultats de lectura? Al nostre entendre, analitzar "*la comprensió que fan els estudiants*" escapa de la voluntat de la nostra recerca. En canvi, sí que podem parlar de **les explicacions conceptuals dels estudiants** o, el que és el mateix, les explicacions verbals que donen els estudiants des del punt de vista dels conceptes representats.

Explicació conceptual: *Són les explicacions verbals que fan els participant (ja sigui seguides o bé a base de pregunta - resposta) respecte alguns dels conceptes o les relacions conceptuals representades en les simulacions.*

Si considerem les explicacions conceptuals dels participants i les relacionem amb els conceptes representats en la simulació tal i com els hem definit prèviament en la Secció II, podem comparar-les, i identificar aquelles explicacions que des del punt de vista d'aquests conceptes són **errònies**. En aquest sentit, entenem el debat dins del camp de la didàctica de les ciències entorn al terme "errònia" quan s'associa a les concepcions dels estudiants (per exemple, es pot veure la controvèrsia històrica sobre com si definir concepcions espontànies, concepcions alternatives, concepcions prèvies, etc., (Gunstone, 1989; Pozo i Gómez, 1998)). Ara bé, en el nostre cas ens decantem per l'ús operatiu del terme "explicacions errònies", ja que en tot moment assumim que les estem comparant amb la idea de "explicacions canòniques" que hem definit en la Secció II:

Explicació conceptual errònia: *És l'explicació verbal d'un participant que no s'ajusta (per ser parcialment o totalment contradictoris) a la que s'esperaria des d'un punt de vista canònic des de la ciència, i que per tant, no s'ajusta als conceptes i les relacions que hem definit per cada simulació en la Secció II.*

Partint d'aquestes definicions prèvies esperem poder identificar i interpretar les explicacions conceptuals errònies que donen els estudiants quan es troben amb les diferents dificultats de lectura identificades en la secció III. És a dir, ens proposem a respondre la darrera pregunta de recerca:

P3. *Quines són les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats) que donen aquests estudiants quan es troben amb les dificultats de lectura identificades?*

El procediment per respondre a aquesta tercera pregunta de recerca parteix de les mateixes entrevistes i recollida de dades que ja s'han utilitzat per respondre la segona pregunta de recerca (les 14 entrevistes sumades a la recollida de dades al REVIR),

per amb una perspectiva d'an lisi diferent, ja que no es centra en la manera com llegeixen la imatge sinó en les explicacions que fan del que estan entenent. Per fer-ho, partint de les situacions en qu havíem identificat dificultats de lectura (Secció III), hem analitzat les explicacions que fan els estudiants dels conceptes representats seguint el procediment presentat en la Figura 145, el qual presentarem a continuació pas per pas.

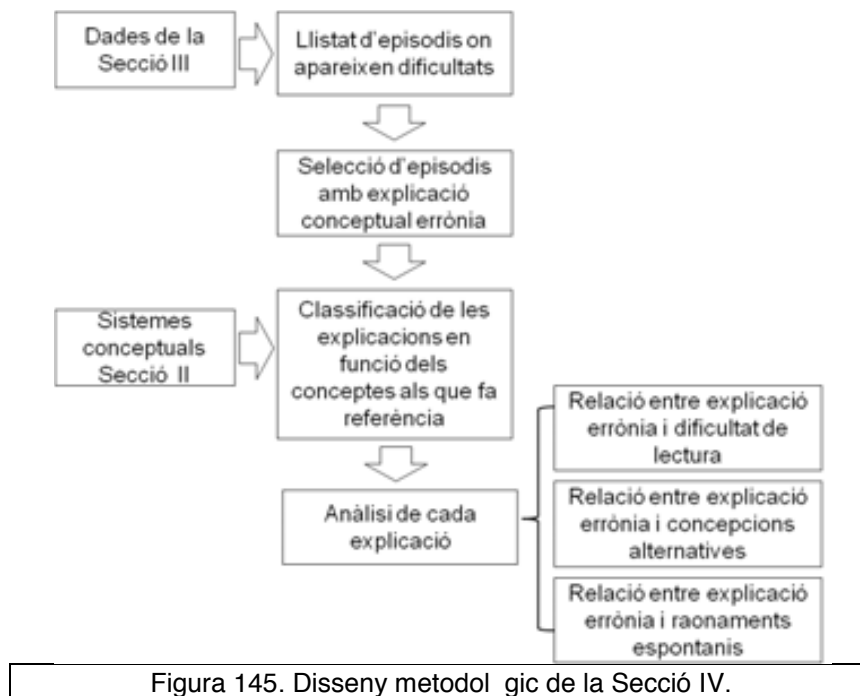


Figura 145. Disseny metodològic de la Secció IV.

Elaboració del llistat d'explicacions dels estudiants quan apareixen dificultats de lectura

Per respondre a la pregunta de recerca **P3** hem utilitzat les mateixes dades que ja havíem utilitzat per la pregunta **P2**, és a dir, les dades obtingudes³¹ a través de les 14 entrevistes seleccionades i dels comentaris al REVIR. Així, en primer lloc, vam partir del llistat dels 61 episodis específics que hem presentat en la Taula 31 (veure el llistat d'episodis corresponent a 4 columna) de la Secció III, 33 corresponents a la lectura de la simulació A i 27 corresponents a la lectura de la simulació B. Aquests episodis, com es pot veure en la Taula 31, alguns corresponen a un sol participant, mentre que d'altres són situacions equivalents o molt semblants que es donen en més d'un participant. Ara bé, com que en aquesta llista apareixen dificultats corresponents a una mateixa situació (dificultats co-ocurrents) vam eliminar els cassos repetits, ja que encara que en la Secció III haguem considerat que en un mateix fragment d'entrevista hi ha dos dificultats co-ocurrents, d'explicació verbal donada pel participant només n'hi ha una.

D'aquesta manera vam obtenir un llistat de totes les explicacions que feien els estudiants en els fragments on hi ha dificultats. D'aquest llistat d'explicacions associades a dificultats de lectura és important fer algunes consideracions:

- En primer lloc, el llistat d'explicacions és **independent al nombre de participants**, ja que algunes explicacions les dona un sol participant i altres

³¹ Veure capítol 8 per conèixer el procés de selecció i d'anàlisi de dades.

explicacions les dona més d'un participant (com acabem de comentar, si són explicacions equivalents o molt semblants).

- En segon lloc, vam considerar com a situació independents cada fragment d'entrevista, encara que un mateix participant pogués mostrar dos comprensions conceptuals diferents **gairebé seguides**, ja que la densitat de conceptes que apareixen en les entrevistes és molt gran, i el sistema de pregunta – resposta de les entrevistes feia canviar molt ràpidament d'explicació. A més, no hem tingut en compte les contradiccions internes d'una entrevista, i si un participant primer dona una explicació i instants després diu el contrari, ho hem considerat com dues explicacions independents.
- Finalment, tot i que ja ho hem exposat en l'apartat 8.2.2 (Selecció de les dificultats de lectura específiques de cada participant), és important tenir en compte que en cap moment hem considerat les situacions en les que s'identifiquen explicacions errònies **que no estan directament relacionades amb la lectura de les imatges**, sinó amb concepcions espontànies pròpies dels estudiants de secundària. Per exemple, quan la participant PA2 diu que “[amb el fregament] cada partícula agafa calor, s'escalfen” [Quote 2:16], no podem associar la comprensió errònia de que les partícules poden canviar de temperatura (Griffiths i Preston, 1992) a cap element visual determinat, sinó a la pròpia dificultat de conceptualitzar l'escala microscòpica. Així no vol dir, com veurem en aquesta Secció IV que les dificultats de lectura no estiguin relacionades amb les concepcions espontànies identificades en la literatura, sinó que no hem considerat les concepcions espontànies identificades que no estaven relacionades amb dificultats de lectura.

Selecció de les explicacions conceptuals errònies

No tots els episodis d'aquest primer llistat on podíem identificar dificultats de lectura comportaven *per se* una comprensió determinada, fos o no errònia. En algunes de les situacions amb dificultats de lectura, els participants no donaven prou informació per saber si realment estava entenent alguna cosa. Per exemple, a l'entrevista de PA3 hi va haver un moment en que ella mateixa digué que “*abans no veia el fons, perquè és tan claret que no veia el fons*” [Quota "3:29"]. Tot i haver-ho identificat com una dificultat de tipus EC1, ja que fa referència a no identificar un element visual, la explicació que fa no està relacionada amb cap concepte. En la Figura 146 expliquem tot aquest procés de selecció a través d'un diagrama de fluxos.

Classificació i anàlisi de cada explicació conceptual errònia en funció dels conceptes als que fa referència.

Un cop elaborat el llistat d'episodis on apareixen comprensions errònies, vam procedir a classificar i analitzar cadascuna d'aquestes explicacions a partir dels conceptes i les relacions conceptuals de la simulació A i B. Recordem que aquests conceptes van estar establerts i relacionats en forma de dos mapes conceptuals³²³³ i també en forma de proposicions que vam anomenar CA[i] i CB[i] respectivament, on $i=\{1,2, 3..\}$. Així, vam anar associant, a cadascuna de les explicacions conceptuals errònies, un o varis dels conceptes CA[i] i CB[i]. En el cas de la simulació A, com ja vam fer pels requeriments de lectura, també hem afegit un apartat d'explicacions errònies que si bé no fan referència explícita a cap dels conceptes de la simulació, sí que fan referència a la doble representació de la matèria³⁴. En la majoria de casos també vam discutir la

³² Veure mapa del sistema conceptual de la simulació A en l'apartat 6.1.

³³ Veure mapa del sistema conceptual de la simulació A en l'apartat 6.4

³⁴ Veure “Altres requeriment per comprendre la doble representació de la matèria” al final de l'apartat 6.3.

seva relació amb les concepcions espontànies identificades en la literatura i amb tota mena de processos espontànies de raonament habituals en els estudiants de secundària.

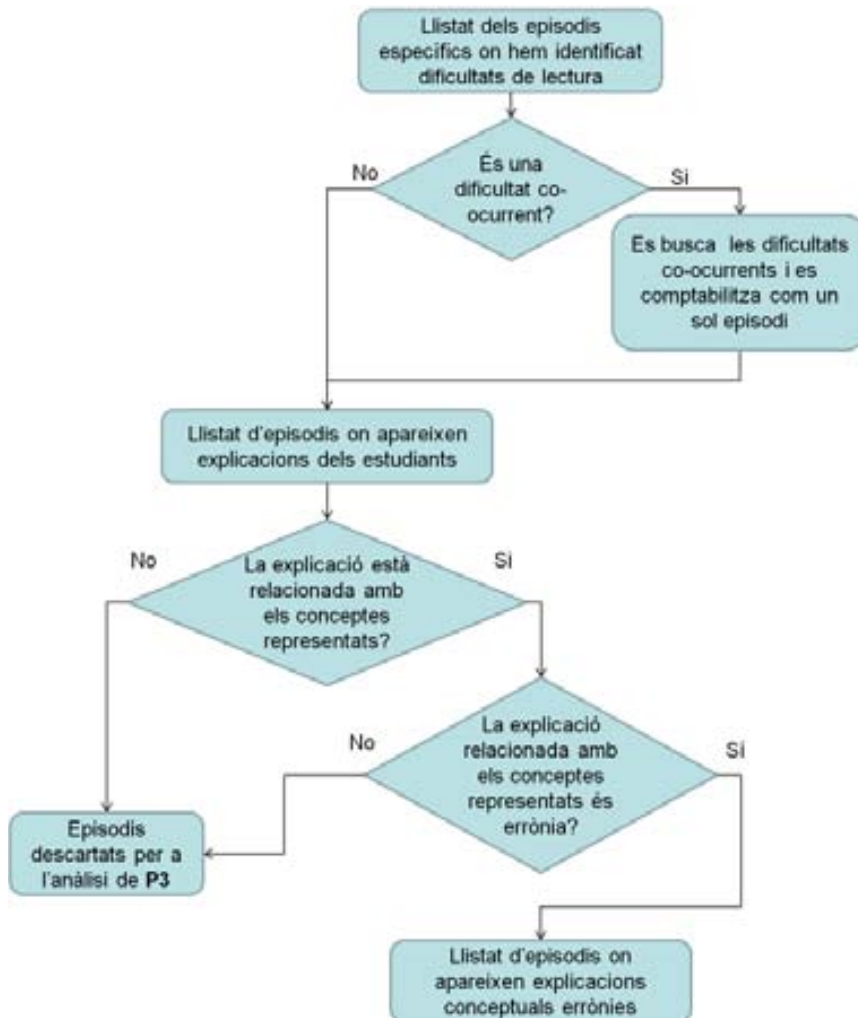


Figura 146. Diagrama de flux que explica el procés de selecció de les explicacions conceptuals errònies dels participants.

**Capítol 12. Anàlisi de les explicacions
conceptuals dels estudiants
associades a les dificultats de lectura**

En aquest capítol 12 ens centrem en exposar i analitzar cadascuna de les explicacions conceptuals errònies que hem associat a cadascuna de les relacions CA[i] i CB[i] (apartats 12.1 i 12.2 respectivament) a partir de la metodologia que acabem de definir en el capítol anterior. Per cada explicació errònia identificada discutirem la seva relació amb les dificultats de lectura prèviament identificades en la Secció III i també amb els mecanismes implícits de raonaments espontanis que apareixen en cadascuna de les explicacions, tot i que abordarem aquesta qüestió amb major detall en el capítol següent (en la discussió dels resultats de l'apartat 13.2.2).

D'altra banda, algunes de les explicacions que hem identificat relatives a la simulació A no responen directament als conceptes CA[i] representats en la simulació, sinó a les incorreccions de la simulació que hem assenyalat en l'apartat 6.3, en la Secció II. En aquests casos, presentarem les explicacions conceptuals associades a les incorreccions IS1, IS2 i IS3 en caselles acolorides de color gris clar.

Finalment, en els casos de les relacions conceptuals CA4 i CA10 també hem inclòs dues caselles en les que no parlem de "*explicació errònia*", sinó que diem que "*Falta d'explicació conceptual*". Hem volgut incloure aquests casos assumint que des del punt de vista de l'anàlisi que interessa per la nostra recerca, la falta de referència a alguns conceptes molt determinats en les explicacions dels estudiants pot equivaldre a una explicació errònia, ja que ambdues situacions mostren una "afectació" de les dificultats de lectura sobre la comprensió conceptual de les simulacions. Hem inclòs aquests dos casos de "*Falta d'explicació conceptual*" també acolorides de color gris fosc.

12.1. Anàlisi de les explicacions conceptuals errònies relacionades amb la simulació A

Explicacions errònies relacionades amb CA1

CA1. El fregament entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades.	Explicació errònia: L'escalfament es produeix pel simple contacte entre superfícies i no pel fregament entre aquestes superfícies.
---	---

Hem trobat aquesta explicació en les situacions amb dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (D11), com és el cas de PA1 "*quan ho ajuntem, doncs passa això... que s'escalfa*" [Quota "1:17"] o de PA2 "*[el que explica l'escalfament de les superfícies és] el contacte amb les dues superfícies*" [Quota "2:15"]. En totes dues explicacions es pot veure com les participants parlen de l'estat del sistema ("quan els llibres estan junts") i no del procés representat ("quan hi ha fregament"), un mecanisme de raonament que porta a la simplificació de la informació que discutirem en l'apartat 13.2.2.

En paral·lel, la participant PA4 encara va anar més enllà en la seva explicació, dient que "*[Al moure el ratolí] els estàs ajuntant, no? Que els estàs unint (...) Llavors és quan agafa la temperatura*" [Quota "4:20"], i més endavant que "*Llavors, no se... cadascú tindrà una temperatura determinada i al fusionar-ho, llavors, augmenta [la temperatura]*" [Quota "4:22"]. En aquesta explicació, PA4 relaciona l'augment de temperatura amb el contacte entre cossos a diferent temperatura (sense que possiblement ella tingués clar quin estava a més temperatura que l'altre), i per tant, explica l'escalfament com la conseqüència de que els llibres estiguessin junts, utilitzant una explicació (implícita i naïf) basada en un model de transferència de calor mitjançant el contacte tèrmic, en comptes de fer-ho utilitzant una explicació basada en

el treball que es fan mútuament les dues superfícies fregades. És a dir, la participant PA4 substitueix el model representat per un altre model mental diferent que ella utilitza per interpretar la simulació.

Explicacions errònies relacionades amb CA2.

CA2. El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules.	Explicació errònia: Les partícules representades són un sistema aïllat, no pertanyen als llibres.
---	--

Hem identificat aquesta explicació centrada en les partícules (i per tant, sense estar comprenent la relació macro-micro de la simulació) en les situacions associades a la dificultats co-ocorrents EC1 i RE3 (α) en les que els participants PA1, PA2 i PA7 no havien copsat els llibres (VA1) en els primers instants de l'entrevista. Per exemple la participant PA2, a mitja entrevista, va reconèixer que *"Ah, vale! Això del llibre! (...) Si, m'has dit que em fixés en tota la pantalla.* [Quota "2:11"], reconeixent que la explicació que estava donant fins aleshores no tenia en compte els llibres i es centrava només en les partícules. Sense reconèixer els llibres, aquests participants van fer explicacions centrades només en les partícules i descontextualitzades de la resta de la representació, com ara *"Hi ha un grup de boles grogues i un grup de boles verdes, i un termòmetre que si frotes, si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa"* [Quota "1:14"], i que per tant, no recullen la idea central de la simulació (la relació macro – micro).

Explicacions errònies relacionades amb CA3.

CA3. Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules.	Explicació errònia: La interacció entre les partícules és una reacció química
	Explicació errònia: La interacció entre les partícules és un canvi d'estat
Incorrecció IS3: Les partícules dels dos llibres es superposen lleugerament.	Explicació derivada de la incorrecció: La interacció entre les partícules és una barreja

Hem identificat tres explicacions diferents referides a la interacció entre partícules que són errònies en tant que difereixen totalment de la idea de col·lisions que la simulació pretén comunicar. D'una banda, la participant PA1 en un moment de la seva entrevista explicà la representació com una reacció química *"Que es fa com una reacció química"* [Quota "1:21"]. Considerem que al referir-se a una "reacció química" no és que la participant estigui interpretant una reacció química pròpiament dita amb reactius i productes, sinó que al donar rellevància a l'etiqueta verbal *"química"* (RE4) i connectar-la erròniament amb les partícules (EC2) sense interpretar la seva naturalesa comunicativa (NC2) la participant fa una associació mental, i atribueix contigüïtat conceptual a la contigüïtat espacial, essent aquesta una de les regles associatives descrites per Pozo (1987).

En paral·lel, els participants PA4 i PA11 van referir-se a les partícules com la representació d'un canvi d'estat *"I canvia l'estat (...) Crec que de sòlid a líquid"* [Quote "4:25"] i *"Quan hi ha molt fregament (...) és líquid"* [Quota "29:07"]. Podem considerar que en aquesta explicació els lectors fan ús de representacions mentals prèvies que tenen en la seva memòria a llarg termini, i que associen a la representació per la semblança visual que tenen (hem discutit la semblança visual entre la representació de les partícules VA3 i VA4 i la representació clàssica d'un canvi d'estat que hem discutit en la Figura 124, punt 9.3.1), i per això en la Secció III hem parlat d'homonímia

(SEM1). Com veurem en la resta de situacions SEM1 direm que la homonímia permet i/o fomenta el raonament per accessibilitat a representacions mentals prèvies.

Finalment, la mateixa PA4 i també PA3 van expressar que estaven comprenent una barreja entre partícules, dient “*que [les partícules grogues] s'estan com mesclant amb els verds*” [Quota "3:38"] i també que “*al moure la pantalla amb el ratolí doncs alguns [partícules] s'han barrejat (...) Quan més ho mous, més es barregen entre ells i quan deixes de donar-li amb el ratolí es torna a la posició on estaven abans, al principi.*” [Quota "4:26"], que en la secció III hem associat a la lectura literal de la superposició entre VA3 i VA4, element incorrecte de la simulació (IS3).

Explicacions errònies relacionades amb CA4 i CA8.

<p>CA4 i CA8. L'augment / disminució de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment /disminució de la vibració de les partícules</p>	<p>S'explicita una falta d'explicació conceptual: No s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura del sistema</p>
	<p>Explicació errònia: Les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura</p>

Tot i que no ho considerem pròpiament una explicació errònia, hem considerat els episodis en que no s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura basant-nos en la justificació de la selecció de dades feta en l'apartat anterior. En aquest cas, hem inclòs les situacions amb dificultat per integrar representacions múltiples complementàries (RM2), concretament en la integració de la vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d) i el moviment del termòmetre (VA6d1/2), en els que tot i que no es faci una explicació conceptual pròpiament dita, s'explicita una falta de relació conceptual. És cas de la resposta de la participant PA5 a la pregunta “*què te a veure la temperatura amb la vibració de les partícules?*”, a la que respongué “*suposo que tindrà a veure. Què té a veure no ho se*” [Quota "5:23"].

En altres situacions també relacionades amb la dificultat RM2 vam identificar explicacions de la relació entre vibració i temperatura basades en la relació causal inversa, és a dir, segons les quals les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura. És el cas de l'Eva, que explicà que “*puja la temperatura i llavors els àtoms es mouen una mica*” [Quota "3:27"], utilitzant el raonament causal de tipus “*llavors*” definit per Viennot (1996) que hem definit en la Taula 3 de l'apartat 2.3.4. Basant-nos en els esquemes de resposta d'aquesta mateixa autora ens trobem que mentre el sistema conceptual es pot expressar com: “*Fregament macroscòpic -> Microscòpicament correspon a col·lisions -> Aquestes col·lisions comporten una major vibració -> La vibració es correspon a l'augment de temperatura*”, en canvi la resposta dels estudiants és “*Fregament macroscòpic -> Escalfament -> Augmenta la vibració*” sense arribar a fer una explicació de què és el que produeix l'escalfament pròpiament dit.

Explicacions errònies relacionades amb CA5 i CA6.

<p>CA5 i CA6. L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn. // La diferència de temperatura amb l'entorn provoca un (posterior) refredament de les superfícies.</p>	<p>Explicació errònia: El refredament es produeix per la separació de les superfícies en contacte, no per la fi del fregament o per la interacció amb l'entorn</p>
--	---

Igual que pel cas de CA1, hem trobat aquesta explicació en les situacions on intervé la dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (DI1). De la mateixa manera abans hem exposat que alguns participants explicaven com el simple contacte (i no el fregament en sí) causava l'escalfament, també hem trobat en les mateixes entrevistes situacions en les que els participants expliquen que la causa del refredament és la separació: “*si no es toquen [les dues superfícies], baixa [la temperatura]*” [Quota "1:16"]; “[*La temperatura baixa] perquè no estan junts els cossos [VA2 i VA5], i llavors, al no tocar-se ni res es va refredant*” [Quota "4:24"], i més endavant tornà a dir que “*l quan ja no estan junts llavors la temperatura disminueix un altre cop*” [Quota "4:22"]. Considerem que es tracta de la mateixa simplificació en el raonament parlant de l'estat del sistema (“quan els llibres estan separats”) i no del procés representat (“quan deixa d’haver-hi fregament”) que ja hem presentat pel cas de CA1. A més, és també un resultat destacable que cap dels participants faci esment a la idea de “entorn” que hem identificat en els requeriments de lectura de la Secció II.

Explicacions errònies de la relació conceptual CA7.

CA7. El refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn.	Explicació errònia: El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant
Incorrecció IS2: En la simulació la temperatura triga uns instants a descendre.	Explicació derivada de la incorrecció: El refredament de les superfícies triga uns instants a produir-se

Les diferents interpretacions de com es produeix el descens de la temperatura (VA6d2) en les que intervien dificultats de lectura van portar a diferents explicacions conceptuals errònies. En alguns casos els participants van expressar que el refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant, o en paraules textuales, “*continu*” o “*tota l'estona igual*”, com expressen els comentaris de PA1 [Quota "1:28"], PA2 [Quota "2:14"], PA4 [Quota "4:23"] o PA5 [Quota "5:18"]. Aquestes explicacions mostren com en comptes de comprendre el descens com un procés no lineal (Figura 147, esquerra) comprenien el ritme d'aquest com lineal (Figura 147, centre). En aquest cas, i com també discutirem en l'apartat 13.2.2., es tracta d'una simplificació per linealització dels processos identificada en la literatura (diSessa, 1983; Driver, Squires, Rushworth, i Wood-Robinson, 1994; García, 2005).

Ahora, una altra explicació errònia la vam identificar en comentaris com “*quan "soltes" i encara s'està movent, [la temperatura] es manté. Però quan es van separant, baixa*” [Quota "1:33"] o “*la temperatura aguanta una mica (...) es manté i després baixa*” [Quote 29:03], que expressen que el refredament de les superfícies no és immediat després de deixar de fregar, sinó que triga uns instants a produir-se (Figura 147, dreta). D'una banda, cal tenir en compte que aquestes explicacions estan associades a la lectura literal del retard en el descens de la temperatura, que hem considerat com una incorrecció de la simulació (IS, apartat 9.7). Ara bé, ahora volem destacar que aquesta mateixa explicació s'havia donat en algunes de les prediccions que els estudiants participants en el projecte REVIR feien respecte el comportament de la temperatura de la làmina de coure de la pràctica EN que hem explicat en el capítol 4 (Figura 148), i que està relacionada amb la idea de “inèrcia tèrmica” exposada a López i Artigas (2012).

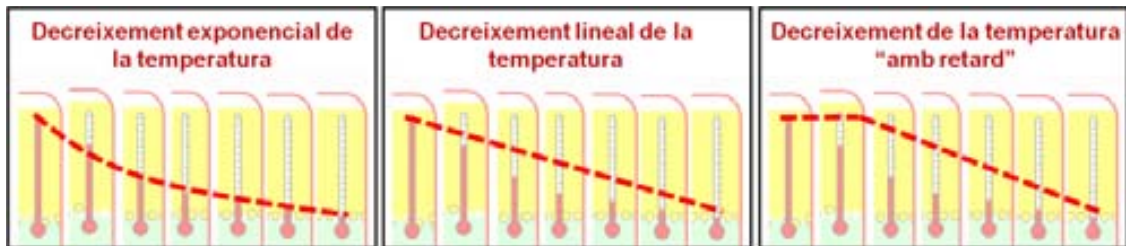


Figura 147. Representació de tres tipus de comportaments del descens de temperatura: “exponencial”, “lineal” i “amb retard”.

c) Podries predir com variari la temperatura de la làmina de coure al llarg del procés i dels diferents fets que hagis identificat? Dibuixa l'evolució de la temperatura amb una gràfica on es vegi la temperatura abans, durant i després de la frenada.

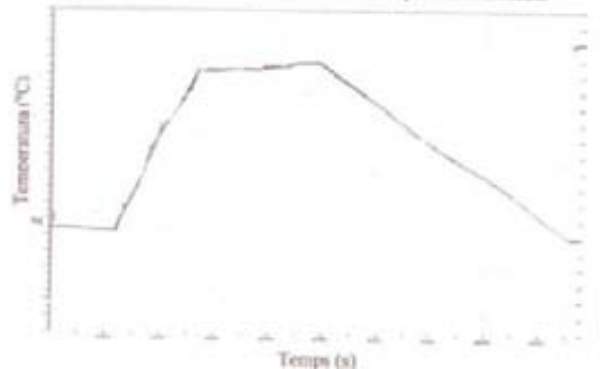


Figura 148. Gràfica feta per un estudiant participant del REVIR que representa la predicció de la temperatura d'una làmina de coure en la pràctica EN.

Explicacions errònies de la relació conceptual CA9

CA9. El fregament provoca un desgast de les superfícies fregades.	Explicació errònia: Les partícules que marxen són partícules de l'aire
	Explicació errònia: Es produeix una evaporació del material
Incorrecció IS1: En la simulació només es desgasta la superfície del llibre superior.	Explicació derivada de la incorrecció: Només marxen les de dalt perquè corresponen a un material més tou
	Explicació derivada de la incorrecció: Marxen els de dalt perquè fas la força amb els de dalt

Hem identificat explicacions errònies relacionades amb el desgast, que apareix representat a través de les partícules que marxen (VA3d2). En alguns casos, com la participant PA2 van ser capaces de explicar que el que apareixia representat era el desgast del llibre [Quote “2:19”], cosa que demostra que alguns participants poden resoldre canònicament la lectura d'aquesta representació visual. En canvi, la participant PA6 en no integrar adequadament fons i partícules (dificultat RM1) va acabar dient que VA3 eren les partícules de l'aire “al mig hi hagi uns toms que al frotar-se, se'n van”, i poc després va argumentar que es tractava de “els toms de l'aire, del que hi ha [en mig dels dos llibres]” [Quota “6:18”]. Alhora, les participants PA4 i PA8 van interpretar el moviment de les partícules VA3d2 com una evaporació (SEM1), dient “O sea, se van si se evaporan, pero solo juntándolos así no se evaporan...” [Quote “29:01”], i també “arriba un moment que és com si s'evaporessin i marxessin” [Quote “4:19”]. Cal dir, però, que el terme “evaporació” que utilitzen no té perquè estar estrictament relacionat amb la idea científica d'un canvi d'estat, sinó que

el terme es fa servir per descriure tot allò que desapareix / marxa. En qualsevol cas, es tracta també d'un mecanisme de raonament basat en l'accessibilitat a una idea prèvia coneguda pel lector que substitueix la idea representada.

En segon lloc, hem considerat les explicacions conceptuals que fan referència al desgast de les superfícies a partir de la lectura literal de la incorrecció IS1 (l'asimetria entre el comportament de les partícules VA3 i VA4, ja que només es desprenen les de VA3). Per aquest motiu hem representat en el requadre anterior amb línia discontinua, ja que no podem parlar d'explicacions errònies sinó **explicacions derivades de la pròpia incorrecció**. En el cas del participant PA10, va dir que el desgast es produïa només en la superfície groga perquè els dos llibres estaven fets de materials diferents *“los libros son diferentes, solo se rompen los átomos de arriba”* [Quota “29:06”]. De fet, aquesta és la explicació no només no és errònia sinó que és la més correcte des del punt de vista científic (veure discussió sobre les incorreccions de la simulació A als darrers paràgrafs de l'apartat 6.3). En canvi, PA8 argumentà que el desgast era només al llibre groc de la següent manera: *“marxen els de dalt perquè és amb el llibre que fregues. L'altre [llibre] està quiet”* [Quota 29:02]. En aquest cas a part de la lectura literal de la incorrecció IS1 podem identificar un raonament basat en que el fregament només afectés a un dels dos materials, de forma similar a les concepcions alternatives relacionades amb la 3a Llei de Newton (Brown, 1989) i a la idea que els objectes passius (en aquest cas, el llibre verd) no experimenta els efectes de la força (AAAS, 2013).

Explicacions errònies de la relació conceptual CA10.

<p>CA10. Les superfícies fregades, a nivell mesoscòpic, tot i semblar llises són irregulars.</p>	<p>S'explicita una falta d'explicació conceptual: No es fa cap referència a la irregularitat de les superfícies.</p>
	<p>Explicació errònia: La disposició irregular de les partícules no vol dir res</p>
	<p>Explicació errònia: Les superfícies són irregulars degut a la forma de les partícules</p>

Com hem exposat en la Taula 31, la majoria de participants no van donar la rellevància suficient a la forma irregular del perímetre de partícules grogues VA3, i per tant, difícilment aquests participants podien copsar la idea de irregularitat mesoscòpica de les superfícies (Figura 80, que hem recuperat de nou en la Figura 149) i fer cap tipus d'explicació conceptual. Tot i així, en el cas de l'Eva, a qui se li va preguntar expressament per aquest contorn irregular (Figura 150, esquerra), va respondre *“Jo crec que [la forma irregular] no vol dir res, perquè aquí [partícules verdes] no acaben en punta. Jo crec que, no se perquè, aquests [partícules verdes] estan més uniformes i aquests [partícules grogues] estan més a la seva bola”* [Quota "3:33"]. Es tracta de nou d'un cas en el que es percep un element visual però no es dona cap explicació conceptual al respecte.

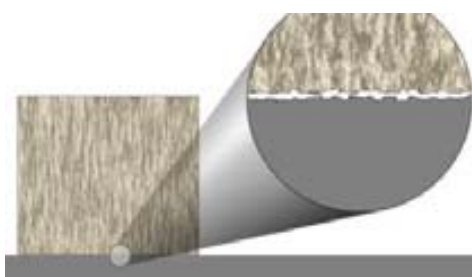


Figura 149. Representació comú de les irregularitats mesoscòpiques de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises.

En canvi, una altra explicació errònia relacionada amb la naturalesa irregular de les superfícies va ser identificada en l'entrevista a la Participant PA2, que justament sí que va parlar de les irregularitats per confonent-les amb els bonys semicirculars del perímetre de VA5 que reproduïen el contorn de les partícules (Figura 150, dreta), dient "Doncs que si són rodons, [la superfície] no estar tot... bueno. Qu no estar tot així [plana]" mentre feia el gest amb la mà de superfície plana. [Quota "2:13"]. Com hem exposat en l'apartat 9.6 de la Secció III, la participant va interpretar una representació microscòpica (la forma de cada partícula) en base a una escala mesoscòpica (la irregularitat de les superfícies que a nivell macroscòpic semblen llises).

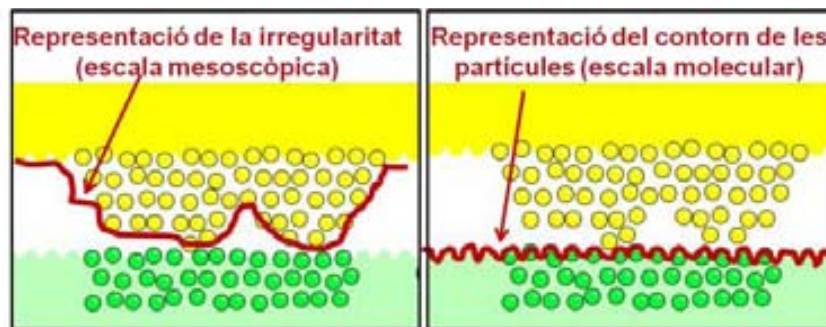


Figura 150. Representació de la irregularitat mesoscòpica (esquerra) i del contorn semicircular corresponent a la forma de les partícules (dreta).

Altres explicacions errònies entorn de la doble representació de la matèria

Altres explicacions errònies entorn de la doble representació de la matèria	Explicació errònia: Les partícules estan concentrades al centre perquè s'atrauen.
	Explicació errònia: Les partícules estan concentrades al centre perquè la resta de partícules se n'han anat.
	Explicació errònia: El fons és "una membrana on es situen les partícules".
	Explicació errònia: El fons és "un altre material".

En l'anàlisi conceptual fet en la simulació A (apartat 6.1) no vam afegir de forma específica conceptes relacionats amb la doble naturalesa de la matèria que apareix en la simulació representada a través d'un model corpuscular (partícules, representades pels sintagmes VA3 i VA4) i també a partir d'un model de matèria continua (el fons, representat pels sintagmes VA2 i VA5), tal com presentem en la Figura 82 (tornem a presentar en la Figura 151). Com hem justificat anteriorment, no hem introduït aquesta doble naturalesa de la matèria en l'anàlisi conceptual de la simulació perquè enteníem que aquest no era un objectiu didàctic de la simulació, és a dir, que la simulació no pretenia explicar com està composta la matèria sinó què li passa quan freguem diferents materials.

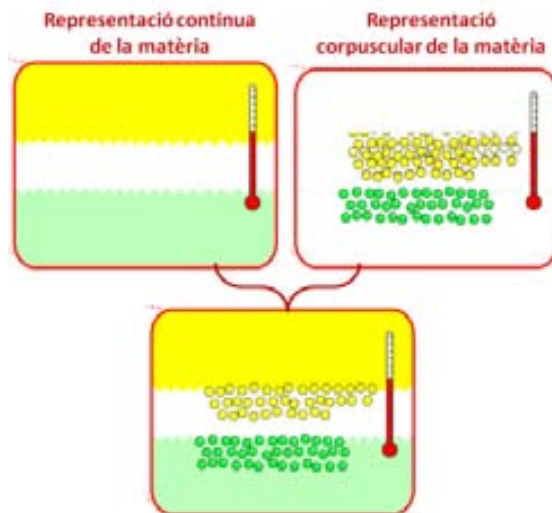


Figura 151. Suma de la representació contínua de la matèria i de la representació corpuscular de la matèria.

En canvi, sí que hem identificat explicacions conceptuals errònies que es derivaven de la lectura de la representació, totes elles relacionades amb la dificultat per combinar les dues representacions (contínua i corpuscular), ja fos per no connectar partícules i fons a nivell sintàctic (EC3) o bé semàntic, amb la integració de significats fons – partícules (RM1). En els casos dels participants PA6 i PA7 no s'interpreta adequadament la forma sintàctica de les partícules superposades al fons, explicant que la forma de les partícules era deguda a que estaven atretes el cèntricament [Quota "13:20"] o que només hi havia unes quantes partícules perquè les altres s'havien anat [Quota "6:19"]. Alhora, la participant PA6 feia poc després una altra explicació conceptual errònia, dient que el fons verd és allà "on es situen els toms" [Quota "6:15"] i fent referència a la idea d'una "membrana". Entenem doncs que es tracta d'una concepció identificada en la literatura segons la qual els toms i les molècules estan incrustades a la matèria (Griffiths i Preston, 1992; Renstrom, Andersson, i Marton, 1990). Una darrera explicació la trobem en la participant PA3, que explica que el fons són "les altres partícules que conté el llibre" [Quota "3:31"], idea també identificada en la literatura (Nakhleh et al., 2005; Nakhleh, Samarapungavan, Saglam i Duru, 2006).

12.2. Anàlisi de les explicacions conceptuals errònies relacionades amb la simulació B

Explicacions errònies de la relació conceptual CB1.

CB1. El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixin els diferents extrems dels elements	Explicació errònia: El sistema són elements connectats (no un circuit sencer)
	Explicació errònia: Per cada bobina toca un imant i/o una bombeta
	Explicació errònia: El sistema és un circuit toroïdal per l'imant

Hem trobat diferents explicacions conceptuals errònies relacionades amb la idea del circuit conformat per diferents elements, totes elles alternatives a la idea de circuit. La referència constant a elements del circuit sense referir-se a la idea de circuit (per exemple, la idea que hi ha una bombeta unida a una bobina, però sense cap referència al corrent ni al circuit, fa pensar en les diferents concepcions alternatives identificades en la literatura (Figura 152), i també en la falta d'un pensament sistèmic (Pozo, 1987) que permeti als participants pensar en termes de circuit com un conjunt i no com (alguns) elements connectats.

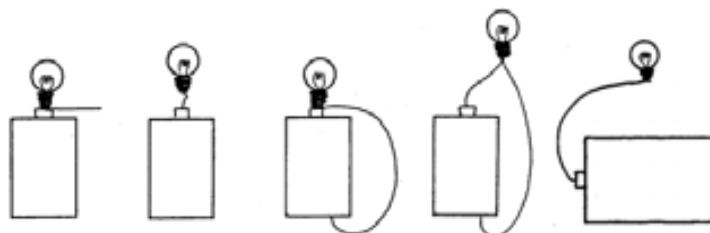


Figura 152. Exemples de models alternatius de circuit elèctric identificats en Driver, Squires, Rushworth, i Wood-Robinson (1994)

Una altra explicació errònia que també hem associat a les dificultats per interpretar les connexions entre elements de l'estructura compositiva (EC2) la trobem en l'associació "bijectiva" que fan alguns participants seguint la lògica "un a un", tal com hem presentat en la Figura 119 de l'apartat 9.1.2. Finalment, el participant PB8 va fer encara una altra explicació errònia, argumentant que el sistema és un circuit toroïdal format per les dues bobines, per on ha de passar l'imant donant voltes, tal com hem presentat en la Figura 120 també de l'apartat 9.1.2. Considerem que en tots dos casos intervenen també regles associatives del pensament humà (Pozo, 1987) a través de les quals s'estableixen relacions alternatives entre els elements de la representació, ja que alguns participants relacionen alguns elements per la seva proximitat, però no per la seva conceptualització de circuit.

Explicacions errònies de la relació conceptual CB3.

CB3. Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en la intensitat de llum de la bombeta.	Explicació errònia: La bombeta s'il·lumina quan entra dins el camp magnètic.
---	---

Tot i que la majoria de participants relacionen adequadament la il·luminació de la bombeta amb la idea de corrent (de forma explícita o implícita) hem identificat una explicació errònia feta per la participant PB10, que relaciona la bombeta directament

amb una de les línies de camp (dificultat RM3). En la seva explicació inicial, PB10 va dir que *“La bombeta aquesta ha d’estar a dins del camp magnètic”* [Quote “30:03”], tot i que a continuació vam esbrinar que al dir “camp magnètic” es referia a “línia de camp” (veure Figura 156, unes pàgines més endavant). Així, quan li vam preguntar *“i què passa quan [la bombeta] està aquí on dius?”* la participant va respondre que *“No se, és al passar, que s’il·lumina”*, relacionant així la llum de la bombeta directament amb les línies de camp, sense referir-se en cap moment a la bobina ni a la resta del circuit. Com també es pot veure en la Figura 132, en l’apartat 9.4.2, en el moment exacte en que la bombeta s’il·lumina coincideix que una línia de camp passa just per sobre d’aquesta bombeta. Per tant, el mecanisme de raonament que podem identificar és també una associació per contigüitat espacial (Pozo, 1987).

Explicacions errònies de la relació conceptual CB4.

CB4. Percebem el corrent elèctric de l’interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment l’agulla.	Explicació errònia: El sensor és un interruptor que s’obre i es tanca.
	Explicació errònia: El sensor és un aparell que controla l’excés de corrent.
	Explicació errònia: El sensor és un aparell que mesura la força de l’imant.

Hem identificat diferents explicacions errònies relacionades amb el concepte de sensor i de la seva funció en el circuit. És el cas de la participant PB2 que digué *“l’interruptor seria el voltatge, que va canviant...”* [Quote “16:22”]. Recordem que PB2 al dir *“el voltatge”* es referia al sensor, degut a l’excés de rellevància d’aquesta etiqueta verbal que ja hem descrit en l’apartat 9.2.2. La homonímia entre el moviment de l’agulla del sensor i el moviment d’obrir i tancar un interruptor (veure Figura 126 de l’apartat 9.3.2) respon, com ha passat anteriorment, permet i/o fomenta el raonament per accessibilitat a representacions mentals prèvies, com discutirem en l’apartat 13.2.2. Alhora, per , en un altre punt de l’entrevista, la mateixa participant va canviar radicalment d’explicació, dient que el sensor potser era *“[un aparell] que controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta”* [Quote “16:11”], demostrant així la substitució del significat per nous significats, l’origen del qual desconeixem per la pròpia limitació de l’entrevista. Una darrera explicació errònia l’hem trobat en la participant PB4 quan parlava de la interacció sensor-imant en diferents moments de l’entrevista com si el sensor *“mesurés el voltatge de l’imant”* [Quote “19:17”] i *“[el comportament del sensor] pot ser la part de l’imant. Nord i sud, una que sigui positiva i l’altre negativa (...) Aquesta força [de l’imant sobre el sensor] és positiva”* [Quota “19:21”]. Entenem que en aquesta explicació intervé tant una homonímia (Pintó i Ametller, 2002) entre l’agulla del sensor i una brúixola (veure Figura 125 de l’apartat 9.3.2) com una associació entre elements visuals contigus (Pozo, 1987).



Figura 153. Representació de la explicació conceptual errònia “el sensor és un aparell que mesura la força de l’imant”.

Explicacions errònies de la relació conceptual CB5.

<p>CB5. La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l'agulla (i viceversa).</p>	<p>Explicació errònia: El corrent es desplaça de forma seqüencial pels elements del circuit.</p>
	<p>Explicació errònia: La bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+).</p>

Hem identificat dos tipus d'explicacions errònies relacionades amb la relació directa entre il·luminació de la bombeta i moviment de l'agulla. La primera és una explicació estretament relacionada basada amb la idea de circuit seqüencial històricament identificada en la literatura (Driver et al., 1994; Shipstone, 1984, 1988) segons la qual el corrent elèctric surt d'un element determinat del circuit (normalment la bateria), passa a un altre element, després a un altre, etc., fins arribar de nou a l'origen (Figura 154). És el cas de co-ocurrència de dificultats ρ (no es connecten adequadament representacions complementàries (RM2) i s'interpreten com seqüencials (DI2)), expressada com "Quan passa l'ímant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge (...) I llavors sí que va a la bombeta" [Quota "16:23"] o "augmenta el voltatge i llavors la bombeta s'encén" [Quota "18:15"]. Una vegada més veiem en tots dos casos l'ús del "llavors" per relacionar processos físics de forma seqüencial (Viennot, 1996).

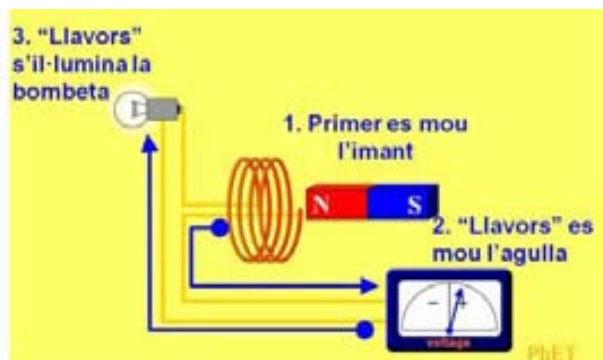


Figura 154. Interpretació del circuit basat en un raonament seqüencial lineal.

La segona explicació errònia identificada dels participants PA1 i PA3, també associada a la dificultat RM2 i expressada com "Quan [l'agulla del sensor] està en el positiu, [la bombeta] sí que s'il·lumina però quan està en el negatiu no" [Quota "15:15"] consisteix en que la bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+). Per comprendre aquesta explicació cal tenir en compte dos factors. D'una banda, és una concepció identificada en la literatura (Holton i Verma, 2011), però per l'altra, l'explicació errònia pot venir reforçada pel fet que quan en la simulació B es passa l'ímant per la bobina el voltatge marca (+) durant els primers instants (Figura 155), encara que immediatament canvi a (-).

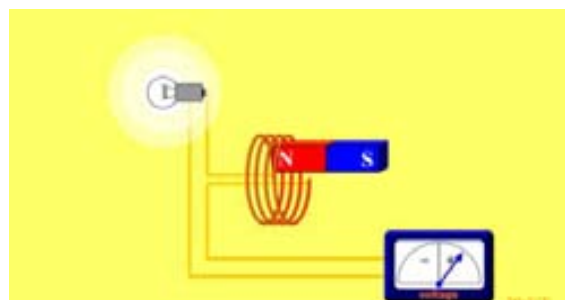


Figura 155. Captura de pantalla del moment en que l'ímant passa per l'interior de la bobina i el sensor marca (+).

Explicacions errònies de la relació conceptual CB6 i CB7.

CB6 i CB7. L'ímant sempre provoca al seu voltant un camp magnètic // Un camp magnètic es pot representar mitjançant les línies de camp	Explicació errònia: Les línies de camp representen el corrent elèctric / electrons
	Explicació errònia: Les línies de camp delimiten el camp magnètic
	Explicació errònia: Les línies de camp "xoquen amb la bobina".

Hem trobat diferents explicacions errònies relacionades amb l'ímant i el camp magnètic representat a través de les línies de camp. Cal tenir en compte que hem descartat explicacions com les de la participant PB3, que va dir que les línies de camp "em recorda a les línies que surt lo del temps" [Quote "18:17"], ja que no és una explicació conceptual sinó purament visual. En canvi, els participants PB6 i PB9 sí que van construir la seva pròpia interpretació de la representació, explicant que les línies estaven relacionades amb la circulació de corrent o de càrregues: "així no se si és el camí que fan els electrons..." [Quote "25:11"] i també que "Les línies de camp és per on passa el corrent elèctric" [Quote "30:02"] respectivament. Entenem que aquesta explicació està estretament relacionada amb el mecanisme de raonament basat en l'accessibilitat a una idea prèvia coneguda pel lector. De fet, preguntant a la professora del participant PA6 vam saber que a classe havien estudiat conceptes bàsics d'electricitat però no conceptes bàsics de magnetisme.

Una altra explicació errònia la vam trobar en el participant PB1 quan va referir-se a que "[les línies de camp] xoquen amb la bobina" [Quota "15:16"], atribuint-li una entitat real, física, que entra en contacte amb la resta d'elements real, fet que també ha estat presentat en la literatura com a concepció alternativa (Thong i Gunstone, 2008).

Finalment, una darrera interpretació errònia la vam trobar en la participant PB10 [Quote "30:02"], que va explicar que la línia de camp que apareix amb una major mida en la representació (Figura 156) era una línia que delimitava l'interior del camp magnètic de l'exterior del camp magnètic, com si el camp fos l'àrea interna de la línia de camp.



Figura 156. Representació basada en l'explicació de la participant PB10 on les línies de camp "delimiten" el camp magnètic

Explicacions errònies de la relació conceptual CB8 i CB9.

CB8 i CB9. Quan desplaçem l'imant pels voltants o l'interior d'una bobina, s'indueix corrent elèctric // La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina	Explicació errònia: Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè toca / frega físicament amb la bobina
	Explicació errònia: Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent

Hem identificat dues explicacions errònies estretament relacionades, totes dues basades en la idea que l'imant s'ha de "connectar" dins la bobina. Les dues explicacions estan relacionades amb la dificultat DI1 en confondre posició i moviment i la dificultat RE2 de donar excessiva rellevància a la bobina. Per exemple, el participant PB11 digué "*L'imant, quan toca la bobina, fa que s'encengui la bombeta perquè li dona energia que pot ser positiva o negativa*" [Quote 30:04], i la participant PB4 encara va anar més enllà en la seva interpretació de la interacció imant-bobina, i va dir que "*Ai! Mira... si lo nuevo más se enciende. Pero... Ah! Porque quizás es por el rozamiento*" [Quota "19:19"]. En el cas del participant PA6 tornem a trobar la mateixa explicació "*al entrar en contacte amb una bobina hi ha com un petit xocs amb electrons o algo i genera electricitat*" (...) [per a que s'encengui la bombeta cal] que l'imant entri en contacte amb la bobina però no una mica, sinó molt, saps?" [Quota "25:10"].

En paral·lel, l'explicació que apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent la trobem també en altres fragments del participant PA6, dient que "*el circuit elèctric no està tancat, saps? Aleshores, quan fiques l'imant el tanques completament i aleshores (...) puguen els electrons per encendre la bombeta*" [Quota "25:13"].

Totes dues explicacions poden relacionar-se amb els resultats trobats per Guisasola, Almudi i Zusa (2013) en estudiants d'edats més avançades, els quals tenien dificultats per concebre una acció a distància de l'imant sobre la bobina, i davant la dificultat de raonar en termes de la transferència d'alguna cosa material invisible a distància, tendien a raonar en termes del contacte físic, i entenien que l'imant i la bobina havien d'estar físicament connectats.

Explicacions errònies de la relació conceptual CB10 i CB11.

CB10 i CB11. La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició / velocitat de l'imant relativa a la bobina.	Explicació errònia: La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat.
	Explicació errònia: La intensitat del corrent elèctric que s'indueix és sempre igual

D'una banda, hem identificat l'explicació errònia que la intensitat del corrent elèctric sí que depèn de la posició de l'imant (i per tant, és coherent amb la relació CB10) però en canvi no depèn de la velocitat de l'imant (i per tant, és contradictori amb CB11). De fet, si l'imant està aturat, no hi ha variació del flux que travessa la bobina, i per tant, no hi ha corrent elèctric induït. La comprensió errònia de pensar que l'imant depèn de la posició i no del moviment la trobem en participants com PB1 o PB4, amb expressions com "*[el comportament de l'agulla del sensor] depèn de la posició de l'imant*" [Quota "15:14"] o bé "*Dependiendo de la cercanía, a bueno así no... dependiendo de la posición del imán, el campo magnético es uno o es otro*" [Quota "19:15"], però sense comprendre que si l'imant estava aturat, no hi havia corrent elèctric induït. Considerem que es tracta de la mateixa simplificació en el raonament parlant de l'estat del sistema

("on està l'imant") i no del procés representat ("com es mou l'imant" o "quina velocitat té l'imant",) que ja hem presentat en l'apartat 12.1 per la relació entre la separació / contacte dels llibres de la simulació A.

La segona explicació errònia es basa en la idea que quan es mou l'imant s'indueix corrent, però que aquesta sempre és igual i no depèn de si l'imant es mou més ràpid o més lent, dificultat que hem associat a no distingir els diferents graus d'intensitat de les diferents variables que intervenen en el model representat (en aquest cas, la variable velocitat de l'imant i la variable il·luminació de la bombeta (DI4). Aquest és el cas de la Laia, que al interactuar amb la simulació només movia l'imant i després l'aturava, i tornava a moure'l i aturar-lo, mentre explicava "Jo ho veig tot igual" referint-se a la il·luminació de la bombeta [Quota "16:19"]. És a dir, simplement estava veient que l'imant podia moure's o no moure's, però no que podia moure's amb diferents velocitats. Aquest mecanisme de "discretització" apareix també en la literatura com la tendència dels estudiants a interpretar dades de naturalesa contínua de manera discreta (Leinhardt et al., 1990).

Explicacions errònies de la relació conceptual CB12.

CB12. La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espores de la bobina.	Explicació errònia: La intensitat depèn de la longitud de la bobina (i no del nombre d'espores) perquè l'imant triga més en recórrer-la.
	Explicació errònia: La segona bobina serveix per afegir un segon imant (en comptes de per comparar la intensitat que s'indueix en cada bobina).
	Explicació errònia: La bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines.

Hem identificat diferents explicacions errònies relacionades amb la idea CB12. En primer lloc, l'excés de rellevància a la longitud de les bobines i no al seu nombre d'espores (RE2) porta a la participant PB2 a explicar que nombre d'espores: "Que com més llarga és la bobina, més electricitat passa perquè més estona està l'imant passant per dintre la bobina. I si és més curt, no fa tanta llum" [Quota "16:17"].

En altres casos vam trobar que, quan preguntàvem per la segona bobina (VB6), els estudiants responien que una segona bobina serviria per utilitzar un segon imant, com si existís una relació bijectiva entre aquests elements "una bobina per cada imant", que també hem considerat en les explicacions errònies a la relació CB1, a partir del raonament "associatiu" que es desprèn de la relació presentada en la Figura 119 de l'apartat 9.1.2. En aquests casos trobem que, segons els participants, la segona bobina (VB6) serveix per afegir un segon imant (en comptes de per comparar la intensitat que s'indueix en cada bobina).

Finalment, hem identificat l'explicació errònia que fa el participant PA7 "dóna igual la bobina per la que passi l'imant. S'encén igual la bombeta" [Quota "27:15"] (relacionat amb la dificultat DI4), segons la qual la bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines. Cal tenir en compte que tot i que seguidament aquest mateix participant rectifica dient que "Dóna igual la bobina, però amb la que té més espirals té més intensitat", va reconèixer que al principi no ho havia copsat aquesta relació.

**Capítol 13. Síntesi i discussió dels
resultats de l'anàlisi de les
explicacions conceptuals associades
a les dificultats de lectura**

Amb l'objectiu de respondre a la pregunta de recerca **P3** al llarg del capítol 12 hem presentat i discutit les explicacions conceptuals errònies associades a cadascuna de les relacions conceptuals CA[i] i CB[j], i per cada explicació hem assenyalat la vinculació amb les dificultats de lectura identificades i discutides en la Secció III, els mecanismes de raonament espontani que apareixen i les concepcions espontànies específiques de cada contingut científic. En aquest darrer capítol de la Secció IV presentem, en primer lloc, la síntesi dels resultats de l'anàlisi en forma de taules (apartat 13.1), i en segon lloc, la discussió dels resultats, centrant-nos en les concepcions i els mecanismes de raonament associats a cada explicació (apartat 13.2). Tot i així, reprendrem aquesta discussió de nou en la Secció V conjuntament amb la discussió dels resultats de les preguntes de recerca **P1** i **P2**.

13.1. Síntesi dels resultats

En primer lloc, en la Taula 40 presentem les diferents explicacions conceptuals errònies identificades classificades en funció de les relacions conceptuals CA[i], i els participants que al llarg de les seves entrevistes donen explicacions d'aquesta naturalesa. Com ja hem fet en el capítol anterior, les caselles acolorides en gris clar corresponen a les explicacions que provenen de la lectura de les incorreccions de la simulació (veure apartat 6.3 de la Secció II), i les caselles acolorides en gris fosc corresponen als dos casos de "*Falta d'explicació conceptual*" que hem destacat en l'apartat 12.1.

Proposicions del sistema conceptual	Explicacions conceptuals errònies	Participants
CA1. El fregament entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades.	L'escalfament es produeix pel simple contacte entre superfícies i no pel fregament entre aquestes superfícies.	PA1, PA2, PA4
CA2. El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules	Les partícules són un sistema aïllat, no pertanyen als llibres.	PA1, PA2, PA7
CA3. Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules.	La interacció entre les partícules és una reacció química	PA1, PA3
	La interacció entre les partícules és un canvi d'estat	PA4 PA11
	La interacció entre les partícules és una barreja	PA3, PA4
CA4 i CA8. L'augment / disminució de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment /disminució de la vibració de les partícules.	* No s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura del sistema*	PA1, PA5, PA9
	Les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura	PA5, PA6
CA5 i CA6. L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn // La diferència de temperatura amb l'entorn provoca un refredament de les superfícies.	El refredament es produeix per la separació de les superfícies en contacte, no per la fi del fregament o per la interacció amb l'entorn	PA1, PA2, PA4
CA7. El refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn.	El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant	PA1, PA2, PA4, PA5
	El refredament de les superfícies triga uns instants a començar	PA1, PA8
CA9. El fregament provoca un desgast de les superfícies fregades.	Les partícules que marxen són partícules de l'aire	PA6
	Es produeix una evaporació del material	PA4, PA8
	Només marxen les de dalt perquè corresponen a un material més tou	PA10
	Marxen els de dalt perquè fas la força a els de dalt	PA8
CA10. Les superfícies fregades, a nivell	La disposició irregular de les partícules no vol	PA3

Les explicacions conceptuals dels estudiants associades a les dificultats de lectura. **Secció IV**

mesoscòpic, tot i semblar llises són irregulars.	dir res	
	No s'arriba a copsar la idea de la irregularitat mesoscòpica	PA1, PA2, PA4, PA5, PA6, PA7
Altres explicacions errònies entorn de la doble representació de la matèria (corpuscular / continua), que afecta a totes les relacions conceptuals CA[i].	Les superfícies són irregulars degut a la forma de les partícules	PA2
	Les partícules estan concentrades al centre perquè s'atrauen.	PA7
	Les partícules estan concentrades al centre perquè la resta de partícules se n'han anat.	PA6
	El fons és "una membrana on es situen les partícules".	PA6
	El fons és "un altre material".	PA3

Taula 40. Explicacions conceptuals errònies associades a cadascuna de les relacions CA[i] de la simulació A.

De la mateixa manera que hem fet amb la simulació A, en la Taula 41 presentem les explicacions conceptuals errònies agrupades en relació als conceptes CB[i] de la simulació B i els participants en els que hem identificat cada explicació.

Proposicions del sistema conceptual	Explicacions conceptuals errònies	Participants
CB1. El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixen els diferents extrems dels elements	El sistema són elements connectats (no un circuit sencer)	PB1, PB4
	Per cada bobina toca un imant i/o una bombeta	PB2, PB3, PB5
	El sistema és un circuit toroïdal per l'imant	PB8
CB3. Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en la intensitat de llum de la bombeta.	La bombeta s'il·lumina quan entra dins el camp magnètic.	PB10
CB4. Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment l'agulla.	El sensor és un interruptor que s'obre i es tanca.	PB2
	El sensor és un aparell que controla l'excés de corrent.	PB2
	El sensor és un aparell que mesura la força de l'imant.	PB4
CB5. La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l'agulla (i viceversa).	El corrent es desplaça de forma seqüencial pels elements del circuit.	PB2, PB3
	La bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+).	PB1, PB3
CB6 i CB7. L'imant sempre provoca al seu voltant un camp magnètic // Un camp magnètic es pot representar mitjançant línies de camp	Les línies de camp representen el corrent elèctric / electrons	PB6, PB9
	Les línies de camp delimiten el camp magnètic	PB10
	Les línies de camp "xoquen amb la bobina".	PB1
CB8 i CB9. Quan desplaçem l'imant pels voltants o l'interior d'una bobina, s'indueix corrent elèctric // La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina.	Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè toca / frega físicament amb la bobina	PB1, PB3, PB6
	Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent	PB6
CB10 i CB11. La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició // velocitat de l'imant relativa a la bobina.	La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat.	PB1, PB3, PB4, PB6, PB11
	La intensitat del corrent elèctric que s'indueix és sempre igual	PB2
CB12. La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.	La intensitat depèn de la longitud de la bobina (i no del nombre d'espires) perquè l'imant triga més en recórrer-la.	PB2
	La segona bobina serveix per afegir un segon imant (en comptes de per comparar la intensitat que s'indueix en cada bobina).	PB2, PB3, PB5
	La bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines.	PB7

Les explicacions conceptuals dels estudiants associades a les dificultats de lectura. **Secció IV**

Taula 41. Explicacions conceptuals errònies associades a cadascuna de les relacions CB[i] de la simulació B.

Un altre aspecte de l'anàlisi fet que volem destacar és la relació entre les explicacions dels estudiants i les dificultats prèviament identificades en la Secció III. Per aquest motiu, en la Taula 42 tornem a presentar les explicacions conceptuals errònies de la Taula 40, però indicant a quina dificultat de lectura està associada. Per fer-ho, hem posat les diferents perspectives d'anàlisi de les dificultats presentades en el capítol 9 (EC, RE, SEM, RM, DI, NC, IS).

CA[i]	Explicacions conceptuals errònies (A)	EC	RE	SEM	RM	DI	NC	IS
CA1	L'escalfament es produeix pel simple contacte entre superfícies i no pel fregament entre aquestes superfícies.					DI1		
CA2.	Les partícules són un sistema aïllat, no pertanyen als llibres.	EC1	RE3					
CA3.	La interacció entre les partícules és una reacció química	EC2	RE4				NC2	
	La interacció entre les partícules és un canvi d'estat			SEM1				
	La interacció entre les partícules és una barreja							IS3
CA4 i CA8	* No s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura del sistema*				RM2			
	Les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura				RM2			
CA5 i CA6	El refredament es produeix per la separació de les superfícies en contacte, no per la fi del fregament o per la interacció amb l'entorn					DI1		
CA7	El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant					DI3		
	El refredament de les superfícies triga uns instants a produir-se							IS2
CA9	Les partícules que marxen són partícules de l'aire				RM1			
	Es produeix una evaporació del material			SEM1				
	Només marxen les de dalt perquè corresponen a un material més tou							IS1
	Marxen els de dalt perquè fas la força amb els de dalt							IS1
CA10	*No s'arriba a copsar la idea de la irregularitat mesoscòpica*		RE2					
	La disposició irregular de les partícules no vol dir res		RE2					
	Les superfícies són irregulars degut a la forma de les partícules						NC1	
Representació de la matèria	Les partícules estan concentrades al centre perquè s'atrauen.	EC3						
	Les partícules estan concentrades al centre perquè la resta de partícules se n'han anat.	EC3						
	El fons és "una membrana on es situen les partícules".				RM3			
	El fons és "un altre material".				RM3			

Taula 42. Relació entre les explicacions conceptuals errònies i les dificultats de lectura identificades en la Secció III (per la simulació A).

Les explicacions conceptuals dels estudiants associades a les dificultats de lectura. **Secció IV**

De nou, en la Taula 43 seguim el mateix procediment per tal de relacionar les explicacions conceptuals errònies amb les dificultats de lectura corresponents.

CB[i]	Explicacions conceptuals errònies (B)	EC	RE	SEM	RM	DI	NC
CB1	El sistema són elements connectats (no un circuit sencer)	EC2					
	Per cada bobina toca un imant i/o una bombeta	EC2					
	El sistema és un circuit toroidal per l'imant	EC2					
CB3	La bombeta s'il·lumina quan entra dins el camp magnètic.				RM3		
CB4	El sensor és un interruptor que s'obre i es tanca.			SEM1			
	El sensor és un aparell que controla l'excés de corrent.			SEM2			
	El sensor és un aparell que mesura la força de l'imant.			SEM2	RM3		
CB5	El corrent es desplaça de forma seqüencial pels elements del circuit.				RM2	DI2	
	La bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+).				RM2		
CB6 i CB7	Les línies de camp representen el corrent elèctric / electrons			SEM2			
	Les línies de camp delimiten el camp magnètic			SEM2			
	Les línies de camp "xoquen amb la bobina".						NC1
CB8 i CB9	Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè toca / frega físicament amb la bobina		RE2			DI1	
	Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent		RE2			DI1	
CB10 i CB11	La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat.					DI1	
	La intensitat del corrent elèctric que s'indueix és sempre igual					DI4	
CB12	La intensitat depèn de la longitud de la bobina (i no del nombre d'espines)		RE2				
	La segona bobina serveix per afegir un segon imant	EC2					
	La bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines.					DI4	

Taula 43. Relació entre les explicacions conceptuals errònies i les dificultats de lectura identificades en la Secció III (per la simulació B).

13.2. Discussió dels resultats

El conjunt d'explicacions conceptuals errònies identificades en la Taula 40 i la Taula 41 ens mostren com la representació de conceptes científics mitjançant una simulació no porta automàticament a una comprensió canònica d'aquests conceptes per part dels participants, ja que sinó això s'hauria traduït en l'absència d'explicacions com les que hem identificat. A continuació presentem la discussió sobre les 21 explicacions conceptuals errònies identificades respecte la simulació A i les 19 respecte la simulació B, centrant-nos no només en les explicacions en sí sinó en els mecanismes de raonament implícits identificats. Abans de seguir, però, cal advertir que l'anàlisi d'aquestes explicacions errònies es basa en respostes dels participants com les que hem mostrat al llarg del capítol anterior, que en molts casos són molt curtes i ambigües, amb la limitació que això comporta per a l'anàlisi.

13.2.1. Respecte les explicacions conceptuals errònies

En analitzar i classificar aquestes diferents explicacions donades pels estudiants, les hem pogut associar a gairebé totes les relacions de les llistes CA[i] i CB[i]. Per tant, podem afirmar que les dificultats de lectura porten a explicacions errònies de molts conceptes diferents (des del significat de les partícules que es desprenen fins al descens de temperatura, i des del significat de les línies de camp fins a la relació entre la bombeta i el sensor), els quals en molts casos no són els conceptes marginals sinó conceptes clau sobre els que s'edifica la simulació. En aquest sentit, com ja hem esmentat en el capítol 11, hem anomenat les explicacions com "errònies" malgrat la discussió en la literatura sobre el terme associat a les concepcions alternatives / espontànies / errònies (Gunstone, 1989; Pozo i Gómez, 1998), ja que volíem explicitar que són errònies en tant que difereixen de les proposicions CA[i] i CB[i] definides en el capítol 6.

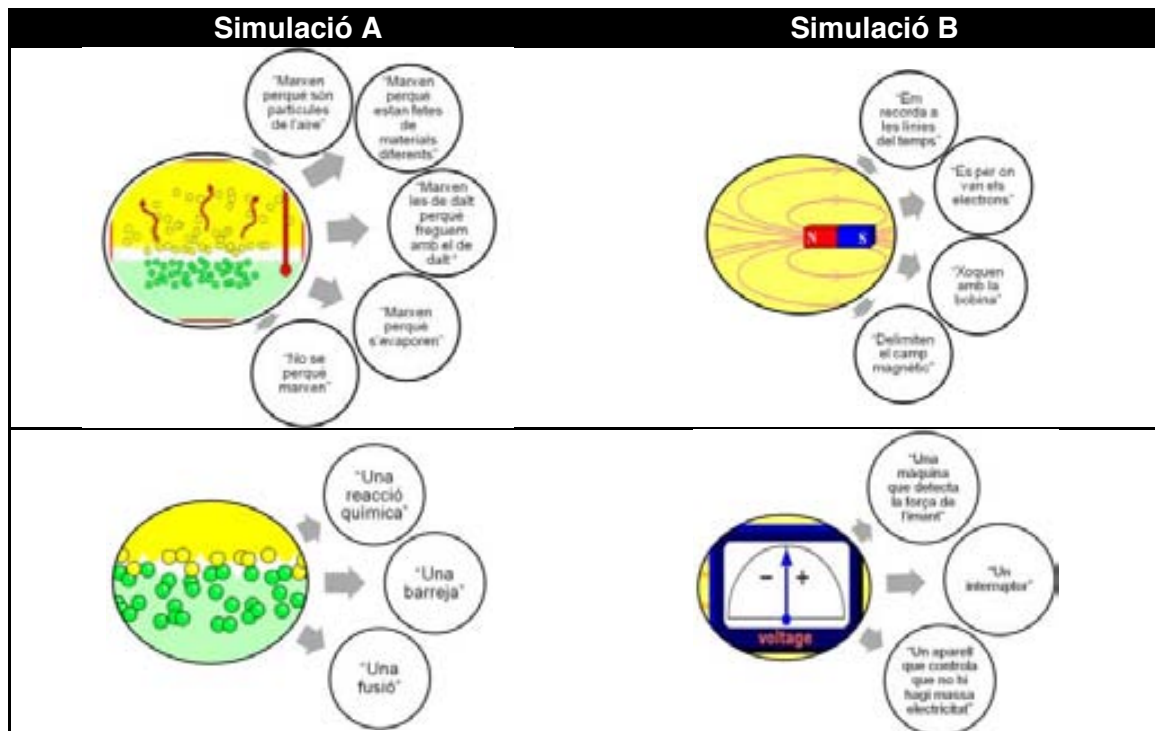
Recurrència en les explicacions conceptuals errònies

Alhora, és important destacar que tot i que el nombre de participants és molt reduït (14 entrevistes i 9 intervencions del RE VIR) moltes de les explicacions conceptuals errònies han estat identificades en 2 o més estudiants, concretament en 12 de les explicacions conceptuals errònies de la simulació A (57%) i en 8 de les 19 explicacions conceptuals errònies de la simulació B (42%). Aquestes dades, com discutirem en l'apartat 15.1, Secció V, ens permetran argumentar i justificar la validesa de la recerca. Per la simulació A cal destacar l'explicació "*El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant*" que apareix fins a 4 participants, i que contrasta amb l'explicació canònica que donen altres participants, basada en la idea de "*primer la temperatura baixa més ràpid i després més lentament*". També cal destacar, tot i que com hem dit no respon a una explicació sinó a una falta d'explicació conceptual, el fet que la majoria de participants no arriben a copsar la idea de la irregularitat mesoscòpica, i per tant *de facto* es tracta d'un contingut de la simulació inexistent pels participants. Alhora, pel que fa a la simulació B, l'explicació conceptual més repetida és que "*La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat*", degut a les constants referències a "*on està l'imant*" i no a "*com es mou l'imant*". Ara bé, encara que unes explicacions apareguin més vegades que altres, com ja hem argumentat en la discussió dels resultats de la Secció III (apartat 10.4) aquests resultats només demostren l'existència d'explicacions errònies, no la seva prevalència.

Varietat en les explicacions

Una altra idea important que extraiem de l'anàlisi de les explicacions conceptuals errònies dels participants és la varietat d'explicacions que els participants donen, que mostra com en alguns casos una mateixa representació admet moltes interpretacions diferents. Tenint en compte la premissa que una simulació pretén comunicar uns conceptes determinats i que, en canvi, diferents lectors interpreten el seu significat de forma diferent, podem considerar que el procés comunicatiu que es dona en la lectura de simulacions és molt sovint un procés divergent.

Així passa, per exemple, en la lectura de representacions darrera de les quals hi ha conceptes científics que els participants han d'interpretar a nivell semàntic. Com que l'assignació de significat no és canònica, en les explicacions dels lectors apareix una gran varietat d'explicacions alternatives, i altres vegades, no donen cap interpretació. En la Taula 44 hem volgut expressar diferents casos on un mateix element visual és interpretat de forma divergent per diferents participants.



Taula 44. Exemples d'explicacions alternatives del significat científic d'un element visual de la representació.

En altres casos, la varietat d'explicacions que els estudiants donen a partir de la interpretació de la representació també inclou models explicatius alternatius al model científic que es vol representar. Per exemple, en la Figura 157 mostrem fins a quatre explicacions alternatives a la inducció magnètica, totes relacionades amb la idea d'un contacte físic entre imant i bobina, per cadascuna amb matisos diferents.

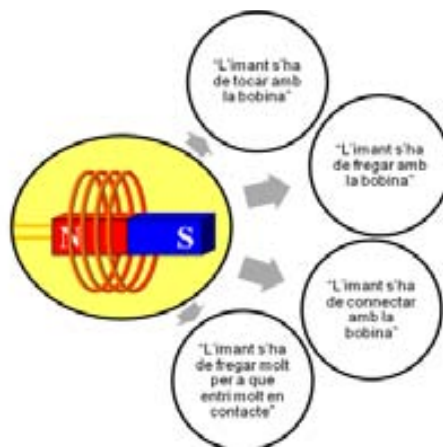


Figura 157. Exemples d'explicacions alternatives a la inducció electromagnètica.

Inconsistència de les explicacions

En paral·lel a haver trobat que les explicacions són molt variables, en alguns casos també hem vist que aquestes explicacions fetes pels estudiants són altament inconsistentes. Per exemple, quan l'estudiant PB4 afirma que la il·luminació de la bombeta només es produeix amb voltatge positiu però en canvi com amb el sensor marcant (-) la bombeta s'il·lumina, acaba dient que *"Bueno, ahí ha cambiado, pero normalmente va cap a aquest costat"*, justificant la inconsistència de la seva explicació com si fos un cas particular, una excepció, en comptes de reconèixer que la explicació que estava fent es contradia amb el que apareixia per pantalla. Un altre exemple d'inconsistència el trobem en el fet que alguns participants tot i veure que amb l'imant quiet la bombeta no s'il·lumina (per més que l'imant toqui la bobina), segueixen afirmant que la connexió imant - bobina produeix corrent, encara que aquesta afirmació sigui inconsistent amb el que apareix per pantalla. Fins i tot, el participant PB7 es refereix al gir de bobina, quan la bobina és un element estàtic en la representació.

Ahora, cal remarcar que les explicacions identificades poden ser contradictòries no només amb el que apareix per pantalla, sinó també amb el que els mateixos participants expliquen immediatament abans o després. Per exemple, la participant PA4 en un interval curt de temps parla que les partícules representen una *"fusió"*, i tot seguit una *"evaporació"*.

Les situacions com aquestes identificades en les entrevistes ens permeten concloure que es pot observar com els estudiants no tenen perquè superar lectura errònia pel simple fet de trobar una inconsistència en la explicació que donen, doncs en la majoria dels casos poden conviure amb elles sense que els generi cap tipus de contradicció. De fet, entenem que aquesta idea de incoherència i inconsistència ha estat molt identificada en les concepcions alternatives (Driver et al., 1994) i també en la idea de *P-prim* definida per diSessa (1983), i han estat identificades com una característica de les explicacions científiques dels estudiants (Dega et al., 2013; Hammer, 1996; Micheli i Heron, 2012; Pintó, Couso, i Gutierrez, 2005). En aquest sentit, considerem que aquest resultat entronca amb l'afirmació de Pozo, Sanz, Gómez, i Limón (1991):

"De los rasgos más característicos de las ideas científicas de los alumnos, entendidas como parte componente de sus teorías implícitas son: no buscan crear leyes sino dar respuestas, no busca perfeccionar la teoría sobre los objetos sino explicar y/o predecir la conducta de los objetos, su carácter no es

deductivo y falsacionista sino inductivas y verificacionistas, un dato falso no tiene gran efecto sobre su utilidad.”

D'altra banda, com hem discutit en l'apartat 15.1, aquesta inconsistència també ha estat un factor limitant de l'anàlisi de dades, ja que dificulta encara més el provar d'esbrinar què està entenent cada participant en cada moment.

L'evolució de les explicacions dels estudiants al llarg de l'entrevista

Un altre aspecte a destacar de les explicacions és la seva evolució al llarg de l'entrevista. Tot i que no respon de forma específica als objectius de recerca marcats, hem considerat com prou rellevants com per destacar-ho de cara a les implicacions. Així, en molts dels fragments d'entrevista mostrats en el capítol 12, però sobretot en els fragments que hem mostrat prèviament en major detall en el capítol 9 (Secció III) es pot veure com a través de les indicacions que els estudiants van rebent al llarg de l'entrevista, les explicacions dels estudiants canvien. De fet, la interacció entrevistador – entrevistat està farcida d'intervencions en que s'assenyalen aspectes particulars de la imatge, s'ajuda als estudiants a identificar o a relacionar elements visuals, se'ls fa veure les contradiccions del que estan dient. Fruit d'això, la lectura que els participants fan (i per tant, l'explicació que donen) al final de l'entrevista dista, en gairebé tots els casos, de les explicacions que feien al principi, doncs en paral·lel a haver identificat les dificultats, se'ls ha ajudat a llegir la imatge i millorar molt la seva comprensió.

Com hem dit, aquest no és pròpiament un resultat de la recerca, ja que en els objectius que ens vam proposar assolir no vam incloure l'anàlisi de com evolucionen les explicacions dels estudiants quan reben un ajut instruccional extern. Tot i així, considerem que és un aspecte a destacar que es desprèn de l'anàlisi, i que, en canvi, sí que té implicacions directes a l'hora de concebre la lectura crítica d'imatges a l'aula, qüestió que discutirem en el proper capítol 16 (Secció V).

Relació entre les explicacions i les concepcions alternatives identificades en la literatura

Una altra que qüestió que ha aparegut al llarg de l'anàlisi del capítol 12 és l'estreta relació que hi ha entre les explicacions dels estudiants i les concepcions alternatives o espontànies identificades en la literatura. Un nombre considerable de les explicacions fetes pels estudiants o bé coincideixen amb resultats d'altres recerques en el camp de les concepcions alternatives de continguts científics específics, o bé tenen una gran similitud amb els resultats de la literatura, com mostrem en alguns exemples de la Taula 45.

Simulació	Dificultat de lectura	Explicació errònia	Literatura on apareix
A	RM1	Les partícules estan incrustades en la matèria contínua	(Griffiths i Preston, 1992; Renstrom, Andersson, i Marton, 1990)
A	IS1	La força de fregament només afecta al llibre que es mou	(AAAS, 2013; Brown, 1989)
B	DI1	Per produir electricitat, cal connectar l'imant a la bobina	(Guisasola et al., 2013)
B	RM2	La bombeta només s'il·lumina amb el voltatge positiu	(Holton i Verma, 2011)

Taula 45. Exemples d'explicacions errònies identificades i el seu símil amb les concepcions espontànies assenyalades en la literatura.

Aquesta semblança entre explicacions errònies identificades en aquesta i en altres recerques ens obliga a preguntar-nos si veritablement podem dir que darrera de la explicació errònia hi ha una dificultat de lectura, o si pel contrari, darrera de les explicacions conceptuals errònies hi ha tan sols un problema de concepcions espontànies que són independents del procés de lectura. Al nostre entendre, la qüestió rau en que no es pot parlar de causalitat entre explicació errònia i concepció espontània identificada en la literatura, però en canvi, sí que podem dir que les simulacions en molts dels casos no permeten que a través de la visualització la concepció espontània de la que parteix el lector es superi.

Relació entre les explicacions i les dificultats de lectura identificades en la Secció III

Finalment, la Taula 42 i la Taula 43 també ens informen de la relació que hem establert entre dificultats de lectura i explicacions conceptuals errònies dels participants. En primer lloc hem de recordar que no vam identificar explicacions conceptuals errònies en totes les situacions on apareixen dificultats de lectura (veure apartat 10.1 de la Secció III), ja que com hem dit en el capítol 11, en vam descartar una part considerable. Concretament, 12 dels 33 episodis amb dificultats de lectura de la simulació A (identificant explicacions en els altres 21), i en 8 dels 27 episodis amb dificultats de lectura de la simulació B (identificant explicacions en els altres 19). Tant en la Taula 42 com en la Taula 43 apareixen dificultats corresponents a totes les perspectives d'anàlisi EC, RE, SEM, RM, DI i NC (i també IS per la simulació A), cosa que mostra com totes les perspectives discutides en la Secció III tenen algun tipus o altre d'afectació en la comprensió conceptual. En el cas de la simulació A, les dificultats que intervenen en més explicacions conceptuals errònies són les corresponents a la perspectiva RM, ja que apareixen explicacions relacionades amb la dificultat per integrar adequadament informació redundant (RM1), amb la dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2) i també amb la dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3). En aquesta mateixa Taula 42 també tenen molta presència les dificultats associades a les perspectives EC i RE, possiblement a causa de la pròpia naturalesa de la representació (estructura compositiva complexa amb elements superposats, i molts elements visuals que fan que al lector li costi discriminar la informació més o menys rellevant). En la simulació B, les dificultats que intervenen en més explicacions conceptuals errònies són les de la perspectiva DI (ja que la simulació conté molts elements dinàmics) i les de la perspectiva SEM (ja que la simulació compta amb la presència de molts elements amb un significat semàntic científic molt determinat que alguns participants desconeixen). Tot i així, per la simulació B també apareixen fins a 4 explicacions relacionades o bé amb la dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2) o bé amb la dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3).

13.2.2. Respecte els mecanismes de raonaments implícits

En l'anàlisi de les explicacions conceptuals errònies presentada en el capítol 12 hem assenyalat diferents mecanismes de raonament espontani que, al nostre entendre, estan darrera de moltes de les explicacions fetes pels participants. Tot i que diem que els mecanismes de raonament espontani esdevenen denominador comú de moltes de les explicacions conceptuals errònies identificades en l'anàlisi, cal ser molt curosos en referir-nos a aquests com "la causa" de les dificultats de lectura i de les explicacions errònies que els participants donen. En aquest sentit, Meltzer (2007) assenjala que:

“Detecting presence of such difficulties is much easier than uncovering their causes (i.e., the specific student reasoning difficulties and behaviours)”.

Tot i així, entenem que assenyalar aquests mecanismes i relacionar-los (com a mínim parcialment) amb les dificultats de lectura ens permet enriquir la discussió dels resultats. Per interpretar aquests mecanismes ens basem en la premissa que són mecanismes cognitius de reducció de la càrrega cognitiva (Paas et al., 2004; Schnotz, 2005; Sweller et al., 1998) que es produeix durant la reconfiguració de la informació percebuda en la lectura (Winn, 1994; Kulhavy et al 1985), i també assumim la seva estreta relació amb el “sentit comú” que moltes vegades es contraposa al “pensament científic” (Pozo i Gómez, 1998; Viennot, 1996), i també considerem que tenen una estreta relació amb els “primitius fenomenològics” (p-prims) subjacents en moltes de les explicacions i raonaments erronis dels estudiants (diSessa, 1983). Finalment també ens basem en la idea de “intuïcions” de la lectura de representacions gràfiques construïdes a partir de l’experiència quotidiana (Leinhardt et al., 1990).

Mecanismes de simplificació

En primer lloc, alguns dels mecanismes implícits de raonament identificats que segueixen els participants consisteixen en reduir i simplificar el volum d’informació representada, la majoria de vegades dinàmica. Podem considerar aquest raonament similar al que expressen Driver, Squires, Rushworth i Wood-Robinson (1994) respecte a la percepció del moviment:

“Students do not see motion as belonging to a number of different categories – at rest, constant velocity, speeding up, slowing down, changing direction, etc. Instead, they see motion as moving or not moving”.

Un cas de simplificació el trobem en la linealització que fan la majoria d’estudiants en la lectura del descens de temperatura (VA3d3). Tot i que la representació de la simulació A apareix un descens exponencial, els estudiants perceben i interpreten aquest descens com a lineal (veure discussió “Explicacions errònies relacionades amb CA7” de l’apartat 12.1), i entenem que això és degut a que per pensar en termes del descens de la temperatura “constant” és més simple que en termes del descens de temperatura “variable”. García (2005) parla també d’aquesta linealització, i la defineix de la següent manera:

“Esta preconcepción se refiere a la tendencia a interpretar las gráficas como si fuesen todas de tipo lineal (Lovell 1971; Karplus 1979; Matz 1982; Dreyfus y Eisenberg 1983, Markovitz, Eylon y Bruckheimer 1983, 1986; Zaslavsky 1987).”

Un segon mecanisme de simplificació identificat és el pensar en termes del “estat” i no dels “processos” del sistema representat, que trobem en totes dues simulacions. Per la simulació A trobem que alguns participants parlen de “si els llibres es toquen / no es toquen” com a causa de l’escalfament, en comptes de parlar de “si els llibres es freguen / no es freguen”. El mateix passa per la simulació B, on la qüestió per alguns participants és “si l’imant i la bobina es toquen / no es toquen” i no “si l’imant es mou respecte la bobina”. En alguns casos, fins i tot expliquen la generació d’electricitat pel contacte entre la bobina i l’imant sense copsar que si l’imant està quiet la bombeta no s’encén. Aquest mateix raonament el trobem en els resultats de Gustafson i Mahaffy (2012), on els estudiants es centren en explicar la posició de les partícules i no el seu moviment.

Un tercer altre mecanisme de raonament per simplificació és que trobem en els participants que llegeixen la transformació d’una característica visual (Lowe, 2003) que

es pot representar amb diferents graus d'intensitat (per exemple l'imant de la simulació B movent-se més o menys ràpid, la bombeta movent-se amb major o menor intensitat, les partícules de la simulació A vibrant amb major intensitat, etc.), i la interpretació es limita al “*si passa / no passa*”, però no en termes de si passa amb més o menys intensitat. És a dir, és la idea que Driver et al (1994) expressa com “*they see motion moving or not moving*”. Alhora, aquest mecanisme de “discretització” apareix també en la literatura com la tendència dels estudiants a interpretar dades de naturalesa contínua de manera discreta (Leinhardt et al., 1990).

Mecanismes d'accessibilitat

En segon lloc, un altre conjunt de mecanismes de raonament identificat el conformen els mecanismes que hem anomenat d'accessibilitat al coneixement previ, ja que els participants el que fan és substituir la informació de la simulació per altres coneixements previs que tenen més accessibles en la seva memòria a llarg termini, com proposen Pozo et al. (1991):

“Una regla sería la accesibilidad, correspondiente al heurístico del mismo nombre enunciado por Tversky y Kahneman (1974). De acuerdo con esta regla, dado un efecto tenderemos a atribuirlo a aquella causa que resulte más accesible a nuestra memoria, es decir, que recuperemos con mayor facilidad.”

En no poder interpretar el significat d'una simulació o d'una part de la simulació, els participants accedeixen a idees ja conegudes, i associen a la simulació idees que provenen d'altres camps. En alguns casos, aquest raonament està relacionat amb la semblança visual entre el que hi ha representat i una altra representació mental accessible en la memòria del participant, és a dir, que ens referim a l'homonímia que ja hem discutit en el capítol 9 (Pintó i Ametller, 2002), tot i que altres vegades es substitueixen els fenòmens representats per altres fenòmens accessibles pel lector sense una semblança aparent. De fet, podem considerar aquest mecanisme semblant al que es produeix quan en la lectura del text escrit un lector substitueix una paraula per una altra que coneix amb la que hi ha una certa semblança gràfica més accessible pel lector, i també la tendència a recórrer als coneixements generals dels que disposa el lector en comptes de la informació extreta d'un text (Genover et al., 1998).

Al nostre entendre, en aquest mecanisme de raonament els participants substitueixen el fenomen presentat en la simulació per un fenomen conegut accessible en la seva memòria, que normalment han estudiat prèviament a classe. En aquest sentit, cal destacar que les dues participants provinents d'un mateix institut (PA4 i PA8) havien estudiat els canvis d'estat poc abans de l'entrevista, i que els participants d'un altre institut (PB1, PB4 i PB6) havien estudiat feia poc els circuits elèctrics, cosa que podem relacionar amb els diferents esments que fan aquests participants a la idea de “interruptor”, o de que les línies de camp representen “*per on van els electrons*”. De fet, per Pozo et al. (1991) el coneixement més accessible és el que s'ha estudiat a l'escola més proper temporalment. Altres vegades, però, els estudiants no accedeixen a coneixements previs científics, sinó simplement al llenguatge comú com ara “*els àtoms estan com més locos*” o “*es mouen més a la seva bola*”, donant una resposta antropomòrfica (de comportament humà) (Griffiths i Preston, 1992).

Finalment, en algunes situacions els participants accedeixen a altres models explicatius amb els que substitueixen el model representat. És el cas de la substitució del model termodinàmic de temperatura (com ara de “*tendència a l'equilibri tèrmic*” o de “*transferències de calor amb l'entorn*”) per un model mecànic que explica com puja i baixa el termòmetre com si el mercuri fos un cos mecànic sotmès a les lleis de la mecànica (impuls, gravetat, etc.): “*Sí, com que l'impuls primer és molt fort després hi*

ha una baixada forta perquè va amb la gravetat, bueno, gravetat no... amb l'impuls, saps? (...) Que jo crec que com puja amb molt impuls, baixa... com és queda aquí baixa amb més impuls i llavors ja va parant [Quota "3:36"]. Trobem una altra substitució del model de fregament en termes de treball per un model de transferència de calor entre els cossos per contacte tèrmic " *[Al moure el ratolí] els estàs ajuntant, no? Que els estàs unint. (...) cadascú tindrà una temperatura determinada i al fusionar-ho, llavors, augmenta [la temperatura].*" [Quota "4:22"]. Finalment, també trobem una substitució del model d'inducció electromagnètica per un model elèctric-mecànic, que utilitza la idea " *al entrar en contacte [l'imatge] amb una bobina hi ha com un petit xocs amb electrons o algo i genera electricitat (...)*", que coincideix amb el raonament espontani de que la fricció causa electricitat (Driver et al., 1994).

Mecanismes de reorganització

Considerem que un tercer conjunt de mecanismes de raonament es donen quan els participants interpreten la simulació associant de forma errònia uns elements visuals amb uns altres, generant diferent tipus de causalitats i de relacions errònies. Aquest és el cas que hem considerat en les associacions que alguns estudiants fan per contigüitat espacial, és a dir, quan s'associen a nivell conceptual dos elements que són visualment propers (Pozo, 1987). És el cas, per exemple, dels estudiants que barregen l'explicació de la vibració de les partícules amb el despreniment d'altres partícules, ja que ambdues representacions es representen a través del mateix conjunt de partícules. El mateix passa en la simulació B, quan es relaciona la il·luminació de la bombeta amb la línia de camp que passa just per sobre en aquell moment, construint una causa-efecte entre ambdues representacions.

En altres casos, ens hem trobat mecanismes de reorganització de la informació de la simulació, en el que els participants assignen causalitats inverses. El cas més clar el trobem en la relació que alguns participants estableixen entre la temperatura representada a través del termòmetre i la vibració de les partícules, segons els quals les partícules vibren perquè s'escalfen, com hem expressat en el capítol 12 amb la relació " *Fregament macroscòpic -> Escalfament -> Augmenta la vibració*". Finalment, també hem identificat la seqüencialització de la informació de la simulació (*moviment de l'imatge -> moviment de l'agulla del sensor -> il·luminació de la bombeta*). No només es tracta, com hem dit abans, d'una concepció alternativa comú sobre electricitat (Shipstone, 1984) sinó d'un mecanisme de raonament que apareix tant amb circuits elèctrics com amb altres fenòmens físics (Closset, 1983; Viennot, 1996).

Mecanismes d'eliminació d'informació

En darrer lloc, un darrer mecanisme que anomenem "d'eliminació" l'hem identificat en algunes de les explicacions conceptuals errònies, i també en el que anteriorment hem anomenat com "falta d'explicació conceptual". En qualsevol dels dos casos, aquest mecanisme es dona quan la informació de la simulació queda eliminada de l'explicació, i per tant, *de facto* es converteix en una informació inexistente, com si directament no aparegués en la simulació.

En alguns casos aquesta eliminació d'informació és inconscient i prové de no percebre pròpiament la informació que la simulació pretén transmetre, com succeeix amb els participants que no identifiquen la disposició irregular de les partícules i aquesta passa desapercibuda per la majoria de participants. En altres casos els participants sí perceben els elements visuals però no estableixen cap relació entre ells (com succeeix amb els participants que no estableixen cap relació entre vibració de les partícules i temperatura), de manera que hi ha una part de la informació representada que queda igualment eliminada de l'explicació dels participants. En aquest cas, la idea defensada

per Ainsworth (2006) que les representacions múltiples permeten una comprensió més profunda dels conceptes no es dona. Finalment, en altres casos, aquesta eliminació d'informació és conscient i explícita, i és la resposta a la falta de coneixements previs per interpretar alguna informació. És el cas d'explicacions com “és que no se perquè desapareixen” o “això no se que vol dir”.

Al eliminar part de la informació, entenem que els participants només poden comprendre parcialment la simulació. Fins i tot en alguns casos entenem que es pot donar una comprensió d'elements aïllats que no recullen la idea central de la simulació, com és el cas de la simulació A amb els participants que no identifiquen els llibres in només interpreten “dos conjunts de partícules” sense estar entenent que representen.

Aquests quatre tipus de mecanismes de raonament identificats poden expressar-se de forma resumida en la Taula 46:

Tipus de mecanismes	Exemples
Simplificació	Linealització
	Processos -> Estats
	Discretització
Accessibilitat	Accessibilitat a termes coneguts
	Accessibilitat a altres conceptes
	Accessibilitat a altres models
Reorganització	Associació per contigüitat
	Causalitat inversa
	Seqüencialització
Eliminació *Explícita o implícita	Eliminació de conceptes
	Eliminació de relacions

Taula 46. Mecanismes de raonament espontani.

Finalment, també podem representar el llistat conjunt d'explicacions conceptuals errònies de la Taula 40 i la Taula 41 indicant en cada cas quin tipus de mecanisme considerem que es dona. Cal tenir en compte que en aquesta discussió no hem inclòs les explicacions conceptuals errònies de l'apartat 12.1 que provenen de la lectura literal d'incorreccions de la simulació A (IS). Hem descartat aquestes explicacions ja que tot i que darrera hi pugui haver mecanismes de raonaments implícits, la principal problemàtica associada que tenen parteix de la pròpia simulació i no del raonament que pugui fer el lector al respecte que, en tot cas, es limita a interpretar de forma literal la simulació. En canvi, sí que hem inclòs els casos de falta d'explicació conceptual (representats en gris fosc) que evidentment corresponen a mecanismes d'eliminació d'informació.

Explicació conceptual errònia	Mecanisme de raonament
L'escalfament es produeix pel simple contacte entre superfícies i no pel fregament entre aquestes superfícies.	Simplificació
Les partícules són un sistema aïllat, no pertanyen als llibres.	Eliminació
La interacció entre les partícules és una reacció química	Reorganització
La interacció entre les partícules és un canvi d'estat	Accessibilitat
La interacció entre les partícules és una barreja	---
* No s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura del sistema*	Eliminació
Les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura	Reorganització
El refredament es produeix per la separació de les superfícies en contacte, no per la fi del fregament o per la interacció amb l'entorn	Simplificació

Les explicacions conceptuals dels estudiants associades a les dificultats de lectura. **Secció IV**

El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant	Simplificació
El refredament de les superfícies triga uns instants a començar	-----
Les partícules que marxen són partícules de l'aire	Accessibilitat
Es produeix una evaporació del material	Accessibilitat
Només marxen les de dalt perquè corresponen a un material més tou	-----
Marxen els de dalt perquè fas la força a els de dalt	-----
La disposició irregular de les partícules no vol dir res	Eliminació
No s'arriba a copsar la idea de la irregularitat mesoscòpica	Eliminació
Les superfícies són irregulars degut a la forma de les partícules	Accessibilitat
Les partícules estan concentrades al centre perquè s'atrauen.	Accessibilitat
Les partícules estan concentrades al centre perquè la resta de partícules se n'han anat.	Reorganització
El fons és "una membrana on es situen les partícules".	Accessibilitat
El fons és "un altre material".	Accessibilitat
El sistema són elements connectats (no un circuit sencer)	Eliminació
Per cada bobina toca un imant i/o una bombeta	Reorganització
El sistema és un circuit toroidal per l'imant	Reorganització
La bombeta s'il·lumina quan entra dins el camp magnètic.	Reorganització
El sensor és un interruptor que s'obre i es tanca.	Accessibilitat
El sensor és un aparell que controla l'excés de corrent.	Accessibilitat
El sensor és un aparell que mesura la força de l'imant.	Reorganització
El corrent es desplaça de forma seqüencial pels elements del circuit.	Reorganització
La bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+).	Reorganització
Les línies de camp representen el corrent elèctric / electrons	Accessibilitat
Les línies de camp delimiten el camp magnètic	Reorganització
Les línies de camp "xoquen amb la bobina".	Accessibilitat
No s'arriben a interpretar les línies de camp	Eliminació
Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè toca / frega físicament amb la bobina	Accessibilitat
Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent	Accessibilitat
La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat.	Simplificació
La intensitat del corrent elèctric que s'indueix és sempre igual	Simplificació
La intensitat depèn de la longitud de la bobina (i no del nombre d'espores) perquè l'imant triga més en recórrer-la.	Reorganització
La segona bobina serveix per afegir un segon imant (en comptes de per comparar la intensitat que s'indueix en cada bobina).	Reorganització
La bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines.	Simplificació

Taula 47. Els mecanismes de raonament associats a cada explicació conceptual errònia.

SECCIÓ V: Resultats, conclusions i implicacions

En la secció V presentarem una compilació des resultats de recerca obtinguts en la secció II, III i IV, i presentarem les conclusions i implicacions d'aquesta recerca.

Aquesta secció consta dels següents capítols:

- Capítol 14: Resultats conjunts de les preguntes de recerca P1, P2 i P3
- Capítol 15: Conclusions de la recerca
- Capítol 16: Implicacions de la recerca

Capítol 14. Resultats conjunts de les preguntes de recerca P1, P2 i P3

L'interès inicial per conèixer la lectura que fan els estudiants d'ESO de les simulacions especialment dissenyades per comunicar conceptes científics, i per tant, per conèixer com funcionen les simulacions com a objectes comunicatius en un context escolar ens va portar a definir lectura d'imatges³⁵, lectura canònica d'imatges³⁶, requeriment per a la lectura d'imatges³⁷ i dificultat en la lectura d'imatges³⁸. Alhora, vam assumir les premisses basades en la literatura que tota simulació educativa de física serveix per representar un conjunt de conceptes científics; que per interpretar aquests conceptes comunicats cal una lectura canònica que sovint no els estudiants de secundària (i per tant, novells en el contingut científic representat) no fan en la seva totalitat; i que si hi apareixen dificultats de lectura, l'explicació que aquests estudiants puguin donar sobre dels conceptes representats divergirà en major o menor mesura amb la explicació que hauria donat si la lectura hagués sigut canònica. A partir d'aquestes premisses i definicions, vam proposar tres preguntes de recerca que vam formular de la següent manera:

<p>P1. Com són les simulacions A i B des del punt de vista visual, quins conceptes apareixen representats i quins requeriments de lectura calen per interpretar-les?</p>	<p>P2. Amb quines dificultats de lectura es troben els estudiants de 3r i 4t d'ESO al llegir les representacions visuals de les simulacions A i B?</p>	<p>P3. Quines són les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats) que donen aquests estudiants quan es troben amb les dificultats de lectura identificades?</p>
---	---	--

Per respondre a la pregunta **P1** al llarg de la Secció II, hem definit el conjunt de sistemes conceptuals de les simulacions A i B (que apareixen resumits en els mapes conceptuals de Figura 66 i en la Figura 90 dels apartats 6.1 i 6.4 respectivament), i hem identificat els requeriments de lectura associats a cadascun dels conceptes (que apareixen resumits en la Taula 9 i Taula 10 de l'apartat 7.1). Seguidament, per respondre a la pregunta **P2** en la Secció III hem analitzat les diferents entrevistes fetes als participants, cosa que ens ha permès identificar una àmplia gamma de dificultats de lectura (que apareixen resumides en la Taula 31 de l'apartat 10.1). Finalment, per respondre a la pregunta **P3** en la Secció IV hem analitzat les explicacions conceptuals errònies associades a cada dificultat de lectura (que apareixen resumides en la Taula 40 i la Taula 41 de l'apartat 13.1), i també hem classificat els mecanismes de raonament implícits en cada explicació (veure apartat 14.3).

Si ens basem en les premisses de la recerca segons les quals (1) representar una idea específica implica una representació específica (Ametller, 2009); (2) cada representació específica implica uns requeriments específics de lectura (Ametller i Pintó, 2002; Braga et al., 2012); (3) en el procés de lectura poden aparèixer dificultats de lectura (Ametller i Pintó, 2002; Bourcheix i Lowe, 2010; Carolus, 2009; Colin et al., 2002; Pintó i Ametller, 2002; Jiménez i Perales, 2002; Jiménez, 1998; Perales i Jiménez, 2004; Sierra, 2005; Ploetzner et al., 2006; Stelzer et al., 2009; Trinidad, Filhais, i Almeida, 2002); (4) que aquestes dificultats afecten a la comprensió i per tant a les explicacions que els participants donen; i (5) que aquestes explicacions porten també implícits mecanismes de raonament espontani (Pozo, 1987; Viennot, 1996); podem construir la següent sèrie lògica que, tot i ser simplificada, ens permet integrar "pas a pas" les diferents anàlisis fetes en aquest treball:

³⁵ Veure introducció del capítol 2.

³⁶ Veure introducció del capítol 2.

³⁷ Veure introducció del capítol 3.

³⁸ Veure introducció del capítol 3.

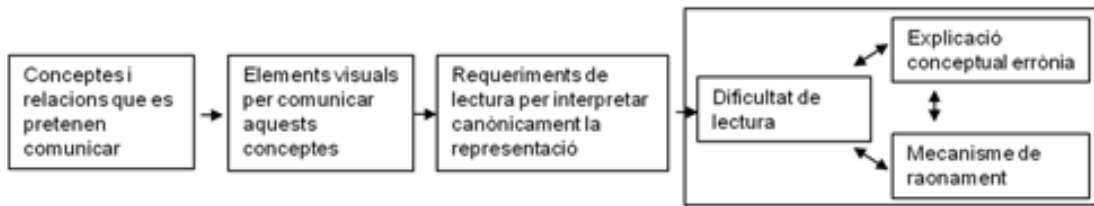



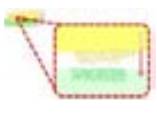




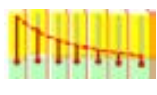

Figura 158. Seqüència lògica basada en les premisses de treball que ens permet presentar de forma conjunta els resultats de les preguntes P1, P2 i P3.






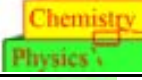

Així, podem utilitzar aquesta seqüència lògica per presentar de forma conjunta els resultats obtinguts en cadascuna de les Seccions II, III i IV, i que responen respectivament les preguntes de recerca P1, P2 i P3.

<p>P1. Com són les simulacions A i B des del punt de vista visual, quins conceptes apareixen representats i quins requeriments de lectura calen per interpretar-les?</p>					
	<i>Elements visuals</i>	←	<p>P2. Amb quines dificultats de lectura es troben els estudiants de 3r i 4t d'ESO al llegir les representacions visuals de les simulacions A i B?</p>		
<i>Conceptes i relacions</i>	←		<p>P3. Quines són les explicacions conceptuals errònies que donen aquests estudiants quan es troben amb les dificultats de lectura identificades?</p>		



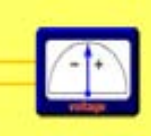

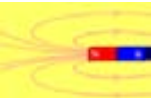
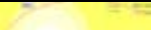
Figura 159. Relació entre les diferents columnes de les taules que presentem a continuació i les tres preguntes de la recerca.



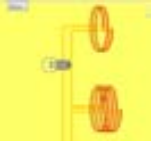
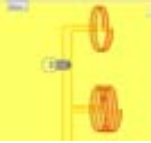
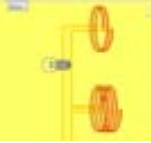
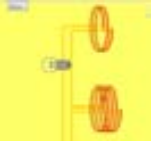
Per fer-ho hem construït la Taula 48 (per la simulació A) i la Taula 49 (per la simulació B), que combinen els resultats de la Taula 9 i Taula 10, de la Taula 31 i de la Taula 40 i la Taula 41, a través de les quals representem de forma sintètica del conjunt de resultats obtinguts al llarg de la recerca.

Conceptes i relacions que es pretenen comunicar	Elements visuals	Requeriments de lectura per interpretar canònicament la representació	Dificultat de lectura	Explicació conceptual errònia	Mecanisme de raonament
(CA1) El fregament entre superfícies produeix un augment de la temperatura de les superfícies fregades.		Donar significat al moviment del bloc groc (VA2d) i Relacionar el moviment del bloc groc (VA2d1) amb l'augment de temperatura (VA6d1)	Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (D11)	<i>L'escalfament es produeix pel simple contacte entre superfícies i no pel fregament entre aquestes superfícies.</i>	Simplificació
(CA2) El fregament macroscòpic entre superfícies s'explica microscòpicament a través de col·lisions entre partícules		Interpretar l'estructura de "zoom macro-micro" que relaciona VA1 amb el conjunt VA2-VA5	Dificultat per identificar un o més sintagmes visuals (EC1) + Dificultat per donar rellevància adient a un element visual per la seva posició (RE3)	<i>Les partícules són un sistema a llat, no pertanyen als llibres.</i>	Eliminació
(CA3) Les col·lisions entre partícules produeixen l'augment de la vibració de les partícules.		Donar significat a la variació de moviment de les partícules (VA3d1 i VA4d1) i a la seva relació de contigüitat	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1)	<i>La interacció entre les partícules és un canvi d'estat</i>	Accessibilitat
	 Les partícules es superposen lleugerament	Superar la incorrecció de la simulació	Lectura literal de la superposició entre les partícules (IS3)	<i>La interacció entre les partícules és una barreja</i>	---
(CA4 i CA8) L'augment / disminució de la temperatura de les superfícies fregades s'explica microscòpicament a través de l'augment /disminució de la vibració de les partícules.		Integrar els canvis en les representacions de la vibració de les partícules (VA3d1 i VA4d) amb els canvis en el terme (VA6d1 i VA6d2).	Dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2)	<i>"No s'estableix relació entre la vibració de les partícules i la temperatura del sistema" Les partícules vibren més a causa de que puja la temperatura</i>	Eliminació Reorganització
(CA5 i CA6) L'augment de la temperatura de les superfícies fregades provoca una diferència de temperatura amb l'entorn // La diferència de temperatura amb l'entorn provoca un refredament de les superfícies.		Incorporar a la representació un element implícit que no apareix representat: l'entorn.	Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (D11)	<i>El refredament es produeix per la separació de les superfícies en contacte, no per la fi del fregament o per la interacció amb l'entorn</i>	Simplificació
(CA7) El refredament de les superfícies es produeix a un ritme que depèn en cada moment de la diferència de temperatura amb l'entorn.		Identificar i interpretar VA6d3	Dificultat deguda a interpretar translacions no lineals com lineals (DI3)	<i>El refredament de les superfícies es produeix a un ritme constant</i>	Simplificació
	 La temperatura triga uns instants en	Superar la incorrecció de la simulació	Lectura literal del temps de retard de la temperatura (IS2)	<i>El refredament de les superfícies triga uns instants a produir-se</i>	---

		començar a baixar				
CA9. El fregament provoca un desgast de les superfícies fregades.		Distingir la vibració (VA3d1) i el desprendiment (VA3d2) de les partícules	Dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3)	*Es confon desprendiment de partícules i vibració de partícules*	Reorganització	
		Interpretar el desprendiment de les partícules (VA3d2)	Dificultat per integrar adequadament informació redundat (RM1) Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1)	<i>Les partícules que marxen són partícules de l'aire</i> <i>Es produeix una evaporació del material</i>	Accessibilitat Accessibilitat	
↳ En realitat només es desgasta el llibre groc.		Superar la incorrecció de la simulació	Lectura literal de l'asimetria entre el comportament de les partícules de dalt i de baix (IS1)	<i>Només marxen les de dalt perquè corresponen a un material més tou</i> <i>Marxen els de dalt perquè fas la força amb els de dalt</i>	---	---
CA10. Les superfícies fregades a nivell mesoscòpic tot i semblar llises són irregulars.		Identificar i interpretar el contorn VA3 quan es reinicia la simulació (VA3d3)	Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2) Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1)	<i>La disposició irregular de les partícules no vol dir res // Directament no es percep</i> <i>Les superfícies són irregulars degut a la forma de les partícules</i>	Eliminació Accessibilitat	
Altres requeriment per comprendre la doble representació de la matèria		Interpretar el contorn de les partícules (VA3 i VA4)	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals superposats (EC3)	<i>Les partícules estan concentrades al centre perquè s'atrauen.</i> <i>Les partícules estan concentrades al centre perquè la resta de partícules se n'han anat.</i>	Accessibilitat Reorganització	
		Integrar el significat de les partícules (VA3 i VA4) amb els seus respectius fons (VA2 i VA5)	Dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3)	<i>El fons és "una membrana on es situen les partícules".</i> <i>El fons és "un altre material".</i>	Accessibilitat Accessibilitat	
Altres requeriment per interpretar adequadament els elements decoratius		Interpretar les etiquetes verbals "Química" i "Física"	Dificultat per donar rellevància adient al text (RE4) per interpretar-lo com a element decoratiu (NC2)	<i>La interacció entre les partícules és una reacció química</i>	Reorganització	
		Interpretar els punts blancs que representen la brillantor	Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a una modalitat diferent al utilitzat (NC2)	<i>Els punts blancs són el núcli de l'àtom</i>	Accessibilitat	

Taula 48. Resum dels resultats de les preguntes de recerca P1, P2 i P3 per a la simulació A.

Conceptes i relacions que es pretenen comunicar	Elements visuals	Requeriments de lectura per interpretar canònicament la representació	Dificultat de lectura	Explicació conceptual errònia	Mecanisme de raonament
(CB1) El circuit elèctric està format per la bobina, la bombeta i el sensor, connectats en sèrie mitjançant fils conductor que uneixin els diferents extrems dels elements		Interpretar el sintagma format pel conjunt dels diferents elements del circuit: VB1, VB2 i VB4	Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2)	<i>El sistema són elements connectats (no un circuit sencer)</i>	Eliminació
				<i>Per cada bobina toca un imant i/o una bombeta</i>	Reorganització
				<i>El sistema és un circuit toro dal per l'imatge</i>	Reorganització
(CB2 i CB3) El circuit elèctric és un sistema que permet la circulació de corrent elèctric // Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en la brillantor de la bombeta		Interpretar la representació VB1d com la il·luminació de la bombeta	Dificultat per distingir adequadament informació diferent (RM3)	<i>La bombeta s'il·lumina quan entra dins el camp magnètic.</i>	Reorganització
(CB4) Percebem el corrent elèctric de l'interior del circuit a través dels canvis observables en el moviment l'agulla.		Donar significat del sensor (VB4) i interpretar els girs de l'agulla (VB4d1/2)	Dificultat semàntica conseqüència d'una homonímia (SEM1) Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2)	<i>El sensor és un interruptor que s'obre i es tanca.</i>	Accessibilitat
				<i>El sensor és un aparell que controla l'excés de corrent.</i>	Accessibilitat
				SEM2 i RM3 (v) <i>El sensor és un aparell que mesura la força de l'imant.</i>	Reorganització
(CB5) La intensitat de llum de la bombeta té una relació directa i simultània amb el valor absolut que marca el moviment de l'agulla (i viceversa).		Integrar la il·luminació de la bombeta (VB1d) amb els girs de l'agulla del sensor (VB4d1/2)	Dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2) + Dificultat deguda a interpretar transformacions simultànies com a successives (DI2)	<i>El corrent es desplaça de forma seqüencial pels elements del circuit.</i>	Reorganització
				Dificultat per integrar adequadament informació complementària (RM2)	<i>La bombeta només s'il·lumina quan el sensor marca (+).</i>
(CB6 i CB7) L'imant sempre provoca al seu voltant un camp magnètic // Un camp magnètic es pot representar mitjançant línies de camp		Donar significat i connectar les representacions de l'imant (VB3) i a les línies de camp (VB5)	Dificultat semàntica deguda al desconeixement per part del lector del significat d'un element visual (SEM2) Dificultat deguda a interpretar la imatge en base a un nivell de representació diferent a l'expressat (NC1)	<i>Les línies de camp representen el corrent elèctric / electrons</i>	Accessibilitat
				<i>Les línies de camp delimiten el camp magnètic</i>	Reorganització
				<i>Les línies de camp "xoquen amb la bobina".</i>	Accessibilitat
(CB8) Quan desplaçem l'imant		Relacionar la il·luminació de la	Dificultat per donar rellevància adient	<i>Apareix corrent quan l'imant "es</i>	Accessibilitat

<p>pels voltants o l'interior d'una bobina, s'indueix corrent elèctric (CB9) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre de línies de camp que travessen la bobina.</p>		<p>bombeta (VB1d) i els girs de l'agulla (VB4d1/2) amb el desplaçament de l'imant (VB3d1), i relacionar i integrar la bobina (VB2) i les línies de camp (VB5)</p>	<p>a la forma i el contorn (RE2) + Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (D11)</p>	<p><i>connecta" a la bobina perquè toca / frega físicament amb la bobina</i> <i>Apareix corrent quan l'imant "es connecta" a la bobina perquè permet el pas de corrent</i></p>	<p>Accessibilitat</p>
<p>(CB10 i CB11) La intensitat del corrent elèctric induït depèn de la distància de l'imant relativa a la bobina // La intensitat del corrent elèctric depèn de la velocitat de l'imant relativa a la bobina.</p>		<p>Relacionar la distància i la velocitat relativa bobina-imant (VB2-VB3) amb la il·luminació de la bombeta (VB1d) i els girs de l'agulla (VB4d1/2)</p>	<p>Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació (D11)</p>	<p><i>La intensitat del corrent elèctric depèn de la posició de l'imant, no de la seva velocitat.</i></p>	<p>Simplificació</p>
<p>(CB12) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.</p>		<p>Relacionar i comparar les dues bobines (VB2 i VB6)</p>	<p>Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4)</p>	<p><i>La intensitat del corrent elèctric que s'indueix és sempre igual</i></p>	<p>Simplificació</p>
<p>(CB12) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.</p>		<p>Relacionar i comparar les dues bobines (VB2 i VB6)</p>	<p>Dificultat per donar rellevància adient a la forma i el contorn (RE2)</p>	<p><i>La intensitat depèn de la longitud de la bobina (i no del nombre d'espires) perquè l'imant triga més en recórrer-la.</i></p>	<p>Reorganització</p>
<p>(CB12) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.</p>		<p>Relacionar i comparar les dues bobines (VB2 i VB6)</p>	<p>Dificultat per connectar adequadament dos sintagmes visuals en el pla (EC2)</p>	<p><i>La segona bobina serveix per afegir un segon imant (en comptes de per comparar la intensitat que s'indueix en cada bobina).</i></p>	<p>Reorganització</p>
<p>(CB12) La intensitat del corrent elèctric depèn del nombre d'espires de la bobina.</p>		<p>Relacionar i comparar les dues bobines (VB2 i VB6)</p>	<p>Dificultat per copsar el grau d'intensitat d'una transformació (DI4)</p>	<p><i>La bombeta s'il·lumina igual quan l'imant passa per les dues bobines.</i></p>	<p>Simplificació</p>

Taula 49. Resum dels resultats de les preguntes de recerca P1, P2 i P3 per a la simulació B.

Capítol 15. Conclusions de la recerca

L'anàlisi tant de les simulacions (i dels seus requeriments de lectura) com de les respostes dels estudiants de 3r i 4t d'ESO entrevistats (i de les seves dificultats de lectura i explicacions errònies) discutides en els capítols 7, 10 i 13 i expressades de forma sintètica en el capítol 14, ens ha permès conèixer com funcionen dues simulacions com a objectes comunicatius en un context didàctic, i també com els conceptes que els autors de les simulacions pretenien comunicar a través d'un disseny visual determinat s'interpreten per un conjunt d'estudiants del mateix nivell educatiu al que aquestes dues simulacions van dirigides.

En aquest capítol 15 presentem en l'apartat 15.1 algunes consideracions prèvies referents al tipus de resultats obtinguts a partir de la metodologia emprada. Tot seguit, presentem les conclusions de cadascun dels objectius **O1**, **O2** i **O3**, en forma de llistat, en els apartats 15.2, 15.3 i 15.4 respectivament.

15.1. Consideracions referents al tipus de resultats obtinguts a partir de la metodologia emprada

De la mateixa manera que en el capítol 3 hem exposat un conjunt de consideracions referents a la naturalesa de la recerca (veure apartat 3.3), en el primer punt de les conclusions volem recuperar aquestes consideracions i afegir-ne de noves, per tal d'argumentar els criteris de rigor de la metodologia qualitativa de credibilitat, aplicabilitat i consistència definits per Lincoln i Guba (1985, citats a Latorre et al., 2003) que segueix aquesta recerca.

Parlem sempre de lectura d'imatges, mai de l'aprenentatge que pugui haver-hi associat

En primer lloc, en l'apartat 3.3. hem destacat que en aquesta recerca en cap moment volíem entrar a discutir l'aprenentatge que fan els estudiants entrevistats a través de les simulacions (és a dir, a discutir què aprenen o què no aprenen quan llegeixen i interactuen amb les simulacions). Per aquest motiu hem volgut ser molt curiosos i centrar-nos només en què és el que els participants interpreten (a partir de les seves explicacions) i no de si aquesta lectura implica o no un aprenentatge, ja que l'aprenentatge és un procés molt més complex que no pas la interpretació d'una imatge que escapa de lluny la voluntat investigadora d'aquesta recerca.

Parlem sempre de l'existència de dificultats, mai de prevalència

La segona consideració important que hem assenyalat en el capítol 3 és la voluntat d'identificar l'existència de dificultats de lectura i estudiar a nivell qualitatiu la relació entre els conceptes representats i la interpretació que en fan els estudiants quan es troben amb dificultats. Per aquest motiu, tot i que en la síntesi i la discussió dels apartats fetes al final de les Seccions II, III i IV hem introduït alguns elements de discussió quantitativa (com ara taules de recompte d'ocurrències o les dades en percentatges que hem introduït en els diferents apartats de discussió dels resultats) en aquest capítol de conclusions volem deixar de banda les qüestions referides a la freqüència amb que les dificultats apareixen (és a dir, si hi ha dificultats de lectura més o menys freqüents en el conjunt d'estudiants de secundària), ja que ni la mida de la mostra ni la forma en que hem analitzat les dades ens permetrien extreure conclusions fonamentades sobre els resultats quantitativa de la recerca. Per tant, en els apartats posteriors ens centrarem a presentar les conclusions que fan referència a l'existència de requeriments, dificultats i explicacions errònies, i no a la prevalència o freqüència amb que aquests apareixen en les dades analitzades.

Perquè afirmem que el que hem identificat són dificultats de lectura?

En tercer lloc, hem advertit també en el capítol 3 de la limitació que suposa la metodologia utilitzada a l'hora d'identificar les dificultats de lectura a partir de l'anàlisi del contingut de les respostes orals que una vintena de participants van donar mentre llegien les simulacions i se'ls preguntava sobre el seu contingut científic. Per aquest mateix motiu, en l'apartat 8.3 hem reprès les consideracions metodològiques d'aquesta recollida i anàlisi de dades, i hem assenyalat aspectes com l'absència d'un context estrictament d'aula, la desitjabilitat social (Paulhus, 2002), les interferències entrevistador - estudiant (Latorre et al., 2003) i la inventiva dels estudiants (Stylianidou i Ogborn, 2002). Aquestes característiques de la recerca que hem assenyalat podrien ser considerades com a factors limitants de la fortalesa dels resultats, de la seva validesa o de la capacitat de generalització que donen. A més, també és lògic preguntar-nos si a través d'aquestes respostes el que podem identificar són realment dificultats de lectura o si pel contrari, el que trobem són expressions i explicacions dels participants poc acurades, derivades d'una excessiva "escrupolositat" a l'hora d'analitzar les dades.

Per aquest motiu, entenem que, abans d'endinsar-nos en exposar cadascuna de les conclusions referides als objectius de recerca específics, cal discutir perquè creiem que els resultats obtinguts són vàlids (és a dir, el que identifiquem són veritablement dificultats de lectura existents) i també prou generalitzables com per extreure'n conclusions (Latorre et al., 2003). Si pensem, per exemple en l'expressió que utilitzen alguns participants per explicar la generació d'electricitat en la simulació B, podem veure que en alguns casos els participants expliquen la il·luminació de la bombeta en funció de "*on està l'imant*": si l'imant "*està*" dins a la bobina, la bombeta s'il·lumina, i si l'imant "*no està*" dins la bobina, la bombeta no s'il·lumina. Recordem que a aquesta situació li hem associat una dificultat de lectura D11 (Dificultat deguda a confondre posició i moviment en una translació), i també un mecanisme de raonament basat en la simplificació (concebre els estats del sistema i no els processos representats). Ara bé, un lector crític amb aquest treball es podria preguntar si aquestes explicacions dels estudiants realment corresponen a una dificultat de lectura, o si pel contrari simplement responen a un problema terminològic (és a dir, que l'estudiant ha dit això com podria haver dit una altra cosa) o a un excés de rigor en l'anàlisi de dades (és a dir, que associar aquest tipus d'explicacions a dificultats és buscar "tres peus al gat").

Davant d'aquesta qüestió, considerem que existeixen varis motius per justificar perquè darrera del "*on està l'imant*" hi ha una dificultat de lectura:

1. En primer lloc, creiem que sí és una dificultat perquè en alguns casos implica explicacions com ara "*l'imant es connecta a la bobina*", els quals només són possibles si l'alumne pensa en la posició i no en el moviment de l'imant.
2. En segon lloc, perquè aquesta mateixa situació (és a dir, la confusió entre la posició i el moviment) també es dóna en altres participants al llegir la simulació A (veure apartat 15.1.3), cosa que reforça l'argument per considerar-ho un tipus de dificultat de lectura.
3. En tercer lloc, també ho considerem dificultat justament pel fet que altres participants fan una explicació canònica, cosa que demostra que la representació pot ser interpretada adequadament.
4. Finalment, també s'ha de considerar dificultat de lectura perquè quan a aquests participants que raonen en termes de "*on està l'imant*", quan se'ls demana que observin què passa quan l'imant roman quiet, acaben corregint la seva explicació i afirmen que "*l'imant s'ha de moure per a que la bombeta s'il·lumini*".

Aquest mateix exemple de “*on està l’imant*”, associat a la dificultat DI1 serveix per la resta de casos, i considerem que ens permet afirmar que el què hem identificat en la Secció III són dificultats de lectura d’acord amb els criteris de rigor metodològic de Lincoln i Guba (1985).

Perquè afirmem que els resultats són generalitzables?

Una darrera qüestió que assenyalen els criteris de rigor metodològic de Lincoln i Guba (1985) és l’aplicabilitat o transferibilitat dels resultats, i per aquest motiu considerem oportú discutir sobre perquè considerem que els resultats són generalitzables a altres situacions. De fet, al haver-nos centrat en analitzar les característiques i la lectura de només dues simulacions, un lector crític podria preguntar-se si amb aquesta mostra tan reduïda els resultats són generalitzables a terceres simulacions amb altres estudiants diferents als entrevistats. Davant d’aquesta qüestió, cal distingir entre els resultats concrets que fan referència als continguts específics de la simulació (i que per tant, seran difícilment transferibles a altres situacions on altres estudiants utilitzin terceres simulacions) i dels resultats independents del contingut específic, especialment les perspectives i tipologies de dificultat identificades (veure Taula 31 del capítol 10) i els mecanismes de raonament espontani associats a les explicacions conceptuals errònies (veure Taula 46 del capítol 13).

Dels resultats de la Taula 31, dos terços de les dificultats identificades s’han identificat tant en la simulació A com en la B. Els casos on això no és així (és a dir, que una dificultat només apareix en la lectura d’una de les dues simulacions) son deguts a que la simulació no permet l’existència de tals dificultats. Per exemple, la dificultat DI3 (deguda a interpretar translacions no lineals com lineals) només apareix en la lectura de la simulació A, ja que en la simulació B no hi ha cap translació no lineal que pugui ser interpretada de forma lineal. Alhora, la dificultat DI4 (deguda a confondre transformacions simultànies com a successives) només apareix en la simulació B, ja que en la simulació A no apareixen suficients elements visuals dinàmics que puguin ser interpretats de forma seqüencial.

Respecte els resultats de la Taula 46 i de la Taula 47 també podem concloure que tots quatre mecanismes de raonament (simplificació, accessibilitat, reorganització i eliminació) apareixen en la lectura de totes dues simulacions, i per tant, entenem que hem inferit patrons de mecanismes de raonament prou generals a partir d’explicacions errònies concretes com per afirmar que aquests mateixos mecanismes es podrien identificar en altres estudiants que utilitzin terceres simulacions.

Finalment, a aquests arguments referents a la generalització dels resultats hem d’afegir una darrera qüestió. Més enllà de la naturalesa exploratòria de la recerca, una part considerable dels resultats identificats esdevenen també resultats confirmatoris si els comparem amb resultats de recerques prèvies. En aquest sentit, els resultats de recerques prèvies més properes els trobem en els que es deriven del projecte STTIS (Pintó i Ametller, 2002a), especialment per aquelles dificultats que no tenen en compte la naturalesa dinàmica de la representació. Comparant les categories d’aquestes recerques prèvies amb la nostra recerca, podem concloure una semblança important en moltes de les dificultats identificades, tot i partir de representacions visuals molt diferents. Per exemple, en la recerca de Testa et al. (2002) es descriu la dificultat “*RT-Gest*” d’una manera molt similar al que nosaltres hem catalogat com RE2 (rellevància a la forma). Alhora, en la recerca de Ametller i Pintó (2002) i també de Stylianidou i Ogborn (2002) es van descriure dificultats relacionades amb la “*Compositional structure*” d’una manera molt semblant al que nosaltres hem considerat com les dificultats EC1, EC2 i EC3; les dificultats relacionades amb els “*Verbals elements*”, amb una estreta relació al que nosaltres hem anomenat dificultat RE4 o “*Integration of*

several images in one document", al que nosaltres hem anomenat RM, assumint la perspectiva de Ainsworth (2006). Aquest conjunt de resultats coincidents i d'altres que presentarem al llarg d'aquest capítol de conclusions ens permeten justificar l'aplicabilitat o transferibilitat dels resultats, assenyalat per Lincoln i Guba (1985) com un criteri fonamental de rigor metodològic.

15.2. Conclusions entorn de l'objectiu de recerca O1

El primer objectiu de recerca proposat va ser:

O1. Con i xer tant les característiques visuals de les simulacions A i B com el seu contingut conceptual representat, per així poder identificar quins són els requeriments de lectura que haurien de permetre als estudiants d'ESO interpretar les dues representacions visuals de forma can nica.

En base a la discussió dels resultats de la Secció II (apartat 7.2), podem concloure que:

1. Tot i que les simulacions educatives de física per a estudiants d'ESO utilitzin un disseny visual pretesament senzill i una interacció pretesament entenedora, darrera pot haver-hi una densitat molt alta de conceptes i relacions conceptuais que es pretenen comunicar.
2. L'an lisi dels conceptes representats en les simulacions i, alhora, l'an lisi visual de les representacions que apareixen en elles permeten definir els requeriments de lectura que un lector ha de dur a terme per interpretar aquestes simulacions. Ara bé, els diferents requeriments de lectura de la representació visual en una simulació no sempre corresponen a unes mateixes demandes cognitives. Per exemple, suposa una major demanda cognitiva el control de variables de les variables que apareixen representades en la simulació que la identificació dels objectes visuals f cilment reconeixibles pels lectors.
3. Analitzar les simulacions educatives de física des del punt de vista gramatical (és a dir, en base als nivells sint ctic, sem ntic i pragm tic) no només és v lid, sinó que és especialment útil per identificar els requeriments de lectura que cada simulació porta associats.
4. La presència en una simulació d'elements visuals de diferent naturalesa comunicativa porta a un seguit de requeriments de lectura a nivell pragm tic i afegeixen una major complexitat a la seva lectura i interpretació i impliquen una major c rrega cognitiva extrínseca:
 - La presència d'elements decoratius en una simulació obliga al lector a haver-los de distingir dels elements informatius, i a associar a cadascun d'ells la modalitat corresponent.
 - La presència simultània d'elements corresponents a nivells de representació macrosc pica, mesosc pica i microsc pica / molecular obliga al lector a identificar i distingir cadascun d'aquests nivells, i a interpretar cada element des del seu marc interpretatiu corresponent.
 - La presència de representacions abstractes per amb una entitat conceptual (com ara les línies de camp, raigs de llum, etc.) obliga al lector a haver-les de distingir de les representacions d'objectes reals.
 - La presència d'elements implícits no representats (com ara l'entorn, o el corrent elèctric) obliga al lector a inferir l'existència d'aquests elements a través de la interpretació dels elements que sí que apareixen representats.
5. L'ús de representacions pr pies de la ci ncia en simulacions educatives de física, com ara la representació simult nia micro-macro, o la representació simult nia

d'objectes reals i entitats abstractes, implica requeriments de lectura específics d'aquest contingut. Per tant, els principis genèrics de disseny de representacions visuals que es puguin establir des d'altres camps del coneixement són útils i importants, però en cap cas poden substituir les consideracions de disseny pròpies del contingut científic.

6. Les llicències gramaticals que prenen els dissenyadors poden arribar a generar una contradicció entre els conceptes que es volen representar i la seva materialització en forma de disseny visual, i la seva lectura implica una major càrrega cognitiva extrínseca associada a la seva lectura. En alguns casos les llicències són inevitables, però en d'altres són directament evitables amb una millora del disseny visual, i cal tenir-les presents a l'hora d'identificar els requeriments de lectura.

En resum, l'anàlisi conceptual del contingut de les simulacions educatives de física junt a l'anàlisi visual de les seves representacions permeten identificar quins són els requeriments de lectura que una persona ha de dur a terme per interpretar adequadament la simulació. Aquests requeriments de lectura poden associar-se als diferents nivells gramaticals, i el seu nombre pot variar qualitativa i quantitativament en funció de la densitat de conceptes representats i en funció del disseny visual utilitzat pels autors de les simulacions.

15.3. Conclusions entorn de l'objectiu de recerca O2

El segon objectiu de recerca proposat va ser:

O2. Identificar i analitzar les dificultats de lectura que intervenen quan un conjunt d'estudiants de 3r i 4t d'ESO proven d'interpretar aquestes dues simulacions a partir de la seva visualització.

En base a la discussió dels resultats de la Secció III (apartat 10.4), podem concloure que:

7. Per estudiar en profunditat com els estudiants d'ESO llegeixen simulacions educatives de física és possible i suficient utilitzar les següents perspectives:
 - La lectura que l'estudiant fa de l'estructura compositiva de la representació.
 - L'assignació de rellevància que l'estudiant dóna a cada element visual.
 - La interpretació semàntica que l'estudiant fa dels diferents elements mínims significatius.
 - La integració que l'estudiant fa de les representacions múltiples que apareixen en la simulació.
 - La interpretació que l'estudiant fa de les representacions dinàmiques que apareixen en la simulació.
 - La lectura que l'estudiant fa de la naturalesa comunicativa dels diferents elements visuals representats.
8. Aquestes sis perspectives o dimensions mostren com la lectura d'imatges científiques és un procés on intervenen molts factors, que no es poden analitzar des d'un únic camp teòric, sinó que cal combinar com a mínim tres camps teòrics: semàntica, psicologia de la percepció i didàctica de les ciències.
9. Els estudiants es poden trobar amb dificultats a l'hora d'interpretar l'estructura compositiva de la representació, ja sigui connectant erròniament els diferents sintagmes visuals i interpretant una estructura compositiva alternativa. A més, els estudiants poden simplement no identificar alguns dels sintagmes.
10. Els estudiants poden llegir la simulació sense distingir adequadament la informació central de la informació accessòria, sense donar la rellevància adequada a cada informació representada. Els elements visuals als que els estudiants donen rellevància en excés o en defecte són la forma, la posició, el color i el text inserit.
11. La dificultat amb que es troben els estudiants per interpretar, a nivell semàntic, els elements visuals d'una imatge que tenen un significat científic-tècnic molt específic, i sense disposar del coneixement previ suficient, ens porta a assenyalar la insuficiència de la simple visualització de simulacions educatives a l'hora d'introduir nous coneixements.
12. Tot i que molts estudis mostren el potencial educatiu de les representacions múltiples per a la construcció de relacions conceptuals, les dificultats dels estudiants per integrar adequadament informació complementària o informació redundant no sempre permeten que es construeixen aquestes relacions.

13. La presència d'unitats d'informació diferents representades a través de sintagmes visualment propers o contigus, però sense una relació conceptual aparent, pot portar a que els estudiants confonguin i integrin erròniament aquestes informacions, construint relacions diferents a les que la simulació pretenia comunicar.
14. Els estudiants no sempre interpreten adequadament la informació dinàmica que apareix representada en les simulacions educatives de física, especialment quan la percepció de les translacions eclipsa la percepció de les transformacions, quan són canvis visuals molt ràpids i curts en el temps i quan intervenen varies representacions dinàmiques interrelacionades alhora. Per tant, tot i que les simulacions permeten comunicar més informació a través del seu comportament dinàmic que la que comunicarien només amb representacions estàtiques, la possibilitat que els estudiants es trobin amb dificultats per interpretar aquesta informació dinàmica també és més alta.
15. Algunes de les dificultats que els estudiants tenen per interpretar simulacions educatives de física prové d'assignar propietats a un element visual basant-se en una interpretació errònia de la modalitat representada o del nivell de representació científica.

En resum, hem pogut identificar dificultats de lectura degudes a la interpretació inadequada de l'estructura compositiva, a la rellevància atorgada, a la no assignació adequada dels significat dels seus elements, a la no integració de representacions diferents, a la no interpretació adequada dels canvis al llarg del temps o a la no interpretació correcta del que es vol comunicar. Podem dir, per tant, que el paper de les simulacions com a eines educatives es revela com a limitat sense la intervenció o suport que permeti superar les dificultats mencionades.

15.4. Conclusions entorn de l'objectiu de recerca O3

El tercer objectiu de recerca proposat va ser:

O3. Identificar i analitzar les explicacions errònies (des del punt de vista dels conceptes representats en la simulació A i B) que donen els estudiants quan es troben amb dificultats de lectura.

En base a la discussió dels resultats de la Secció IV (apartat 13.2), podem concloure que:

16. La varietat d'explicacions identificades en diferents estudiants ens permet concloure que la lectura de simulacions és un procés comunicatiu en el que es pot donar un ventall d'interpretacions diferents a una mateixa representació.
17. Les explicacions dels estudiants respecte el contingut científic de les simulacions poden contradir-se amb el que aquests "estan veient" per pantalla. Per tant, no podem pensar que els estudiants prendran consciència de que la seva explicació és errònia pel simple fet que el que diuen és contradictori amb el que apareix per pantalla.
18. En molts casos, aquestes explicacions errònies són relatives a conceptes clau sobre els que s'edifica cada simulació, i no només relatives a conceptes marginals o secundaris en la simulació. Per tant, els estudiants poden arribar a fer explicacions amb un sentit i un significat totalment allunyades del missatge que els autors de les simulacions pretenien transmetre.
19. Les explicacions dels estudiants respecte el contingut científic de les simulacions no són estables, i en un període molt curt de temps els estudiants poden contradir-se amb ells mateixos. En molts casos, les explicacions són inconsistentes, cosa que dificulta la seva anàlisi.
20. L'estreta relació que en alguns casos es dona entre les explicacions conceptuals errònies dels estudiants i les concepcions alternatives identificades en la literatura no ens permet conèixer si els estudiants ja partien d'aquestes concepcions espontànies ni tampoc si les simulacions fomenten encara més aquestes concepcions. Ara bé, sí que podem concloure que llegir la simulació no fa en molts casos que es superin aquestes concepcions alternatives.

En resum, les dificultats identificades en els estudiants per llegir les simulacions porten sovint a que aquests donin explicacions que són alternatives als conceptes que les simulacions pretenien comunicar. És a dir, les simulacions no fan que els estudiants es construeixin un conceptes *per se*, sinó que proporcionen unes representacions visuals que poden o no interpretar-se adequadament per part dels estudiants.

15.5. Conclusions entorn dels mecanismes de raonament identificats

Finalment, darrera de moltes de les dificultats de lectura i de les explicacions errònies que porten associades hem pogut identificar diferents mecanismes de raonament espontani:

21. **Mecanismes de simplificació**, a través dels quals els estudiants transformen la informació que perceben en una informació més simple, cosa que hem identificat en casos de linealització de canvis no lineals, la transformació de processos de dinàmics a estàtics o la discretització de les variables que intervenen en un fenomen.
22. **Mecanismes d'accessibilitat**, a través dels quals els estudiants substitueixen la informació de la simulació per la informació que obtenen accedint al coneixement previ del que disposen, ja sigui per proximitat temporal (coses que han estudiat recentment) o per similitud entre la informació que reben i la informació que coneixen.
23. **Mecanismes de reorganització de la informació** que perceben, basant-se en la contigüitat espacial dels elements de la representació o en la seqüencialització de la informació. Això provoca que els estudiants estableixin relacions causals errònies i inverses de la informació que apareix representada en la simulació.
24. **Mecanismes d'eliminació de la informació** representada en la simulació, a través dels quals els estudiants en les seves explicacions no incorporen una part de la informació que la simulació pretenia comunicar. En aquests casos, és com si directament aquesta informació no aparegués en la simulació.

Capítol 16. Implicacions de la recerca

El treball realitzat ha permès arribar a uns resultats que han ajudat a millorar el nostre coneixement sobre com és la lectura d'imatges científiques representades en simulacions de física i quines dificultats tenen els estudiants al llegir-les. Al llarg del treball, i molt especialment en els apartats de discussió dels resultats i conclusions, s'han anat apuntant diferents mesures que poden ajudar a millorar la lectura i la interpretació que en fan els estudiants, i que volem recollir en aquest darrer capítol de la tesi doctoral. D'una banda, recollim les implicacions de cara a la utilització pedagògica de les imatges en un context escolar (16.1), i de l'altra, les implicacions de cara al disseny de simulacions (16.2).

16.1. De cara a la lectura d'imatges científiques

Diferents autors com Leinhardt et al (1990) o Kress i Ogborn (1998) s'han basat en el component "visual" de la ciència per argumentar la importància que té utilitzar adequadament els diferents sistemes de representació (imatges, gràfiques, text, etc.) com un objectiu didàctic en sí mateix. Així, aquests autors argumenten que cal desenvolupar habilitats de lectura d'imatges per treure profit del potencial comunicatiu de les representacions visuals (en el nostre cas, simulacions), cosa que concorda amb les conclusions que hem obtingut en la nostra recerca.

De fet, aquesta idea d'ajudar o "acompanyar" la lectura i la interpretació d'imatges, així com "ensenyar a llegir imatges" no només són idees que es deriven dels resultats obtinguts, sinó que són idees que apareixen en diferents contribucions a la literatura. Per exemple, estem d'acord amb Pintó i Ametller (2002) quan afirmen que el llenguatge visual s'hauria d'ensenyar a mestres i alumnes, i sobretot, que cal advertir als professors que la lectura no és un procés automàtic que es pugui donar per suposat. En paral·lel, per Tsui i Treagust (2013) és molt important abordar la naturalesa de la imatge com a objectiu específic d'aprenentatge (especialment la modalitat de la imatge i els diferents nivells de representació macro-micro-simbòlic que conté).

Basant-nos en els resultats obtinguts, volem assenyalar un seguit d'implicacions didàctiques que van en la línia de proporcionar oportunitats perquè els estudiants llegeixin les imatges científiques (representades en simulacions) de forma òptima, aprenguin a llegir-les, extraient-ne tota la informació que es vol comunicar, i desenvolupin la capacitat de lectura crítica.

- **Fomentar una lectura crítica per part dels estudiants a tots els nivells gramaticals, també el nivell pragmàtic:** A partir de les conclusions presentades en el capítol anterior, entenem que el professorat de ciències hauria d'ajudar en el procés de lectura no només introduint qüestions com "*què és el que apareix per pantalla?*" i "*què creus que vol dir?*", sinó també qüestions com ara "*perquè creus que es representa d'aquesta manera?*". És a dir, caldria no només abordar amb els estudiants els aspectes sintàctics i semàntics de la representació, sinó també els aspectes pragmàtics.
- **Abordar, quan convingui, les característiques i les particularitats del nivell de representació a escala microscòpica / molecular:** En aquest sentit entenem que cal fer una menció especial en el cas d'imatges que inclouen un nivell de representació a escala microscòpica / molecular. Al nostre entendre, caldrà ajudar als estudiants a entendre que les partícules, independentment de la representació que adoptin, són molt i molt i molt més petites del que es pugui representar; que tot i que les partícules es representin amb forma i color, això és una llicència gramatical necessària, però que aquestes partícules no tenen

propietats macroscòpiques; o també que les vibracions que apareixen representades són, segons els models científics actuals, molt i molt i molt més ràpides del que reproduïx la representació dinàmica, fins al punt que seria imperceptible a l'ull humà.

- **Explicitar els elements implícits:** Al llarg del treball hem identificat la dificultat dels estudiants per pensar en els elements que no apareixen representats, com ara l'entorn dels llibres a través del qual els llibres es refreden després de deixar de fregar o bé el corrent elèctric que circula pel circuit. La lectura crítica i enriquidora de les imatges passa també per fer prendre consciència als estudiants de l'existència d'aquests elements.
- **Fomentar la traducció per part dels estudiants del llenguatge visual al llenguatge verbal:** Una altra implicació que es deriva de la recerca és l'ajuda que suposa pels estudiants el fet d'expressar verbalment el que estan veient en cada moment, ja que hem vist que això els obliga a generar una explicació i, malgrat les limitacions que té, pot explicitar dificultats amagades. Això ens porta a pensar que aquest exercici de lectura crítica d'imatges és enriquidor realitzar-lo de forma verbal, idea que està reforçada per Pérez-Etxebarria, Martí, i Pozo (2010), que afirmen que comprendre un concepte és traduir-lo entre llenguatges que corresponen a diferents sistemes de representació. D'altra banda, també cal tenir en compte que a vegades aquestes explicacions verbals fomenten la inventiva dels estudiants, i per tant, en molts casos els estudiants generen explicacions alternatives, com també assenyalen les recerques de Ametller i Pintó (2002) o de Stylianidou i Ogborn (2002). Alhora, el fet d'haver trobat que les explicacions verbals dels estudiants no són sempre coherents entre elles (és a dir, que un estudiant pot donar una explicació i contradir-se al cap d'uns minuts amb una explicació diferent) ens porta a fer la següent advertència al professorat: un alumne no superarà una dificultat de lectura pel simple fet que existeixi una incoherència entre el que està dient i el que apareix per pantalla.
- **Dirigir l'atenció de l'estudiant per ajudar-lo a identificar elements i establir relacions:** El fet d'haver trobat que moltes de les dificultats es superen quan l'alumne, guiat en l'entrevista, es fixa en un element visual determinat, ens fa pensar que és important insistir als estudiants en que es fixin en la imatge i en cadascun dels seus elements. Ara bé, hem identificat que el problema no és la falta d'atenció en si mateixa, sinó el fet que molts estudiants no saben en quins elements visuals s'han de fixar més o menys. Per tant, és en aquest procés de selecció de la informació on la lectura guiada pot ser molt fructífera. En aquest sentit, Gillespie (1993, citat a Jiménez, 1998) afirma que sense una consigna clara, la tendència dels estudiants és a observar les representacions superficials, i que guiar l'atenció i donar instruccions sobre com interpretar cada il·lustració és de gran ajuda. Alhora, ho defensen Gustafson i Mahaffy (2012), afirmant que cal ajudar als estudiants a reconèixer les característiques més rellevants dels models representats en simulacions.
- **Repetir l'animació tantes vegades com sigui necessari:** Finalment, també hem de tenir en compte que si les simulacions són dinàmiques i comporten la reproducció animada d'un fenomen, els resultats ens porten a pensar que caldria reproduir aquest fenomen animat tantes vegades com calgui, per assegurar-nos que l'estudiant ha pogut fixar-se en tots els elements i en els seus comportaments dinàmics, com succeeix amb algunes de les participants. De fet, el principi de control de processament (Wolfgang Schnotz, 2005) afirma que el lector té majors facilitats de lectura si pot controlar la reproducció d'informació aturant-la i posant-la en marxa quan convingui, i entre les

recomanacions de Gustafson i Mahaffy (2012) el reproduir una representació animada de forma repetida.

16.2. De cara al disseny de les representacions

Un segon conjunt d'implicacions didàctiques derivades de la recerca que hem exposat al llarg del treball són les qüestions relatives al disseny gràfic de les dues simulacions A i B, a partir de les quals considerem que es poden extreure consideracions i implicacions més generals per al disseny visual de simulacions educatives de física. En aquest sentit, moltes de les implicacions que plantejarem concorden amb algunes de les recomanacions que podem trobar en la literatura, com ara Stylianidou i Ogborn (2002), que proposen no barrejar en la representació objectes reals i simbòlics, regular la prominència dels elements, codificar de forma diferent elements visuals amb significats diferents o tenir cura on es situen els elements verbals, entre d'altres recomanacions. A més, aquests autors també proposen que els dissenyadors de representacions visuals haurien de tenir accés a les respostes dels estudiants provinents de la recerca, tal com hem apuntat en les conclusions del capítol anterior. Altres autors també fan propostes de disseny coincidents amb els resultats de la nostra recerca com ara la importància d'evitar les representacions redundants o evitar l'excés d'elements interactius (Cook, 2006; Plass et al. 2009), tot i que s'hi refereixen de forma molt més genèrica que no pas els exemples concrets que hem discutit en aquest treball. A més, una darrera qüestió proposada per tots aquests autors (Cook, 2006; Plass et al., 2009; Stylianidou i Ogborn, 2002), i que nosaltres compartim arrel de les conclusions obtingudes en la recerca, és la proposta que les simulacions educatives vagin sempre acompanyada d'una explicació en text on s'explicitin els objectius d'aquesta. De fet, al llarg de l'anàlisi de les simulacions fetes als capítols 6 i 7 fins i tot ens hem trobat amb dubtes sobre què era el que autors de les simulacions volien representar (per exemple, perquè només es representa el desgast del llibre groc?; perquè les partícules grogues es troben a sota del bloc groc?, com estan connectats exactament els diferents elements del circuit?, etc.), cosa que s'hauria pogut aclarir amb una explicació complerta que acompanyés cada simulació. Una vegada més, aquests dubtes ens mostren que la idea recurrent i estesa del “*si ja s'entén*” no sempre és certa, i per tant, explicitar què és el que els dissenyadors pretenien representar amb la simulació podria ajudar als professors a guiar millor als seus alumnes en la lectura d'aquestes imatges.

A partir d'aquestes reflexions genèriques, i entrant al contingut específic de cada simulació, també volem exposar algunes propostes concretes de canvis en el disseny visual. Cal tenir present que cap de les propostes que aquí fem han estat implementades ni provades amb altres estudiants, però tot i així considerem que recullen l'esperit de com dissenyar simulacions visuals per evitar el màxim de dificultats de lectura i per facilitar la seva interpretació.

Respecte el disseny visual de la simulació A

Alguns aspectes que es podrien millorar, re-dissenyar o eliminar de la simulació A són:

- **Prescindir dels elements decoratius:** En la simulació A hi ha elements decoratius (com les paraules “Física” i “Química”) que, d'acord amb els resultats obtinguts, fomenten lectures errònies. A més, els punts de brillantor de les partícules pretenen donar realisme a la representació de les partícules, i sense cap valor informatiu associat, poden generar confusió.
- **No combinar la representació mesoscòpica i la representació molecular:** Anteriorment hem conclòs que molta densitat d'informació no ajuda a

conceptualitzar cadascuna de les “peces” del sistema conceptual representat. En el cas de la simulació A, al voler representar el desgast alhora que l'escalfament, es pretén ser més fidel a què passa en un procés de fregament, però d'acord amb els resultats obtinguts, això acaba sent més problemàtic que beneficiós. Això ens porta a pensar que hauria estat més positiu elaborar dues simulacions diferents prescindint en cada una d'un dels dos nivells de representació (és a dir, o bé representar l'escalfament que es produeix en un fregament o bé representar el desgast de les superfícies). Una altra possible opció seria utilitzar una doble estructura analítica de zoom, com la que presentem en la Figura 160. En aquesta representació, també podem preguntar-nos si el format òptim de presentació seria presentant les partícules amb els colors de cada llibre (per ajudar a distingir-los) o bé representar-los d'un color neutre (com ara el negre) per reforçar la idea que a les partícules no se'ls associa propietats macroscòpiques.

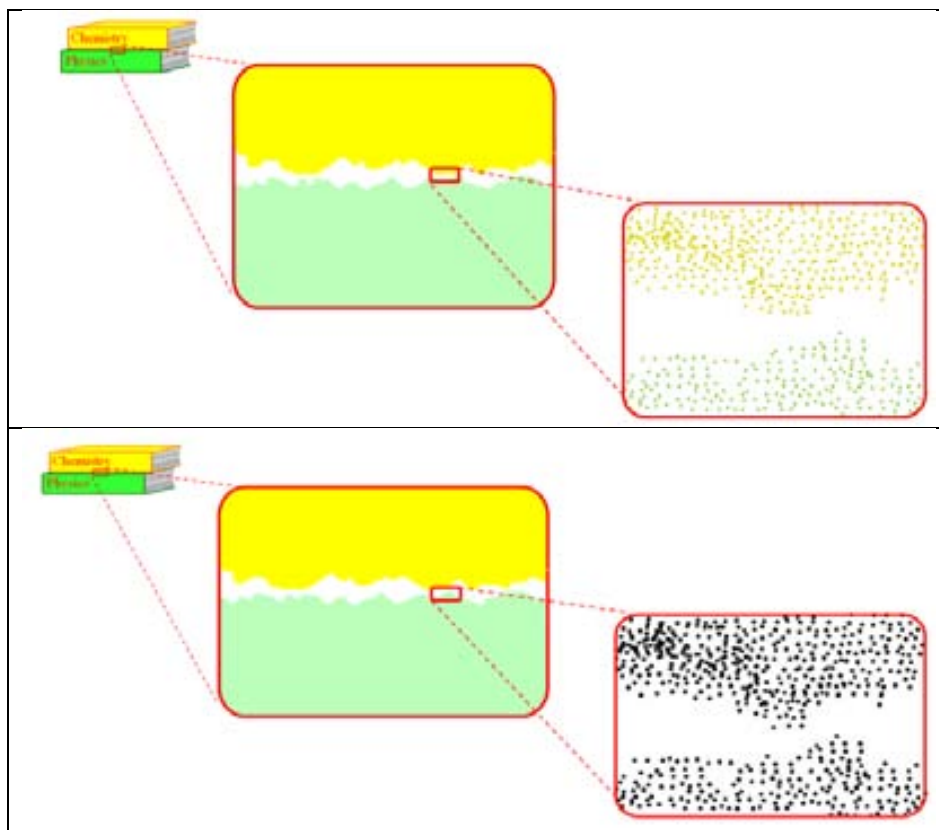


Figura 160. Disseny visual alternatiu al de la simulació A, amb una representació exhaustiva de les partícules.

- **Simplificar la representació molecular i fer-la exhaustiva:** En cas de decidir eliminar la representació a nivell mesoscòpic de la irregularitat de les superfícies, existeixen altres canvis que permetrien una millor interpretació de la simulació a nivell molecular / microscòpic. Basant-nos en la discussió de la càrrega cognitiva extrínseca associada a la asimetria entre els dos blocs de partícules (veure apartat 15.2.5), caldria utilitzar la mateixa relació fons-partícules tant pel sintagma superior com pel sintagma inferior, i a més, presentar partícules arreu de la representació, i no només al centre. Un disseny visual més coherent i amb voluntat de reduir la càrrega cognitiva és el que presentem en la Figura 161, que a més evitaria explicacions conceptuals errònies relacionades amb el perímetre que delimitava les partícules verdes, i també amb les dificultats relacionades amb centrar-se en la posició de les

partícules (de l'estil “estan més juntes / més separades”) i no en la seva velocitat (de l'estil “es mouen més ràpid / més lent”).

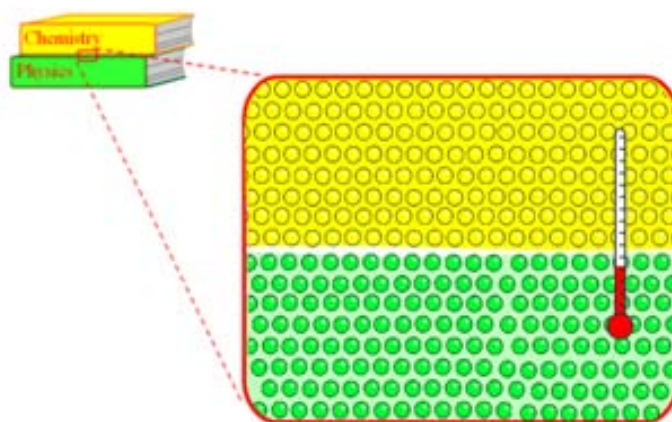


Figura 161. Disseny visual alternatiu al de la simulació A, amb una representació exhaustiva de les partícules.

- **En cas de representar el desgast, fer-ho en tots dos llibres:** En cas de voler mantenir la representació mesoscòpica de la irregularitat i del desgast, caldria com a mínim, representar que això succeeix en tots dos llibres, en tant que estan fets de materials similars, evitant així interpretacions errònies com les que hem identificat associades l'asimetria entre els dos llibres.
- **Representar la gràfica temperatura-temps:** Tot i que la lectura de gràfics matemàtics no ha estat abordada en profunditat en aquesta recerca, i que la interpretació adequada d'aquest tipus de representacions tampoc es pot donar per suposada en estudiants d'ESO, la dificultat per percebre els diferents ritmes de decreixement de la temperatura podrien superar-se amb una representació complementària d'aquest descens de temperatura. Aquesta representació, que evitaria haver de copsar el ritme de descens només amb la percepció de la informació dinàmica, podria representar-se en paral·lel, al costat, o en una finestra extensible. Aquesta qüestió ha estat proposada en altres ocasions prèvies, com mostrem en la Figura 162.

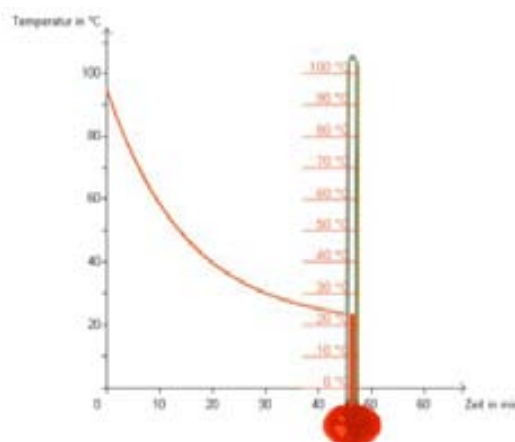


Figura 162. Proposta de combinació de gràfica de temperatura i termòmetre, extret de (Girwidz, 2007)

Respecte el disseny visual de la simulació B

De la mateixa manera que hem fet amb la simulació A, alguns dels canvis que podrien fer-se en la simulació B, són:

- **Millorar la representació del circuit elèctric:** Com hem explicat en l'apartat 6.4, el circuit representa un "voltímetre" connectat en sèrie. A més, la disposició dels elements visuals connectats entre línies que representen als elements visuals tampoc és clara ni facilita concebre la idea de circuit. De fet, Girwitz (2007) (veure Figura 29 de l'apartat 2.2.1, Secció I) aborda aquesta qüestió, afirmant que una simplificació de la presentació dels circuits pot també reduir la càrrega cognitiva extrínseca associada a la interpretació de la representació.
- **Modificar la mida relativa imant – bobina:** El fet que molts participants es refereixin a la relació imant – bobina sota la idea que l'imant "es connecta" a la bobina, i no que l'imant "passa per l'interior" d'aquesta, pot estar induït per la mida del diàmetre de la bobina, que és semblant a l'amplada de l'imant. En canvi, en la representació de la Figura 163, obtinguda d'una altra simulació del projecte PhET relacionada amb la inducció electromagnètica. En aquesta imatge, el major diàmetre de la bobina pot no induir tant a pensar en la idea de "connexió".

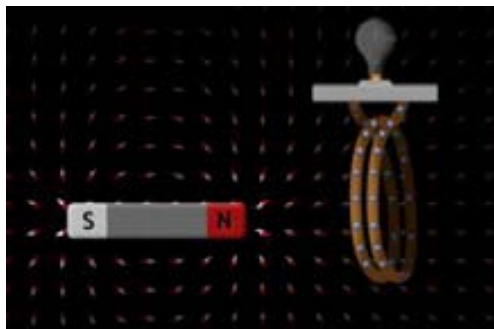


Figura 163. Representació d'una altra simulació del projecte PhET que també aborda la inducció electromagnètica.

- **Accentuar més el contrast il·luminació – fons i reforçar els "graus" d'il·luminació:** En l'anàlisi de la lectura d'alguns participants vam trobar que només parlaven de "la bombeta s'il·lumina / no s'il·lumina", però no raonaven en termes del grau d'il·luminació. Això és debut a que els pics d'il·luminació en la representació són molt curts, però no ajuden a percebre quan s'il·lumina més o quan s'il·lumina menys. A més, considerem que un major contrast amb el fons facilitaria la percepció de la il·luminació quan aquesta és molt minsa, com succeeix també en l'exemple de la Figura 163, on el fons és negre i no groc com en la simulació B.

SECCIÓ VI: Referències

Capítol 17. Bibliografia

- AAAS. (2013). Project 2061. Projecte accessible a <http://assessment.aaas.org/>
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33(2-3), 131–152.
- Ainsworth, S. (2006). DeFT: A conceptual framework for considering learning with multiple representations. *Learning and Instruction*, 16(3), 183–198.
- Ainsworth, S. (2008). How do animations influence learning? In D. R. & G. Schraw (Ed.), *Current Perspectives on Cognition, Learning and Instruction: Recent Innovations in Educational Technology that Facilitate Student Learning* (pp. 37–67). Information Age Publishing.
- Ainsworth, S., Bibby, P., & Wood, D. (2002). Examining the effects of different multiple representational systems in learning primary mathematics. *Journal of the Learning Sciences*, 11, 25–61.
- Ainsworth, S., & van Labeke, N. (2004). Multiple forms of dynamic representation. *Learnig and Instruction*, 14, 241–255.
- Albe, V., Venturini, P., & Lascours, J. (2001). Electromagnetic concepts in mathematical representations of Physics. *Journal of Science Education and Technology*, 10(2), 726–736.
- Ametller, J. (2009). *The use of visual designs in the teaching of Energy: students' difficulties and teachers' transformations*. Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. UAB, Bellaterra.
- Ametller, J., & Pintó, R. (2002). Students' reading of innovative images of Energy at secondary school level. *International Journal of Science Education*, 24(3), 285–312.
- Ardac, D., & Akaygun, S. (2005). Using Static and Dynamic Visuals to Represent Chemical Change at Molecular Level. *International Journal of Science Education*, 27(11), 1269–1298.
- Ares, F. (2009). Afelio. Blog online a <http://blogs.diariovasco.com>.
- Atwood, R. K., & Atwood, V. A. (1996). Preservice elementary teachers' conceptions of the causes of seasons. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 553–563.
- Austin, K. A. (2009). Multimedia learning: Cognitive individual differences and display design techniques predict transfer learning with multimedia learning modules. *Computers & Education*, 53, 1339–1354.
- Ayres, P., & Sweller, J. (2005). The split-attention principle in multimedia learning. In R. Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 135–167). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Berkheimer, G. D., Anderson, C. W., Lee, O., & Blaskeslee, T. D. (1988). *Matter and molecules teacher's guide: Science book*. East Lansing, Michigan:: Michigan State University.
- Besson, U., & Viennot, L. (2004). Using models at the mesoscopic scale in teaching physics: two experimental interventions in solid friction and fluid statics. *International Journal of Science Education*, 26(9), 1083–1110.

- Betrancourt, M., Ainsworth, S., Vries, E. de, Boucheix, J.-M., & Lowe, R. (2012). Graphicacy: Do Readers of Science Textbooks Need It? In *EARLI SIG 2 Comprehension of Text and Graphics*.
- Bigio, A. T. (2011). Drawing for learning, registration and communication in natural science education. In *Drawing Out 2012*. RMIT University.
- Boeije, H. (2002). A Purposeful Approach to the Constant Comparative Method in the Analysis of Qualitative Interviews. *Quality & Quantity*, 36(4), 391–409.
- Bourcheix, J.-M., & Lowe, R. K. (2010). An eye tracking comparison of external pointing cues and internal continuous cues in learning with complex animations. *Learning and Instruction*, 20, 123–135.
- Braga, J., Phillips, L. M., & Norris, S. P. (2012). Visualizations and visualization in Science Education. In S. P. Norris (Ed.), *Reading for Evidence and Interpreting Visualizations in Mathematics and Science Education* (pp. 123–145). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Bransford, J., & Brown, L. (1999). *How people learn. Brain, Mind, Experience and School*. Washington: National Science Foundation.
- Brown, D. (1989). Students' Concept of Force: The Importance of Understanding Newton's Third Law. *Physics Education*, 24, 353–358.
- Carolus, A. (2009). *The influence of animation on physical science learning in a grade 10 rural classroom. Department of Science, Mathematics and Technology Studies*. University of Pretoria, Pretoria.
- Chang, D. H. F., & Troje, N. F. (2009). *Visual sensitivity to acceleration: Effects of motion orientation, velocity, and size*. Ontario: Biomotion Lab.
- Closset, J. L. (1983). Sequential reasoning in electricity. In *Workshop on Research in Physics Education in Physics Education*. Paris: Editions du CNRS.
- Colin, P., Chauvet, F., & Viennot, L. (2002). Reading images in optics: Students' difficulties and teachers' views. *International Journal of Science Education*, 24(3), 313–332.
- Cook, M. (2006). Visual representations in science education: The influence of prior knowledge and cognitive load theory on instructional design principles. *Science Education*, 90(6), 1073–1091.
- Cook, M., Wiebe, E. N., & Carter, G. (2008). The influence of prior knowledge on viewing and interpreting graphics with macroscopic and molecular representations. *Science Education*, 92(5), 848–867.
- Cosgrove, M., Osborne, R., & Carr, M. (1985). Using practical and technological problems to promote conceptual change workshop. In W. Duit, Jung, & C. Rhoneck (Eds.), *Aspects of understanding electricity*. Kiel: Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften.
- Danili, E., & Reid, N. (2004). Some strategies to improve performance in school chemistry, based on two cognitive factors. *Research in Science & Technological Education*, 22(2), 203–226.
- Deforge, Y. (1991). Historia de la comunicación gráfica y diseño técnico. In J. C. y A. Moles (Ed.), *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño*. Barcelona: Ceac.
- Dega, B. G., Kriek, J., & Mogese, T. F. (2013). Students' conceptual change in electricity and magnetism using simulations: A comparison of cognitive perturbation and cognitive conflict. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(6), 677–698.

- diSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In A. L. Stevens (Ed.), *Mental models* (pp. 15–33). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dondis, D. A. (1973). *A primer of Visual Literacy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Driver, R., Squires, A., Rushworth, P., & Wood-Robinson, V. (1994). *Making Sense of Secondary Science: Research into children's ideas*. (Routledge., Ed.). London.
- Dykstra, D., Boyle, C., & Monarch, I. (1992). Studying conceptual change in learning physics. *Science Education*, 76, 615–652.
- Estrada, E. (1991). *Génesi y evolución del lenguaje plástico de los niños*. Zaragoza: Mira Editores.
- Feliu, V. (2006). Dificultats, criteris i patrons de dibuix, basats en la intuïció i el coneixement, que utilitza l'alumnat a l'hora de predir i interpretar gràfiques V-T en moviments complexos. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Feschotte, D., & Moles, A. (1991). Como se lee una representación gráfica compleja. . In J. C. y A. Moles (Ed.), *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño*. Barcelona: Ceac.
- Feynman, R., Leighton, R., & Sands, M. (1964). *The Feynman Lectures on Physics*. New Millennium Edition.
- Frick, A., Huber, S., Reips, & Krist, H. (2005). Task-specific knowledge of the law of pendulum motion in children and adults. *Swiss Journal of Psychology*, 64, 103–114.
- Gallegos-Cázares, L., & Garritz-Ruiz, A. (2004). Representación continua y discreta de la materia en estudiantes de Química. *Educación Química*, 15(3), 234–242.
- García, J. J. (2005). *La comprensión de las representaciones gráficas cartesianas presentes en los libros de texto de Ciencias Experimentales, sus características y el uso que se hace de ellas en el aula*. Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Granada, Granada.
- Genover, J., Pozo, A., & Vilar, J. (1998). *Eines de comprensió de textos. La lectura intensiva a secundària*. Barcelona: Graó.
- Georges Olympou, Zacharia, Z., & de Jong, T. (2012). Making the invisible visible: enhancing students' conceptual understanding by introducing representations of abstract objects in a simulation. *Instructional Science*, 41, 575–596.
- Gilbert, J. K. (2005). *Visualization in Science Education*. Dordrecht: Springer.
- Girwidz, R. (2002). Visualization and Multimedia in Science Education. In M. K. P. Jolly R. Usha and M. Lal, (Ed.), *GIREP*. Lund.
- Girwidz, R. (2007). Multicoding and Interactivity with Computer Visualizations. In *MPTL*.
- Girwidz, R. (2009). Visualisierungen und Bildanalogien. *Unterricht Physik*, 20, 10–13.
- Gotwals, R. R. (1995). Scientific Visualization in Chemistry, Better Living Through Chemistry, Better Chemistry Through Pictures: Scientific Visualization for Secondary Chemistry Students. In D. A. Thomas (Ed.), *Scientific Visualization in Mathematics and Science Teaching1* (pp. 153–179). Charlottesville, USA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Griffiths, A. K., & Preston, K. R. (1992). Grade-12 students' misconceptions relating to fundamental characteristics of atoms and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(6), 611–628.

- Grimalt-Álvaro, C., & Pintó, R. (2013). Anem a construir un bon coixí de seguretat per al cotxe. Cinètica Química per a ESO i Batxillerat. In *V Jornades per a l'Ensenyament de la Física i la Química*.
- Grimalt-Álvaro, C., Pintó, R., & Ametller, J. (2013). El uso del aula digital en las clases de ciencias de secundaria de Cataluña: análisis del estado actual. Informe de la primera parte del proyecto ADIGIC. Enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, Número ext, 1657–1662.
- Guisasola, J., Almudi, J. M., & Zuza, K. (2013). University Students' Understanding of Electromagnetic Induction. *International Journal of Science Education*, 35(16), 2692–2717.
- Gunstone, R. (1989). A comment on “the problem of terminology in the study of student conceptions in science.” *Science Education*, 73(6), 643–646.
- Gunstone, R. F., & Northfield, J. R. (1994). Metacognition and learning to teach. *International Journal of Science Education* 1, 16, 523–537.
- Gustafson, B. J., & Mahaffy, P. G. (2012). Using Computer Visualizations to introduce grade five students to the particle nature of matter. In S. P. Norris (Ed.), *Reading for Evidence and Interpreting Visualizations in Mathematics and Science Education* (pp. 181–202). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Habermas, J. (1984). *The Theory of Communicative Action, vol. 1.*. Cambridge, UK: Polity Press.
- Halliday, M. A. K. (1978). *Language as social semiotic. The social interpretation of language and meaning*. London: Edward Arnold.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or P-Prims: How May Alternative Perspectives of Cognitive Structure Influence Instructional Perceptions and Intentions. *Journal of the Learning Sciences*, 5(2), 97–127.
- Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Harrison, A., & Treagust, D. (2002). The Particulate Nature of Matter: Challenges in Understanding the Submicroscopic World. In J. Gilbert (Ed.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (pp. 189–212). Kluwer Academic Publishers.
- Hart, C., Mulhall, P., Berry, A., Loughran, J., & Gunstone, R. F. (2000). What is the purpose of this experiment? Or can students learn something from doing experiments? *Journal of Reserach in Science Teaching*, 37(7), 655–675.
- Hennessy, S., Deaney, R., & Ruthven, K. (2006). Situated Expertise in Integrating Use of Multimedia Simulation into Secondary Science Teaching. *International Journal of Science Education*, 28(7), 701–732.
- Hennessy, S., Wishart, J., & Whitelock, D. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers & Education*, 48, 137–152.
- Herrmann-Abell, C. F., & DeBoer, G. E. (2008). An analysis of field test results for assessment items aligned to the middle school topic of atoms, molecules, and states of matter. In *National Association for Research in Science Teaching (NARST) Annual Conference*. Baltimore, MD.
- HESTEM. (2011). HESTEM Project. Pagina web del projecte.
- Holton, D. L., & Verma, A. (2011). Designing Animated Simulations and Web-Based Assessments to Improve Electrical Engineering Education. In *Gaming and*

- Simulations: Concepts, Methodologies, Tools and Applications* (pp. 979–997). New York: Information Science Reference.
- J. Peeck. (1994). Enhancing graphic-effects in instructional texts: influencing learning activities. In W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), *Comprehension of graphics. Advances in psychology*. (pp. 271–290). Amsterdam.: Elsevier Science B.V.
- Jiménez, J. de D. (1998). *Los medios de representación gráfica en la enseñanza de la Física y la Química. Departamento de Didáctica de las CCEE*. Universidad de Granada, Granada.
- Jiménez, J. de D., & Perales, F. J. (2002). La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 1(2).
- Johnson, P. (1998). Progression in children's understanding of a "basic" particle theory: A longitudinal study. *International Journal of Science Education*, 20(4), 393–412.
- Johnstone, A. H. (1991). Why science is difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, 7, 75–83.
- Kikas, E. (2004). Teachers' conceptions and misconceptions concerning three natural phenomena. *Journal of Research in Science Teaching*, 41, 432–448.
- Kosslyn, S. M. (2005). Mental images and the brain. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 333–347.
- Kress, G., & Ogborn, J. (1998). Modes of representation and local epistemologies: the presentation of science in education. In *SCISC. Working papers. SISC Paper No. 2*.
- Kress, G., & van Leeuwen, T. (1996). *Reading Images. The Grammar of Visual Design*. New York: Routledge.
- Kress, G., & van Leeuwen, T. (2002). Colour as a semiotic mode: notes for a grammar of colour. *Visual Communication*, 1(3), 343–368.
- Kuhn, T. S. (1962). *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Kulhavy, R. W., Lee, J. B., & Caterino, L. C. (1985). Conjoint retention of maps and related discourse. *Contemporary Educational Psychology*, 10(1), 28–37.
- Larkin, J. H., & Simon, H. A. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words? *Cognitive Science*, 11(1), 65–99.
- Latorre, A., del Rincón, D., & Arnal, J. (2003). *Bases metodològiques de la investigació educativa* (p. 315). Barcelona: Edicions Experiència.
- Lee, O., Eichinger, D. C., Anderson, C. W., Berkheimer, G. D., & Blaskeslee, T. D. (1993). Changing middle school students' conceptions of matter and molecules. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(3), 249–270.
- Leinhardt, G., Zalavsky, O., & Stein, M. K. (1990). Functions, Graphs, and graphing. Task a Learning, and teaching. *Review of Educational Research*, 60(1), 1–64.
- Lemarié, J., Lorch, R. F., Eyrolle, H., & Virbel, J. (2008). SARA: A Text-Based and Reader-Based Theory of Signaling. *Educational Psychologist*, 43(1), 27–48.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: Visual and Verbal semiotics in Scientific text . In J. R. M. & R. Veel (Ed.), *Reading Science*. New York: Routledge.
- Levin, J. R., Anglin, G. J., & Carney, R. N. (1987). On empirically validating functions of pictures in prose. In *The Psychology of Illustration* (pp. 51–85).

- Linjse, Licht, DeVos, & Waarlo. (1990). *Relating macroscopic to microscopic particles*. Utrecht: University of Utrecht.
- López, V., & Artigas, A. (2012). Estudi de la dissipació de l'energia amb sensors i simulacions. In F. Guitart & A. Caamaño (Eds.), *Actes de la I Trobada d'Educació Química* (pp. 141–147). Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. Societat Catalana de Química.
- López, V., & Pintó, R. (2011). Per què les imatges científiques poden ser problemàtiques per a l'ensenyament de les ciències? *Ciències. Revista del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 20, 22–26.
- López, V., & Pintó, R. (2012). Hot brakes and energy-related concepts: is energy lost? *Physics Education*, 47(1), 38–43.
- Lowe, R. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13(2), 157–176.
- Lowe, R., & Schnotz, W. (2008). *Learning with animation: Research and design implications*. New York: Cambridge University Press.
- Maichle, U. (1994a). Cognitive processes in understanding line graphs. In Wolfgang Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), *Comprehension of graphics. Advances in psychology* (pp. 207–226). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Maichle, U. (1994b). Cognitive processes in understanding line graphs. In Wolfgang Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), *Comprehension of graphics. Advances in psychology* (pp. 207–226). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Maloney, D. P., O'Kuma, Hieggelke, C. J., & Van Heuvelen, A. (2001). Surveying students' conceptual knowledge of electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 69(51), 12–23.
- Márquez, C., Izquierdo, M., & Espinet, M. (2006). Multimodal Science Teachers' Discourse in Modeling the Water Cycle. *International Journal of Science Education*, 90, 202–226.
- Martin, J. R., & Veel, R. (1998). *Reading Science*. New York: Routledge.
- Mauk, H. V., & Hingley, D. (2005). Student understanding of induced current: Using tutorials in introductory physics to teach electricity and magnetism. *American Journal of Physics*, 73, 1164.
- Mayer, Richard, & Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 14(1), 87–99.
- Mayer, Richard, & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 43–52.
- McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity, Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics*, 60, 994–1003.
- Megah. (2010). Análisis Sintáctico, Semántico y Pragmático de un cartel. Document online a Buenastareas.com.
- Meltzer, D. E. (2007). Multiple Representations in Physics Education : Recent Developments and Questions for Future Work Why are Multiple Representations Useful in Learning Science? In *workshop at the University of Jyväskylä*.
- Mengual, J., & Català, J. M. (2005). *La imagen compleja: la fenomenología de las imágenes en la era de la cultura visual*. Barcelona: Publicacions de la UAB.

- Meyer, K., Rasch, T., & Schnotz, W. (2010). Effects of animation's speed of presentation on perceptual processing and learning. *Learning and Instruction*, 20(2), 136–145.
- Michellini, M., & Heron, P. (2012). Teaching and learning the concept of energy from early childhood school through university. In *WCPE*.
- Moles, A. (1991). Pensar en línea, pensar en superficie. In J. Costa & A. Moles (Eds.), *Imagen Didáctica. Enciclopedia del Diseño* (pp. 9–35). Barcelona: Ceac.
- Moreno, R., & Mayer, R. (1999). Cognitive principles of multimedia learning: The role of modality and contiguity. *Journal of Educational Psychology*, 91, 358–368.
- Muller, D., Lee, K. J., & Sharma, D. (2008). Coherence or interest: Which is most important in online multimedia learning? *Australasian Journal of Educational Technology*, 24(2), 211–221.
- MVSEW. (2001). *Molecular Visualization in Science Education*. Arlington: National Science Foundation.
- Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A., & Saglam, Y. (2005). Middle school students' beliefs about matter. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(5), 581–612.
- Nakhleh, M. B., Samarapungavan, A., Saglam, Y., & Duru, E. (2006). A cross-cultural study: Middle school students' beliefs about matter. In *Proceedings of the NARST Annual Meeting*. San Francisco, CA.
- Navon, D. (1977). Forest Before Trees : The Precedence of Global in Visual Perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353–383.
- Nguyen, F., & Clark, R. (2005). Efficiency in e-Learning: Proven Instructional Methods for Faster, Better, Online Learning.
- Norris, S. P. (2012). *Reading for Evidence and Interpreting Visualizations in Mathematics and Science Education*. Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Novak, J. D., & Musonda, D. (1991). A twelve-year longitudinal study of science concept learning. *American Educational Research Journal*, 28, 117–153.
- Osborne, R. J., & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of research in Science Teaching*, 20(9), 825–838.
- Paas, F., Renkel, A., & Sweller, J. (2004). Cognitive Load Theory: Instructional Implications of the Interaction between Information Structures and Cognitive Architecture. *Instructional Science*, 21, 1–8.
- Paivio, A. (1986). *Mental Representations: A Dual-Coding Approach*. New York: Oxford University Press.
- Park, J., & Kim, I. (1998). Analysis of Students' Responses to Contradictory Results Obtained by Simple Observation or Controlling Variables. *Research in Science Education*, 28(3), 365–376.
- Parnafes, O. (2007). What Does "Fast" Mean? Understanding the Physical World Through Computational Representations. *The Journal of the Learning Sciences*, 16(3), 415–450.
- Patsula, P. J. (2004). Episodic Model Imprinting (EMI): A Tripartite Framework for Mental Model Processes. Pàgina web.
- Paulhus, D. L. (2002). Socially desirable responding: The evolution of a construct. In H. I. Braun & D. N. Jackson (Eds.), *Role of constructs in psychological and educational measurement* (pp. 49–69). Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.

- Perales, F. J. (2006). Uso (y abuso) de la imagen en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 24(1), 13–30.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. de D. (2002). Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de textos. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 20(3), 369–386.
- Perales, F. J., & Jiménez, J. de D. (2004). Las ilustraciones en los libros de física y química de la e.s.o. In J. J. Gil (Ed.), *Aspectos didácticos de Física y Química (Física)* 12 (pp. 11–65). Instituto de Ciencias de la Educación-Universidad de Zaragoza.
- Pérez-Etxebarria, M. P., Martí, E., & Pozo, J. I. (2010). Los sistemas externos de representación como herramientas de la mente. *Cultura y Educación*, 22(2), 133–147.
- Perini, L. (2005). The Truth in Pictures. *Philosophy of Science*, 72, 262–285.
- Phillips, L. M., Norris, S. P., & Macnab, J. S. (2010). *Visualization in Mathematics, Reading and Science Education* (p. 107). Dordrecht: Springer.
- Pintó, R., & Ametller, J. (2002a). Students' difficulties in reading images. Comparing results from four national research groups. *International Journal of Science Education*, 24(3), 333–341.
- Pintó, R., & Ametller, J. (2002b). Students' difficulties in reading images . Comparing results from four national research groups. *International Journal of Science Education*, 24(3), 333–341.
- Pintó, R., Couso, D., & Gutierrez, R. (2005). Using Research on Teachers' Transformations of Innovations to Inform Teacher Education: The Case of Energy Degradation. *Science Education*, 89(1), 38–56.
- Pintó, R., Couso, D., & Hernández, M. I. (2010). An Inquiry-oriented approach for making the best use of ICT in the classroom. *eLearning Papers*, 20.
- Pittenger, J. (1985). Estimation of pendulum length from information in motion. *Perception*, 14(3), 247–256.
- Plass, J. L., Homer, B. D., & Hayward, E. O. (2009). Design factors for educationally effective animations and simulations. *Journal of Computing in Higher Education*, 21(1), 31–61.
- Ploetzner, R., Lippitsch, S., Galmbacher, M., & Heuer, D. (2006). Students' difficulties in learning physics from dynamic and interactive visualizations. *7th international conference on Learning sciences (ICLS)*. Bloomington (Indiana): International Society of the Learning Sciences.
- Postigo, Y., & Pozo, J. I. (2000). Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Infancia y Aprendizaje*, 90, 89 – 110.
- Pozo, J. I. (1987). *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. Madrid: Visor.
- Pozo, J. I. (1993). Psicología y Didáctica de las Ciencias de la naturaleza ¿concepciones alternativas? *Infancia y Aprendizaje*, 187–204.
- Pozo, J. I., & Gómez, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico* (p. 332). Madrid: Ediciones Morata.
- Pozo, J. I., Sanz, A., Gómez, M. A., & Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las ciencias: Revista de investigación y experiencias didácticas*, 9(1), 83–94.

- Price, S. (2002). *Diagram Representation: The Cognitive Basis for Understanding Animation in Education (Technical Report 553): School of Computing and Cognitive Sciences*.
- Psillos, D., Koumaras, P., & Valassiades, O. (1987). Students' representations of electric current before, during and after instruction on DC circuits. *Journal of Research in Science and Technological Education*, 5(2), 185–189.
- Radulescu, M. (2012). La gramática de la imagen en la cultura del contexto. Retrieved from <http://semiotica-pucp.blogspot.com.es/2012/04/la-gramatica-de-la-imagen-en-la-cultura.html>
- Rebetz, C., Bétrancourt, M., Sangin, M., Dillenbourg, P., & Molinari, G. (2006). Learning from dynamic visualizations: Decreasing cognitive load and promoting learning? In S. Ainsworth (Ed.), *SIG2 Bi-annual Meeting "Text and comprehension"* (pp. 18–20). Nottinham: University of Nottinham.
- Renstrom, L., Andersson, B., & Marton, F. (1990). Students' conceptions of matter. *Journal of Educational Psychology*1, 82(3), 555–569.
- Rios, R., & Pintó, R. (2013). Seqüència d'ensenyament-aprenentatge per a l'estudi de la interacció llum-matèria a secundària. *Ciències. Revista del Professorat de Ciències d'Infantil, Primària i Secundària*, 24, 48–51.
- Rohde, N., Rumann, S., Opfermann, M., & Schmuck, C. (2013). Learning efficiency of different visualization forms for chemistry-related contents. In *ESERA 2013 Conference Proceedings*.
- Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58, 136–153.
- Ryoo, K., & Linn, M. C. (2012). Can dynamic visualizations improve middle school students' understanding of energy in photosynthesis? *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 218–243.
- Sabelli, N. H., & Livshits, I. S. (1995). Sharing Multiple Complementary Representations in the Teaching of Science. In D. A. Thomas (Ed.), *Scientific Visualization in Mathematics and Science Teaching* (pp. 213–224). Charlottesville, USA: Association for the Advancement of Computing in Education.
- Sáez, M., & Pintó, R. (2007). Dealing with different representations when analysing forces and motion. In M. F. Tasar, G. Cakmakci, & E. Akgul (Eds.), *ESERA 2007 Proceedings*. Malmö.
- Schnotz, W., & Rasch, T. (2005). Enabling, facilitating, and inhibiting effects of animations in multimedia learning: Why reduction of cognitive load can have negative results on learning. Schwartz, . *Educational Technology Research and Development*, 53(3), 47–58.
- Schnotz, Wolfgang. (2002). Towards an Integrated View of Learning From Text and Visual Displays. *Educational Psychology Review*, 14(1), 101–120.
- Schnotz, Wolfgang. (2004). An Integrated Model of Text and Picture Comprehension . In Richard Mayer (Ed.), *Cambridge Handbook of Multimedia Learning* .
- Schnotz, Wolfgang. (2005). An integrated model of text and picture comprehension. In Richard Mayer (Ed.), *The Cambridge handbook of multimedia learning* (pp. 49–69). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Schnotz, Wolfgang, & Lowe, R. (2003). External and internal representations in multimedia learning. *Learning and Instruction*, 13(2), 117–123.

- Schwartz, N., & Danielson, R. (2012). What Kind of Graphic is This? A Framework for Delineating the Graphics in Text-Graphic Research. In *EARLI SIG 2 Comprehension of Text and Graphics*.
- Shah, P., & Hoeffner, J. (2002). Review of Graph Comprehension Research : Implications for Instruction. *Educational Psychology Review*, 14(1), 47–69.
- Shipstone, D. (1984). A study of children's understanding of electricity in simple DC circuits. *European Journal of Science Education*, 6(2), 185–198.
- Shipstone, D. (1988). Pupils' understanding of simple electrical circuits. *Physics Education*, 23, 92–96.
- Sierra, J. L. (2005). *Estudio de la influencia de un entorno de simulación por ordenador en el aprendizaje por investigación de la Física de Bachillerato*. Subdirección general de Información y Publicaciones.
- Smetana, L. K., & Bell, R. L. (2011). Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. *International Journal of Science Education*, 34(9), 1337–1370.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J., & Coulson, R. L. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism, and Hypertext: Random Access Instruction for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. In T. Duffy & D. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation* (pp. 57–75). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Stelzer, T., Gladding, G., Mestre, J., & Brookes, D. T. (2009). Comparing the efficacy of multimedia modules with traditional textbooks for learning introductory physics content. *American Journal of Physics*, 77(2), 184–190.
- STTIS. (1998). *STTIS Report RW0 Outline and justification of research methodology: Work packages WP1, WP2 and WP3*.
- Stylianidou, F., & Ogborn, J. (2002). Analysis of science textbook pictures about energy and pupils' readings of them. *International Journal of Science Education*, 24(3), 257–283.
- Sun, P.-C., & Cheng, H. K. (2007). The design of instructional multimedia in e-Learning: A Media Richness Theory-based approach. *Computers & Education*, 49(3), 662–676.
- Swaak, J., van Joolingen, W. R., & de Jong, T. (1998). Supporting simulation-based learning; the effects of model progression and assignments on definitional and intuitive knowledge. *Learning and Instruction*, 8(3), 235–252.
- Sweller, J., Van Merriënboer, J., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Educational Psychology Review*, 10(3), 251–296.
- Tabbers, H., Martens, R., & Merriënboer, J. (2004). Multimedia instructions and cognitive load theory: Effects of modality and cueing. *British Journal of Educational Psychology*, 74, 71–81.
- Tesch, R. (1990). *Qualitative Research: Analysis Types and Software Tools*. New York: Falmer Press.
- Testa, I., Monroy, G., & Sassi, E. (2002). Students' reading images in kinematics: The case of real-time graphs. *International Journal of Science Education*, 24(3), 235–256.
- Thong, W. M., & Gunstone, R. (2008). Some Student Conceptions of Electromagnetic Induction. *Research in Science Education*, 38(1), 31–44.
- Tortosa, M. (1998). La velocitat de reacció. *Ciències: revista del professorat de ciències de primària i secundària*, 11, 8–11.

- Treagust, D., & Gilbert, J. K. (2009). *Multiple Representations in Chemical Education*. Dordrecht: Springer.
- Treagust, D., & Tsui, C.-Y. (2013). *Multiple Representations in Biological Education*. Dordrecht: Springer.
- Trinidad, J., Filhais, C., & Almeida, L. (2002). Science learning in virtual environments: a descriptive study. *British Journal of Educational Technology*, 33(4), 471–488.
- Tusón, J. (2001). *Diccionari de Lingüística* (p. 396). Barcelona: Vox.
- Tversky, B., Morrison, J. B., & Betrancourt, M. (2002). Animation: Can it facilitate? *International Journal of Human-Computer Studies*, 57(4), 247–262.
- Van der Meij, J., & de Jong, T. (2006). Supporting students' learning with multiple representations in a dynamic simulation-based learning environment. *Learning and Instruction*, 16, 199–212.
- Veel, R. (1998). The greening of school science. In J. R. Martin & R. Veel (Eds.), *Reading Science*. New York: Routledge.
- Viennot, L. (1979). Spontaneous reasoning in elementary dynamics. *European Journal of Science Education* 1, 1(2), 205–225.
- Viennot, L. (1996). *Raisoner en Physique. La part de sens commun*. Belgium: De Boeck Université Pratiques Pedagogiques.
- Vilafañe, J. (1988). *Introducción a la teoría de la imagen*. Madrid: Piramide.
- Vilafañe, J., & Mínguez, N. (1996). *Principios de Teoría General de la Imagen*. Madrid: Piramide.
- Waldrip, B., Prain, V., & Carolan, J. (2006). Learning Junior Secondary Science through Multi-Modal Representations. *Electronic Journal of Science Education*, 11(1), 87–107.
- Wieman, C. E., Adams, W. K., & Perkins, K. K. (2008). PhET: simulations that enhance learning. *Science*, 322(5902), 682–683.
- Winn, W. D. (1994). Contributions of perceptual and cognitive processes to the comprehension of graphics. In Wolfgang Schnotz & Kulhavy (Eds.), *Comprehension of graphics. Advances in psychology* (Vol. 108, pp. 3–28). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Wiser, M. (1995). Use of History of Science to Understand and Remedy Students' Misconceptions about Heat and Temperature. In D. Perkins (Ed.), *Software Goes to Teaching for Understanding with New Technologies* (pp. 23–38). Oxford University Press.
- Wood, L. N., Sadhbh, J., Petocz, P., & Rodd, M. (2007). Learning in Lectures: multiple representations. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 38(7), 907–915.
- Yun-Ping, G. (2013). What can images tell? A cross-cultural comparison of science textbooks between Australia and Taiwan. In *ESERA 2013 Conference Proceedings*.
- Zacharia, Z. (2003). Beliefs, attitudes, and intentions of science teachers regarding the educational use of computer simulations and inquiry-based experiments in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(8), 792–823.

- Zacharia, Z. (2007). Combining real and virtual laboratory experimentation: An effort to enhance students' conceptual understanding of electric circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*, 23(120-132).
- Zacharia, Z., G., O., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of Experimenting with Physical and Virtual Manipulatives on Students' Conceptual Understanding in Heat and Temperature. *Journal of research in Science Teaching*, 45(1021-1035).
- Zheng, R. Z., Yang, W., Garcia, D., & McCadden, E. P. (2008). Effects of multimedia and schema induced analogical reasoning on science learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(6), 474–482.

Capítol 18. Annexos

En el CD adjunt a aquesta tesi es poden trobar els següents documents:

Annex 1:	Calendari de tasques: Inclou la relació detallada de tasques realitzades i els mesos del període desembre 2010-gener 2014 en que s'ha realitzat cada tasca.
Annex 2:	Dossier dels alumnes de les pràctiques EN i EL1: Inclou els materials didàctics que es dona als alumnes en les dues pràctiques del projecte REVIR a través de les quals hem recollit una part de les dades de la recerca.
Annex 3:	Convenis amb els centres: Inclou el conveni firmat entre la Universitat Autònoma de Barcelona i els centres escolars en els que s'han realitzat les gravacions.
Annex 4:	Respostes dels estudiants en el pilotatge inicial: Inclou les respostes d'una quarantena d'estudiants participants del projecte REVIR que van respondre a les preguntes formulades entorn de les simulacions A i B.
Annex 5:	Entrevistes: Inclou la transcripció completa de les 14 entrevistes, així com els enllaços (privats) als vídeos de les entrevistes en Youtube.
Annex 6:	Fragments d'entrevistes: Inclou tots els fragments d'entrevistes seleccionats com a quote a través del programa Atlas.ti amb el seu codi de quota corresponent.
Annex 7:	Intervencions d'estudiants al REVIR: Inclou el recull dels comentaris fets per estudiants i obtinguts en la fase final de recollida de dades.

Índex dels annexos

Annex 1:	Calendari de tasques: Inclou la relació detallada de tasques realitzades i els mesos del període desembre 2010-gener 2014 en que s'ha realitzat cada tasca.
Annex 2:	Dossier dels alumnes de les pràctiques EN i EL1: Inclou els materials didàctics que es dona als alumnes en les dues pràctiques del projecte REVIR a través de les quals hem recollit una part de les dades de la recerca.
Annex 3:	Convenis amb els centres: Inclou el conveni firmat entre la Universitat Autònoma de Barcelona i els centres escolars en els que s'han realitzat les gravacions.
Annex 4:	Respostes dels estudiants en el pilotatge inicial: Inclou les respostes d'una quarantena d'estudiants participants del projecte REVIR que van respondre a les preguntes formulades entorn de les simulacions A i B.
Annex 5:	Entrevistes: Inclou la transcripció complerta de les 14 entrevistes, així com els enllaços (privats) als vídeos de les entrevistes en Youtube.
Annex 6:	Fragments d'entrevistes: Inclou tots els fragments d'entrevistes seleccionats com a quote a través del programa Atlas.ti amb el seu codi de quota corresponent.
Annex 7:	Intervencions d'estudiants al REVIR: Inclou el recull dels comentaris fets per estudiants i obtinguts en la fase final de recollida de dades.

Annex 1: Calendari de tasques

Inclou la relació detallada de tasques realitzades i els mesos del període desembre 2010-gener 2014 en que s'ha realitzat cada tasca.

Mesos	Tasques
Desembre 2010	Presentació de la memòria inicial de tesi
Gener 2011	Revisió bibliogràfica i construcció del marc teòric
Febrer 2011	Revisió bibliogràfica i construcció del marc teòric
Març 2011	Revisió bibliogràfica i construcció del marc teòric
Abril 2011	Disseny de les practiques de laboratori EN i EL1 i selecció simulacions
Maig 2011	Proves pilot de les pràctiques EN i EL1 incloent-hi les simulacions
Juny 2011	Proves pilot de les pràctiques EN i EL1 incloent-hi les simulacions
Juliol 2011	Anàlisi de les simulacions A i B
Agost 2011	(Avaluació 1r any i assistència a congressos)
Setembre 2011	Revisió bibliogràfica i construcció del marc teòric
Octubre 2011	Revisió bibliogràfica i construcció del marc teòric
Novembre 2011	Recollida de dades pilot al REVIR (amb qüestionari i petites gravacions)
Desembre 2011	Recollida de dades pilot al REVIR (amb qüestionari i petites gravacions)
Gener 2012	Anàlisi de les dades recollides en la prova pilot
Febrer 2012	Disseny del guió d'entrevista i preparació de convenis i entrevistes
Març 2012	Gravacions als centres
Abril 2012	Gravacions als centres
Maig 2012	Transcripció i anàlisi de les entrevistes
Juny 2012	Transcripció i anàlisi de les entrevistes
Juliol 2012	Anàlisi de les entrevistes
Agost 2012	(Avaluació 2n any i assistència a congressos)
Setembre 2012	Anàlisi de les entrevistes
Octubre 2012	Nova revisió bibliogràfica i refinament del sistema d'anàlisi
Novembre 2012	Nova revisió bibliogràfica i refinament del sistema d'anàlisi
Desembre 2012	Nova revisió bibliogràfica i refinament del sistema d'anàlisi
Gener 2013	Discussió dels resultats sobre dificultats de lectura
Febrer 2013	Discussió dels resultats sobre dificultats de lectura
Març 2013	Nova recollida de dades al REVIR
Abril 2013	Nova recollida de dades al REVIR
Maig 2013	Discussió dels resultats sobre explicacions errònies
Juny 2013	Discussió dels resultats sobre explicacions errònies
Juliol 2013	Redacció final de la memòria de tesi
Agost 2013	(Avaluació 3r any i assistència a congressos)
Setembre 2013	Redacció final de la memòria de tesi
Octubre 2013	Redacció final de la memòria de tesi
Novembre 2013	Redacció final de la memòria de tesi
Desembre 2013	Redacció final de la memòria de tesi

Annex 2: Dossier dels alumnes de les pràctiques EN i EL1

Inclou els materials didàctics que es dona als alumnes en les dues pràctiques del projecte REVIR a través de les quals hem recollit una part de les dades de la recerca.

EN – Dissipació de l'energia en els discos de fre

1. Una descoberta sorprenent

La Laura i el Cristian són dos joves molt aficionats als Rallys de cotxes, i acostumen a anar a veure campionats o exhibicions quan es fan a prop de casa. Normalment hi van a l'estiu perquè és quan se'n fan més i quan fa més bon temps, però aquest darrer hivern es feia una exhibició a les afores de Montcada i Reixac a les set del vespre i van anar-hi perquè no s'ho volien perdre. Com que a l'hivern es fa fosc molt aviat, els cotxes anaven amb els fars encesos. Ara bé, el que més va sorprendre a la Laura i al Cristian era que un dels cotxes portava també llums a les llantes. Si més no, això és el que els hi va semblar quan va veure una escena com la que es veu en el següent vídeo:



http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=86UzeoQGXPY

El Cristian va dir: "Mira quins fars més tuning que s'ha posat el cotxe a l'interior de les llantes de la roda!"

Completa al teu dossier:



1. Cristian té raó pensant que la llum era una decoració tuning? Per què?

2. Les rodes del cotxe de Rally

Com que no es posaven d'acord, tot just acabat el Rally van acostar-se al cotxe que havien vist amb la llanta il·luminada per veure de què es tractava exactament. Al fixar-se bé, tots dos van veure que no era la llanta el que s'havia il·luminat, sinó el disc de fre!

El metall, en comptes de ser gris tenia un color vermellós, i a més a més, sortia fum del disc de fre i les pastilles de fre feien una olor com de socarrimat, tal com mostra el vídeo:



http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=YSPcUBY-5rg

Completa al teu dossier:



2. Explica d'on prové i quin camí ha seguit l'energia associada a la llum del disc de frens des de que la roda està en moviment fins que el cotxe està parat i el disc deixa de brillar. Anomena l'origen de l'energia, a on va i com es transfereix d'un sistema a l'altre. Pots ajudar-te amb un dibuix o amb un esquema si ho prefereixes.

3. Generalització del fenomen

Com veuràs, el que li ha passat al cotxe no és exactament una qüestió de llums, sinó que hi intervé un fenomen que succeeix en el disc de fre. Per tant, per entendre millor el que li ha passat al cotxe del vídeo potser caldria entendre una mica millor com funciona un disc de fre. Havies sentit a parlar alguna vegada de com funciona un disc de fre? Saps com funciona? Mira les imatges que hi ha a continuació i discuteix amb els teus companys quin podria ser el seu funcionament.

Ara que ja coneixes el funcionament d'un disc de fre, veuràs que tot encaixa, oi? En els vídeos, **el fregament produït entre les pastilles i el disc de fre van escalfar tant el disc de fre que el seu material es va tornar incandescent. Aquesta incandescència no dura sempre perquè al deixar de frenar, el disc de fre es refreda, escalfant l'aire al seu voltant (escalfant l'ambient).**

Completa al teu dossier:



3. Se t'acut alguna altra situació on hi hagi un escalfament?
 4. En tots els exemples que has mencionat, els objectes s'escalfen de la mateixa manera? Com pots classificar aquestes formes d'escalfament?

4. Estudi del muntatge experimental

Ara ja saps que el fregament entre dues superfícies produeix un escalfament d'aquestes. Una possibilitat per mesurar l'escalfament que es produeix en un fregament és fer-ho a través del muntatge que veurem a continuació. Aquest muntatge **és una analogia amb el sistema de frenada entre el disc i les pastilles de fre.**

Descripció del muntatge experimental

El dispositiu a utilitzar, en comptes de disc i de pastilles, compta amb una roda molt propera a una ampolla de plàstic. La separació entre la roda i l'ampolla és tan petita que un petit augment del volum



de l'ampolla provoca un contacte entre tots dos cossos, de forma que es produeix un **fregament**. Per produir un canvi de volum en l'ampolla s'ha omplert d'aigua i pel tap es fa passar un tub de goma connectat a una xeringa amb aigua. En prémer la xeringa, entra més aigua a l'ampolla la qual augmenta de volum.

Per analitzar l'escalfament de les superfícies quan la roda es veu frenada utilitzem un sensor de temperatura connectat a un ordinador. Aquest sensor l'anomenem termoparell, i el posem en contacte amb una làmina de coure situada entre les dues superfícies en contacte (l'ampolla i la roda). El termoparell està connectat a una consola que envia les dades de temperatura a l'ordinador, el qual les analitza amb el programa **Multilab**.

Completa al teu dossier:



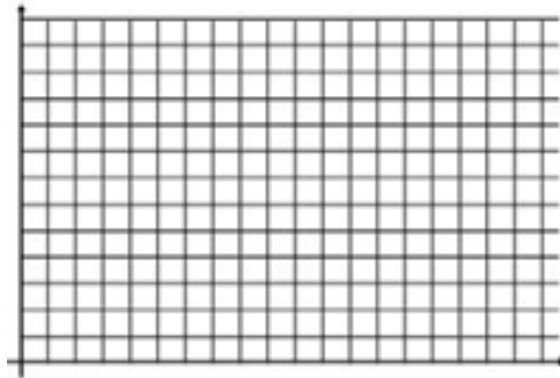
5. Identifica els diferents elements que componen el muntatge experimental i relaciona'ls amb el sistema de discos de frens que has vist anteriorment.

Sistema de discos de frens	Muntatge experimental
Disc de fre	
Pastilles de fre	
	Ampolla d'aigua
Líquid a pressió del sistema hidràulic	

6. Enumera de forma ordenada les diferents etapes que pots observar al llarg del procés, des de que la roda està aturada fins que hagin passat alguns minuts de la frenada.

Etapa 1:	
Etapa 2:	
Etapa 3:	
Etapa 4:	
Etapa 5:	

7. Tot seguit, utilitza els eixos de coordenades que trobaràs a continuació i dibuixa l'evolució de la temperatura durant tot el procés, és a dir, abans, durant i després de la frenada. Com que els eixos de coordenades no tenen valors, pots posar les unitats i els valors que tu vulguis.



5. Presa de dades i discussió de les mesures

Ja estàs en disposició de prendre mesures. Per fer-ho, tot el grup haureu de seguir els següents passos:

5.1. Preparació del sistema

1. Col·loca la punta del termoparell que trobaràs sobre la taula a dins del plec que té la làmina de coure. Després, fixa el termoparell amb cinta adhesiva per evitar que es mogui.
2. Ajusta l'ampolla i la làmina de coure per garantir que quan aquesta s'infla es produeixi un contacte amb la roda. Assegura't que l'ampolla està ben subjecta per evitar que es mogui.
3. Segueix el següent enllaç on trobaràs la **configuració de l'equipament informàtic**.

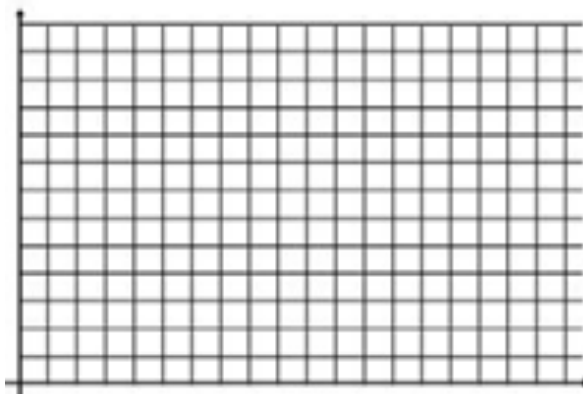
5.2. Presa de dades

Abans de començar l'enregistrament de dades, però, fes girar la roda a certa velocitat i quan la roda estigui girant de forma constant, comença la presa de dades. Tot just hagi començat a mesurar, prem ràpidament la xeringa i observa els resultats durant uns minuts, tal com et mostra el vídeo:

Completa al teu dossier:



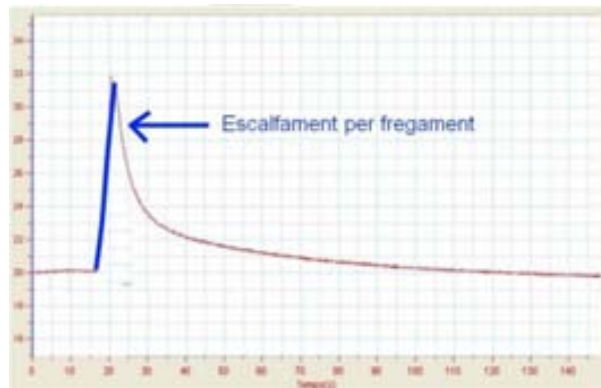
8. Dibuixa la forma de la gràfica experimental que has obtingut en els eixos de coordenades. Explica les semblances i diferències entre la gràfica experimental i la teva predicció.



9. Identifica en el gràfic que has dibuixat les diferents etapes del procés, i indica amb diferents fletxes quina part del gràfic correspon a aquestes etapes.

6. Escalfament per fregament

Una de les etapes que hauràs identificat en la gràfica que has obtingut és l'etapa en la que el coure s'escalfa i per tant, augmenta la seva temperatura. A aquesta etapa l'anomenarem “**Escalfament per fregament**”:



A continuació, estudiarem a fons aquest escalfament i intentarem trobar-ne les causes. El primer que farem serà seleccionar el tros de gràfic que correspon a l'escalfament. Quan ho hagi fet, veuràs que a sobre la línia del gràfic han aparegut dues petites fletxes de color negre que pots arrossegar al llarg del gràfic. Sota el gràfic t'hauran aparegut dos valors que el programa **MultiLog** anomena **dx** i **dy** i que varien en funció de la posició de la fletxa. Primer col·loca una de les fletxes en el valor de temperatura més baix i l'altra en el valor de temperatura més alt. Tot seguit, respon a les preguntes següents:

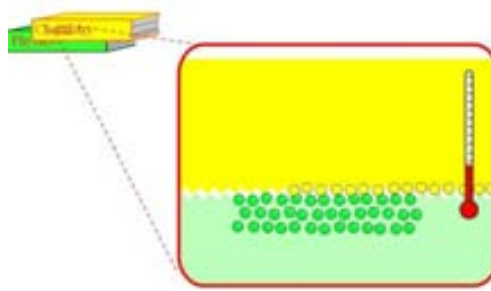
Completa al teu dossier:



10. Respon a les següents qüestions:

- Quin valor de **dy** has obtingut i quin és el seu significat físic?
 - Si vols, pots intentar aconseguir un **dy** molt i molt gran. Com podries fer-ho per aconseguir que la temperatura pugi molt?
- Tots els grups disposeu de diferents dispositius experimentals que es diferencien entre ells pel tamany i la massa de les rodes. A continuació intenta aconseguir el **dy** més gran possible i compara'l amb la resta de grups, per a què identifiquis en que afecta a aquesta variable.
- Augmenta més la temperatura si la roda és més petita o més gran? Augmenta més la temperatura si la roda té major o menor massa? A quina conclusió pots arribar?

Un cop has discutit amb els teus companys el procés d'escalfament per fregament, et proposem que realitzis la següent simulació, que trobaràs clickant la següent imatge. En aquesta simulació apareixen dues superfícies en contacte que corresponen a dos llibres de text. Aquests apareixen a dalt de tot a l'esquerra. El quadre central representa la interacció a nivell microscòpic entre les partícules que conformen aquestes dues superfícies, i un termòmetre que representa de forma simbòlica les variacions de temperatura que hi ha entre les superfícies. Col·loca el punter a sobre de la superfície groga i arrossega-la el punter en un sentit i un altre tot observant què succeeix amb el termòmetre i amb les partícules que es veuen.



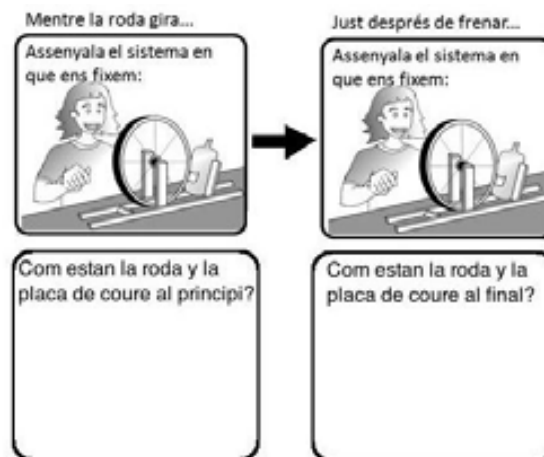
Completa al teu dossier:



11.

- a) Què és el que fa que les partícules vibrin més quan fregues els dos llibres?
 b) Creus que gràcies a la simulació pots entendre millor perquè quan fregues dues superfícies s'escalfen?

12. Completa el següent esquema, marcant o dibuixant al dibuix des de quin sistema es transfereix l'energia:



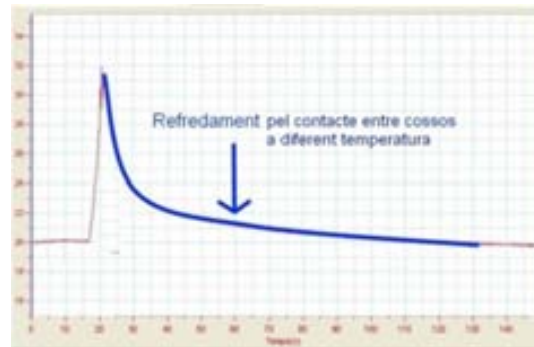
13. Explica amb termes d'energia com es produeixen aquests canvis.

14. Creus que tota l'energia del moviment de la roda s'ha invertit en escalfar el coure?

La transferència d'energia que es dona en la situació inicial (la roda en moviment) i final (coure calent) s'ha produït perquè la roda ha fregat amb el coure, és a dir, la roda ha realitzat un treball sobre la placa de coure. Quan existeixen forces que actuen sobre els sistemes parlarem d'una transferència d'energia a través del treball.

7. Refredament per contacte de cossos a diferents temperatures

Una altra etapa que hauràs identificat en la gràfica és la que podem anomenar “**Refredament per contacte de cossos a diferents temperatures**”:



Completa al teu dossier:



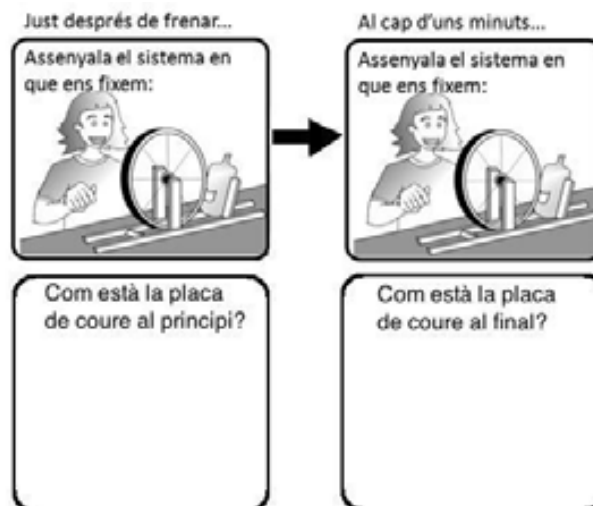
15. Creus que el descens de temperatura és tota l'estona constant?

16. Completa la següent taula, mesurant en cada cas la variació de temperatura que es produeix en cada interval de 10 segons. Pots fer-ho mesurant els valors de Δx i Δy igual com has fet abans.

Temps	Variació de la temperatura
0-10s	
10-20s	
20-30s	
30-40s	

17. Quin és el valor de la temperatura a la que arriba sempre la gràfica i perquè creus que té aquest valor?

18. Completa el següent esquema marcant o dibuixant a sobre d'aquest des de quin sistema es transfereix l'energiaP:



19. En què s'ha invertit l'energia que tenia la placa de coure calent?

20. On està aquesta energia ara?

La transferència d'energia que s'ha donat en la situació inicial (coure calent) a la final (coure fred) es deu al contacte entre el coure i l'entorn, els quals a més es troben a diferent temperatura.


T'hauràs fixat que el coure es trobava a major temperatura que l'entorn, de forma que s'ha transferit a través de calor, des del coure a l'entorn, fins que la temperatura entre ambdós s'ha igualat, al què anomenem equilibri tèrmic.

Quan dos cossos en contacte es troben a diferent temperatura, es transfereix energia del sistema de major temperatura al de menor temperatura a través del mecanisme anomenat calor.





8. Les transferències d'energies

Avui hem estudiat dos fenòmens, que són l'escalfament que es produeix per fregament i el refredament que es produeix per interacció amb l'entorn. El primer el vas poder observar quan l'ampolla amb aigua augmenta el seu volum i frega amb la placa de coure, en canvi el segon el vas observar quan la placa de coure es va començar a refredar a l'estar en contacte amb l'ambient, arribant a un estadi d'equilibri tèrmic.

Lo interessant és que en ambdós fenòmens els canvis que es produeixen (que la roda freni i augmenti la temperatura de la placa, que la placa es refredi i augmenti la temperatura de l'entorn) ens indica que existeix una transferència d'energia d'un sistema a un altre: de la roda a la placa a través del mecanisme de treball, i de la placa a l'entorn a través del mecanisme de calor.

Completa al teu dossier: 

21. Anem a seguir el camí de l'energia i veure com es produeixen aquestes transferències d'energia a cada canvi, completant el següent esquemP:

Abans que la roda giri...	Mentre la roda gira...	Just després de frenar...	Al cap d'uns minuts...
Assenyala el sistema en que ens fixem: 	Assenyala el sistema en que ens fixem: 	Assenyala el sistema en que ens fixem: 	Assenyala el sistema en que ens fixem: 
Quins canvis es produeixen? Descriu com es transfereix l'energia d'un sistema a un altre	Quins canvis es produeixen? Descriu com es transfereix l'energia d'un sistema a un altre	Quins canvis es produeixen? Descriu com es transfereix l'energia d'un sistema a un altre	Quins canvis es produeixen? Descriu com es transfereix l'energia d'un sistema a un altre
Treball <input type="checkbox"/> Calor <input type="checkbox"/>	Treball <input type="checkbox"/> Calor <input type="checkbox"/>	Treball <input type="checkbox"/> Calor <input type="checkbox"/>	Treball <input type="checkbox"/> Calor <input type="checkbox"/>


9. La degradació de l'energia

Fixa't que en les situacions estudiades es produeixen canvis en l'estadi (en com estan) els sistemes: en com es mouen, a quina temperatura estan, etc. Al llarg del procés, també veiem que uns canvis generen uns altres, per exemple, la roda canvia el seu estadi de moviment al fregar amb la placa, i aquest canvi genera un altre canvi en la placa, que augmenta la seva temperatura. De la mateixa forma, la placa calenta canvia el seu estadi de temperatura al refredar-se, i aquest canvi de temperatura genera un altre canvi de la temperatura de l'aire del voltant de la placa, que s'escalfa. Si sempre poguéssim aprofitar els canvis per produir uns altres canvis equivalents, aquest procés no acabaria mai.




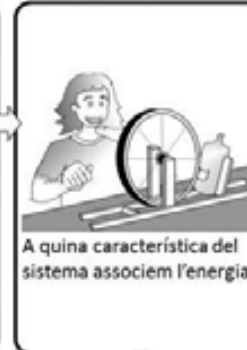
Hem vist que una forma de pensar en el que passa durant els canvis es veure que en cada canvi hi ha una transferència d'energia associada, de forma que l'energia d'una part del sistema es transfereix a una

altra. Igual que abans, si en cada canvi sempre es transferís tota l'energia i aquesta fos totalment aprofitable, aquest procés no acabaria mai.

Per estudiar si això és el que passa, anem a analitzar si l'energia que hi ha en cada etapa del procés és més o menys útil que en l'etapa anterior. És a dir, en cada etapa del procés ens preguntarem **“De quines altres formes podríem haver aprofitat l'energia que tenim?”**.

Completa al teu dossier: 

22. Hem vist que en el procés estudiat a cada canvi hi ha una transferència d'energia. Aquest procés sembla tenir un final, és a dir, amb la roda parada i freda no succeeixen més canvis. Com podem aprofitar l'energia a cada etapa?

Abans que la roda giri...	Mentre la roda gira...	Just després de frenar...	Al cap d'uns minuts...
 <p>A quina característica del sistema associem l'energia:</p>	 <p>A quina característica del sistema associem l'energia:</p>	 <p>A quina característica del sistema associem l'energia:</p>	 <p>A quina característica del sistema associem l'energia:</p>
<p>De quines altres maneres s'hauria pogut aprofitar l'energia?</p>	<p>De quines altres maneres s'hauria pogut aprofitar l'energia?</p>	<p>De quines altres maneres s'hauria pogut aprofitar l'energia?</p>	<p>De quines altres maneres s'hauria pogut aprofitar l'energia?</p>

23. Una persona disposa de 50J d'energia, que els associem al seu braç, tal com es mostra a l'etiqueta de la figura anterior. Tu saps que l'energia es conserva, aleshores P:

- Què passa amb l'energia a cada etapa?
- Marca al dibuix anterior, utilitzant etiquetes, quanta energia associes a cada part del sistema.

24. Compara els canvis que pots produir amb l'energia de l'inici i del final del procés.

- En quina etapa disposem d'una major utilitat de l'energia?
- En quina etapa l'energia és menys útil?
- A quina conclusió podem arribar respecte com d'aprofitable és l'energia en cada pas d'aquesta cadena de canvis?

Per comprendre el principi de conservació de l'energia pots analitzar les següents situacions.

Disposem de quatre gots, el primer amb una quantitat inicial d'aigua que anirem depositen en cadascun dels altres gots, a mesura que s'aboca en el got següent cau una certa quantitat d'aigua al terra. Fixat que a l'arribar al darrer disposem de menys aigua al got, però la quantitat necessària d'aigua segueix sent la mateixa, només que està distribuïda en diferents parts. El mateix succeeix amb l'energia, disposem d'una quantitat inicial i a mesura que es transfereix d'un sistema a l'altre disposem de menys energia útil, però la resta d'energia no s'ha perdut, només s'ha transmès als altres sistemes, com per exemple, l'entorn.

L'energia és conserva però es degrada a mesura que es transfereix, és a dir, cada vegada disposem de menys energia útil.

Completa al teu dossier:



25. Series capaç de descriure de l'energia (des que hem posat la roda en funcionament fins que el coure s'ha refredat per complert)? Prova-ho!

Per saber mésP: Què diu la ciència?

La naturalesa tendeix de forma espontània i irreversible a homogeneïtzar les diferències i anul·lar les possibilitats de canvi. Al llarg d'un procés espontani cada vegada tenim l'energia més degradada, és a dir, tenim energia de menys qualitat per produir canvis. Un exemple d'un procés espontani en el que deixem de tenir energia útil, és la tendència a l'equilibri tèrmic.

No obstant, nosaltres necessitem produir canviP: adquirir velocitat en el cotxe, aconseguir una alçada o frenar una possible caiguda a l'ascensor, escalfar la llet de l'esmorzar, etc. Quan volem produir canvis de forma contínua i tenint en compte, que l'energia dels sistemes de forma espontània es degraden, necessitem un obtenció externa d'energia útil. A això normalment l'anomenem "**consumir energia**".

10. L'estalvi energètic en la frenada

Per acabar, et proposem que et fixis en un sistema que darrerament s'ha posat en pràctica en alguns vehicles per tal d'aprofitar l'energia que es dissipa en una frenada.

És un sistema anomenat "**Fre regeneratiu**", que aprofita part de l'energia que es dissipa durant el procés de frenada per carregar una bateria que incorpora el cotxe. Per fer-ho, utilitza uns imants que, al moure's, interaccionen amb unes bobines (conjunt d'espines de material conductor connectades a un circuit elèctric) que produeixen electricitat, i aquesta electricitat carrega una bateria elèctrica. És a dir, les rodes, a través dels imants que té instal·lats, fan un treball sobre les bobines, i l'energia transferida a les bobines s'emmagatzema a una bateria, i permet posteriorment encendre altres aparells elèctrics del cotxe.

Completa al teu dossier:



26. A partir de tot el que has après avui, explica quines diferències hi ha entre la cadena de transferència d'energia en el fre convencional i en el fre regenerador. Pots dibuixar un o varis esquemes, si vols.

27. Com relaciones les diferències entre les dues cadenes energètiques amb la degradació de l'energia?

EL1 – Com podem generar electricitat?

1. Introducció

Al llarg d'un dia qualsevol de la teva vida quotidiana, utilitzes tota mena d'aparells elèctrics, com ara la televisió, les bombetes i fluorescents que t'il·luminen, el microones, la nevera ...

Ara bé... **T'has preguntat alguna vegada com es genera l'electricitat que ens arriba a casa?**

Completa al teu dossier:



1. De quines maneres creus que es pot generar electricitat? Escriu-les en forma de llista i posa-les en comú amb la resta del teu grup:

2. Primera experiènciaP: Els imants

Ara realitzaràs una experiència per investigar com els imants influeixen en els materials magnètics que tenen en el seu entorn. Per fer-ho, observaràs que succeeix quan apropem l'imant a diferents tipus de materials, i el comportament de les llimadures de ferro quan hi acostem un imant. Primer, agafa els imants i acosta'ls als diferents materials que trobaràs a sobre de la taula.



Fig.1. Diferents materials que trobaràs a sobre la taula per experimentar; anell de ferro, fil de paper de plata, fil de coure i placa de coure.

Completa al teu dossier:



2. Explica que succeeix en cada cas. Expressa els resultats en forma de taula.

Segon, apropa els imants a l'ampolla d'oli que conté llimadures de ferro i prova diferents orientacions.



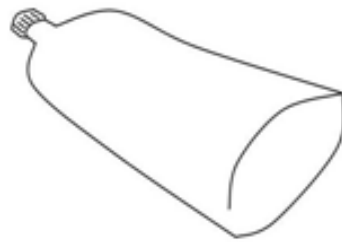
Fig.2. Ampolla d'oli amb llimadures de ferro.

Completa al teu dossier:



3. Dibuixa la forma que produeixen les llimadures de ferro i intenta explicar amb les teves paraules com

és aquesta forma.



4. Com hauràs pogut observar, el comportament de les llimadures de ferro està influenciat per la presència de l'imant. Com creus que l'imant pot fer moure les llimadures de ferro encara que no les toqui directament?

5. Quina paraula científica utilitzaries per descriure la pertorbació que hi ha al voltant de l'imant?

Per conèixer millor què passa al voltant d'un imant, també podem utilitzar un **sensor de magnetisme**. Selecciona el següent enllaç on trobaràs les instruccions de configuració per l'enregistrament de dades amb el sensor de magnetisme. Un cop configurat el sensor mesura el valor que obtens movent el sensor i situant-lo en diferents posicions respecte l'imant, com per exemple les que es mostren en les següents figureP:



Fig..3. Exemple de les diferents orientacions que es poden realitzar per mesurar amb el sensor de magnetisme l'imant.

Completa al teu dossier:



6. En quina posició has mesurat un valor més gran? Explica amb les teves paraules què vol dir que en un punt t'hagi donat un valor més gran o més petit.

3. Segona experiènciP: Les bobines

Per fer aquesta experiència, realitzaràs diversos muntatges amb un fil de coure, una placa de coure, una bobina i el sensor de voltatge. Segueix els següents passoP:

- a) Configurar el sensor de voltatge per poder realitzar la presa de dades correctament. Trobaràs les instruccions al següent enllaç.
- b) Connecta els diferents materials amb el sensor de voltatge i agafa l'imant, apropa'l i mou-lo igual que als vídeos que trobaràs a continuació:



- c) Observa si a la gràfica de voltatge que apareix per pantalla es pot veure alguna petita variació del voltatge mesurat.
- d) Repeteix aquesta experiència amb tots els materials que tens al teu abast i indica el què passa a la pregunta 7.

Completa al teu dossier:



7. Indica si es mesura algun tipus de voltatge per cada tipus de material que has fet servir.
8. N'hi ha prou amb acostar i allunyar un imant a un material conductor per a produir electricitat?
9. Quines altres condicions s'han de complir per a que es produeixi electricitat?
10. A partir de tot el que has après fins ara, escriu una frase que serveixi com a conclusió en la que surtin els següents termeP:

corrent elèctric

moviment

imant

conductor elèctric

forma d'espines

4. La inducció magnètica

Que és la inducció electromagnètica?

La inducció electromagnètica és un fenomen que es descobrí al s. XIX. Abans, tothom pensava que **la electricitat i el magnetisme eren dos fenòmens físics independents**. En canvi, els científics de l'època van veure que quan movien un imant a prop d'un material conductor, en alguns casos **es produïa electricitat dintre del material conductor**. Aquesta electricitat que es produeix en els materials conductors es pot mesurar amb un aparell que mesuri el voltatge, ja que en realitat el que es produeix en el material conductor és una **diferència de voltatge entre els seus extrems**.



Fig. 4. Dibuix d'un dels experiments que van fer al s.XIX per veure la relació entre electricitat i magnetisme.

Hem vist que quan hem acostat un imant a un conductor en forma d'espines es produeix una diferència de voltatge entre els extrems del conductor. Però.... quanta electricitat podem generar? Molta o poca? De què creus que depèn que generem més o menys electricitat? Com podem saber quina és la manera de generar el màxim d'electricitat possible? Per respondre totes aquestes preguntes, faràs dues noves experiències, una de real i una altra de virtual. Per fer **l'experiència real**, agafa una bobina i connecta els seus extrems al sensor de voltatge. Després, mou un imant al voltant de la bobina amb tots els moviments possibles que se t'acudeixin.

Completa al teu dossier:



11. Quin és el moviment de l'imant amb el que es produeix un voltatge més gran?

Tot seguit, faràs el mateix amb **l'experiència virtual**, basada en una simulació on es representa un imant i una bobina connectada a un sensor de voltatge com el que hi ha al laboratori.

Explicació de la simulació

En aquesta simulació apareix una bobina connectada pels seus dos extrems a un circuit elèctric. En el circuit també hi ha una bombeta i un sensor de voltatge que es representa a través d'una agulla que gira. La simulació permet moure un imant representat per un objecte rectangular de color vermell i blau. A dalt de tot, hi ha l'opció de modificar algunes variables, com ara la posició de l'imant o el nombre de bobines (una o dues), tot i que nosaltres no utilitzarem aquesta opció.

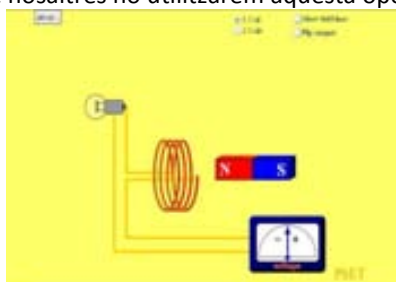


Fig.5. Simulació de com generar electricitat a través d'una bobina i un imant per encendre un llum.

Completa al teu dossier:



12. Quins elements de la simulació ens permeten veure si es genera un voltatge entre els extrems de la bobina?

13. Quin és el moviment de l'imant amb el que es produeix un voltatge més gran?

14. Quines semblances i diferències trobes entre la simulació i l'experiment real que has fet abans?

Ara, prem sobre la opció **Show field lines**, que en anglès significa "mostra les línies de camp". T'apareixerà una imatge com aquesta:

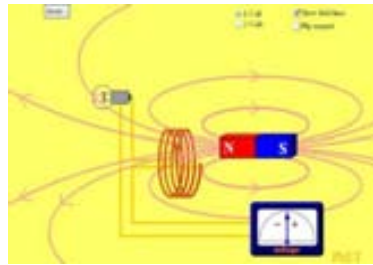


Fig.6. També apareixen les línies del camp magnètic de l'imant.

Repeteix l'experiment de moure l'imant i respon a les qüestions següents:

Completa al teu dossier:



15. Quina relació hi ha entre les línies de camp i els resultats que havies trobat abans?
16. Escriu quines són les condicions que s'han de donar per tal que la bombeta s'il·lumini al màximP:

5. Com generar el màxim d'electricitat possible

Molt possiblement, gràcies a les experiències anteriors, hauràs arribat a la conclusió que el voltatge és màxim quan fas passar l'imant per l'interior de la bobina. Tot i així, encara hi ha més variables que poden intervenir per tal d'aconseguir generar un voltatge més gran o més petit. Per poder estudiar aquestes variables, et proposem que realitzis un muntatge com de la figuraP:



Fig.7. Muntatge experimental que utilitzarem per generar un voltatge més elevat, compost d'una bobina connectada a un sensor de voltatge i un tub de metacrilat.

Gràcies a aquest muntatge, podràs fer passar l'imant per l'interior de la bobina amb més o menys velocitat, tot depenent de l'altura a la que col·loquis la bobina. Si la bobina està més amunt, l'imant la travessarà amb menys velocitat. Si la bobina està més a baix, l'imant la travessarà amb més velocitat.

Discuteix en grup:



- Com creus que cadascuna d'aquestes variables pot influir en el valor del voltatge que obtenim?

Completa al teu dossier:



17. Completa la següent taulaP:

Variable	Com influeix en el valor del voltatge?
La velocitat amb que l'imant travessa la bobina	
El nombre d'espines de la bobina	
El nombre d'imants que llancem	

Un cop hagueu discutit com influeixen aquestes variables, comprova a través d'experiments si el que havíeu previst es compleix o no. Tingues present que cada vegada que modifiques una variable, les altres no es poden modificar. Després de realitzar varis experiments, contesta a la següent qüestió:

Completa al teu dossier:



18. Completa la següent taula:

Variable	Com influeix en el valor del voltatge?	Semblances / diferències amb la predicció que havíem fet
La velocitat amb que l'imant travessa la bobina		
El nombre d'espises de la bobina		
El nombre d'imants que llancem		

19. Dibuixa la forma que té la gràfica que us ha sortit en pantalla cada vegada que llençàveu un imant.

20. Quant de temps dura el voltatge generat?

21. Si volguéssim obtenir electricitat per encendre una bombeta o per fer funcionar qualsevol aparell elèctric, quin problema tindria el sistema que estem utilitzant per generar electricitat?

22. Se t'acut algun altre sistema que podria servir per generar electricitat de forma continuada?

6. El generador elèctric

En les experiències que has fet fins ara, has aconseguit generar electricitat fent passar un imant per l'interior d'una bobina feta de fil conductor. Ara bé, cada vegada que llences l'imant es produeix electricitat durant un període de temps molt breu, que no arriba ni a 1 segon! Això fa que sigui un sistema molt poc útil per a generar electricitat de forma continuada... Per aquest motiu, els científics i enginyers van inventar-se un dispositiu que els permetia generar electricitat durant períodes de temps tan llargs com volguessin (hores, dies, mesos sencers...): el generador elèctric.

Què és un generador elèctric?

Un generador elèctric és un sistema que permet produir electricitat a partir d'un moviment de rotació. Els generadors tenen dos parts, **una de fixe i una de mòbil** (que dona voltes). En la **part fixa s'hi col·loquen imants**, i en la **part mòbil es col·loca una bobina** feta de material conductor. Quan es fa girar manualment la part mòbil, es produeix un moviment relatiu entre la bobina i els imants que equival al llançament d'imants que havíem vist abans. D'aquesta manera, mentre hi hagi moviment, es produirà electricitat.



Fig.8. Generador elèctric que hi ha al laboratori connectat a un sensor de voltatge.

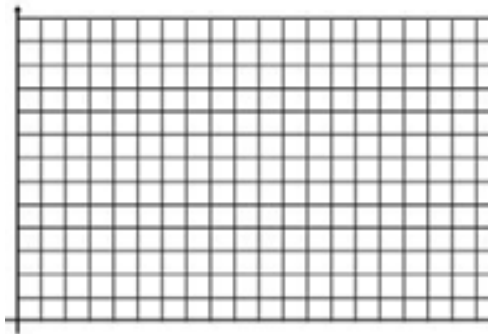
Un cop saps que és un generador elèctric, fes els següents passos:

- Col·loca un conjunt d'imants al voltant del generador.
- Mou el generador per conèixer quin és exactament el moviment que fa la bobina.

Completa al teu dossier:



23. Sabent com era la gràfica que obtenies quan deixaves caure un imant per l'interior de la bobina, com creus que serà la gràfica que obtindràs quan facis girar la bobina de forma continuada?

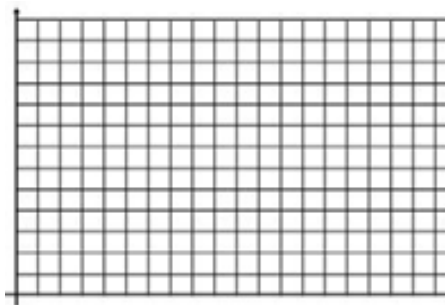


- c) Després de fer la predicció, connecta els extrems del sensor de voltatge als extrems del generador.
- d) Encén de nou el programa Multilab i torna a configurar el sensor.
- e) Enregistra el voltatge obtingut mentre fas girar el generador i contesta les següents qüestions:

Completa al teu dossier:



24. Dibuixa la gràfica que has obtingut:



25. Quines semblances i quines diferències hi ha entre la gràfica obtinguda i la que tu havies predit?

Aquest experiment que tu has fet, també pot fer-se a través d'una simulació virtual en la que apareix un generador elèctric.

Explicació de la simulació

En aquesta simulació apareix generador elèctric format per una bobina d'una sola espira que gira. També hi ha un imant molt gran en forma de C de color verd i vermell. Les línies blaves representen les línies de camp. La bobina està connectada a un sensor de voltatge que mesura el voltatge en cada moment amb una agulla. A dalt de tot, també hi ha una gràfica on es veu l'evolució del voltatge a través del temps gràcies a un punt que es va desplaçant al llarg de la gràfica.



Fig.9. Imatge de la simulació del generador elèctric.

Després de veure la simulació, respon a les següents qüestions:

Completa al teu dossier:



26. Quines diferències hi ha entre el muntatge que apareix en la simulació i el muntatge experimental que has vist abans?

27. Observa la gràfica que apareix en la part superior de la simulació i compara-la amb la gràfica que tu has obtingut. Quines semblances i diferències has trobat?

7. Aplicacions dels generadors

Amb tot el que has après avui, t'has convertit en un bon expert en generació d'electricitat! Tot i així, no tothom en sap tant com tu... Imagina't que tres amics teus (La Laura, el Xavi i la Raquel) tenen la següent discussió per Facebook.



Fig.10. Imatge simulada d'un estat del Facebook.

Completa al teu dossier:



28. Si tu fossis amic/ga del Facebook de la Raquel, el Xavi i la Laura, quin comentari els hi posaries per ajudar-los a que aclareixin l'embolic que tenen?

Annex 3. Convenis de gravació als centres

Inclou el conveni firmat entre la Universitat Autònoma de Barcelona i els centres escolars en els que s'han realitzat les gravacions.

CONVENI DE COL·LABORACIÓ ENTRE LA UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA, A TRAVÉS DEL CENTRE DE RECERCA PER A L'EDUCACIÓ CIENTÍFICA I MATEMÀTICA (CRECIM), I L'INS (Nom del Centre).

Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), 14 de febrer de 2012

REUNITS

D'una part, la Sra. Ana Ripoll Aracil, rectora Magnífica de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), en virtut de les competències que li atorga l'article 75, paràgraf m) dels Estatuts de la UAB, i en el seu nom, segons resolució de 14 de gener de 2009, la senyora Roser Pintó Casulleras, directora del Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica de la UAB, amb seu social a Campus Universitari s/n, 08193 Bellaterra (Cerdanyola del Vallès), i amb número d'identificació fiscal Q-0818002-H.

I de l'altra, _____, amb DNI _____, com a Directora de l'INS i que actua en nom i representació d'aquest organisme.

Ambdues parts es reconeixen la capacitat legal necessària per a aquest acte, i

MANIFESTEN

- I Que la UAB, a través del Centre de Recerca per a l'Educació Científica i Matemàtica (en endavant, CRECIM), impulsa el projecte de recerca EDISTE (*Investigación entorno al diseño de secuencias didácticas sobre Transferencias de Energía: orientación dialógica de la enseñanza e integración de recursos digitales*), amb codi d'identificació EDU2011-28431.
- II Que el projecte EDISTE té com a objectiu la recerca en l'aprenentatge de la Física per part d'estudiants de 2n Cicle de la ESO.
- III Que l'INS (Nom del Centre), amb la firma d'aquest conveni, es compromet a col·laborar amb el CRECIM i amb el projecte EDISTE facilitant el procés de recollida i anàlisi preliminar de dades.
- IV Que ambdues parts consideren convenient la formalització d'aquest tipus de cooperació i l'establiment del marc d'actuació al qual s'adaptin les successives accions que es portin a terme en aquest sentit.

Per això, les institucions sotasignades formalitzen el present conveni, que sotmeten a les següents

CLÀUSULES

Primera.- El conveni entre l'INS (Nom del Centre) i el CRECIM té per objectius:

- Facilitar la realització d'entrevistes a estudiants de 3r i 4t d'ESO alumnes de l'INS (Nom del Centre) per part de l'investigador del CRECIM Víctor López Simó, amb DNI 34757334-X.
- Coordinar, a través de la professora _____, amb DNI _____ membre del Departament de Ciències de l'INS (Nom del centre), un seguit de tasques de suport a aquesta activitat investigadora, tal com es detalla en la clàusula tercera.

Segona.- Les entrevistes que es realitzaran als i les estudiants seleccionats/des tindran un ús estrictament vinculat a la recerca educativa i no tindran en cap cas un ús comercial. Les entrevistes seran enregistrades i transcrites per persones investigadores vinculades al CRECIM. Aquestes tindran una durada aproximada de 20 minuts cadascuna, i es faran en base a la visualització i interacció amb tres simulacions educatives de Física

Tercera.- Per tal d'acomplir els objectius del conveni, l'INS (Nom del Centre) col·laborarà en el projecte EDISTE en els següents aspectes:

- Designarà la professora Irene Ribas Gutiérrez com a responsable de la coordinació i la comunicació amb el CRECIM.
- Permetrà l'enregistrament en vídeo i/o veu d'un màxim de 20 entrevistes individuals amb les característiques descrites anteriorment.
- Col·laborarà amb el CRECIM per a l'obtenció dels permisos familiars pertinents per a l'ús d'imatges de menors d'edats d'acord amb la legalitat vigent i la normativa del centre.

- Col·laborarà amb el CRECIM per gestionar les hores de gravació, procurant sempre inferir el mínim possible en el desenvolupament normal de les classes dels estudiants.

Quarta.- La professora _____ col·laborarà en el projecte EDISTE en les següents tasques:

- Assistirà a una reunió inicial de planificació amb el CRECIM.
- Facilitarà la informació educativa necessària per a la preparació de les entrevistes, indicant a grans trets a l'entrevistador del CRECIM la matèria impartida durant el curs vigent, els recursos educatius utilitzats, etc.
- Realitzarà una reunió final de valoració amb el CRECIM.

Cinquena.- Com a gratificació per l'esforç realitzat, el CRECIM pagarà una suma de 300€ al Departament de Ciències de l'INS (Nom del Centre), que podrà ser bescanviable per el valor equivalent en visites al projecte REVIR o bé per l'adquisició de material educatiu (llicències de softwares educatius, dotacions de MBL, complements, etc.). A més a més, el CRECIM atorgarà un certificat d'innovació pedagògica de 15 hores al personal implicat

Sisena.- El present Conveni de col·laboració entrarà en vigor la data de la seva signatura i serà vigent fins el 31 de desembre del 2012, corresponent al desenvolupament del projecte pel curs 2011-12 i el primer trimestre del curs 2012-13.

Setena.- El present Conveni es podrà resoldre anticipadament quan concorri alguna de les següents causes:

- (i) En qualsevol moment, per mutu acord de les Parts.
- (ii) Prèvia denúncia del Conveni per qualsevol de les Parts, i comunicada a l'altra Part amb una antelació mínima d'un mes, basada en l'incompliment d'alguna de les obligacions assumides en virtut del present Conveni.
- (iii) Voluntàriament per qualsevol de les Parts, i comunicada a l'altra Part amb una antelació mínima d'un mes.
- (iv) Per suspensió o anul·lació del programa.

Vuitena.- Les qüestions litigioses que puguin sorgir durant la vigència del present conveni i que no s'hagin pogut resoldre de mutu acord, se sotmetran a la jurisdicció civil.

Abans d'emetre cap acció legal contra la UAB, s'haurà de formular la reclamació prèvia per via administrativa, tal i com estableixen els articles 120 i següents de la Llei de Règim Jurídic de les Administracions Públiques i del Procediment Administratiu Comú

I en prova de conformitat, les parts signen el present conveni per duplicat i a un sol efecte, en el lloc i la data indicats a l'encapçalament.

Per la Universitat Autònoma de Barcelona

Per l'INS (Nom del Centre)

(SIGNATURA)

(SIGNATURA)

Annex 4: Respostes dels estudiants en el pilotatge inicial

Inclou les respostes d'estudiants participants del projecte REVIR que van respondre a les preguntes formulades entorn de les simulacions A i B.

Describeix les característiques més generals de la imatge:	Explica que creus que es preten comunicar amb aquesta imatge.	Quins suggeriments faries per tal de millorar la imatge?
Representen els àtoms més externs (superficials) dels dos llibres	Quan deixem de fregar, disminueix la temperatura de les superfícies dels llibres, i per tant també l'energia cinètica dels àtoms i les molècules (que passen a moure's més lentament).	Que costa de fer moure
Les partícules que formen els llibres	Que l'energia tèrmica de la superfície es dissipa Observar el canvi en l'energia cinètica de les partícules	Que les partícules s'escapin
Les partícules ue conformen les superfícies de cada llibre (està escrit a la descripció de la simulació) El color de les partícules ;)	Les superfícies es tornen a refredar, disminueix la seva temperatura	Que les partícules tinguin color
hi ha un xoc de partícules	es bastant foll	cap,ja que m'he emocionat!
Quanta més temperatura hi ha, més ràpid es mouen les partícules. I quanta menys temperatura, més a poc a poc es mouen.	Que les partícules es mouran més ràpid com més temperatura hi hagi.	Que només es veïés un tipus de partícules, i que poguéssim triar nosaltres mateixos la temperatura que volem.
Un té més temperatura que l'altre	Doncs que les partícules dels materials vibren més ràpidament o més lentament depenent de la temperatura	aquesta ens ha semblat molt clara, ja que a classe hem parlat de la teoria cinètica.
Doncs que a més temperatura més moviment Si hi ha més fregament hi ha més temperatura. En entrar en contacte es dos llibres es partícules s'aterenia augmenta a temperatura	pretenc 0municar que entre dues superfícies en contacte desprenesca fr	
En aquesta imatge podem veure que hi ha una representació microscòpica del moviment de les partícules i el canvi que experimenten quan produïm un fregament	La relació entre el canvi de temperatura i el moviment vibratori	Creiem que la imatge està molt correcte. i s'enten a la perfecció.
Son dos llibres que el posem en contacte i estableixen un fregament que es converteix en calor. Les partícules que es troben en el llibre groc es desgasten i marxen.	Que l'augment de la temperatura augmenta el moviment de la temperatura. Que les partícules que freguen amb els dos llibres, es desgasten i marxen.	Que les partícules del llibre que es troba a sota del llibre groc també es desgastin.
A la imatge podem veure dos materials que estan en fregament. Hi ha un termòmetre que mostra la temperatura a que estan els dos materials. Quan més alta és la temperatura, més ràpid es mouen les partícules. Les partícules es mouen sense un sentit concret, es mouen amb sentit lliure. A més podríem dir que xoquen.	És una mostra experimental de la relació que hi ha entre la temperatura i el moviment de les partícules.	Un suggeriment podria ser que el llibre de química no es moguéssin, perquè l'aplicació està mal feta. També seria una bona millora que es pogués triar quina temperatura vols veure. Tot i això és un bon exemple d'experiment ;)
Les característiques generals són les partícules del llibre de física i del de química.	El fregament entre els dos llibres i el comportament de les partícules en relació a la temperatura.	creiem que els colors haurien de ser uns altres perquè són molt lletjos, siguem realistes, qui té un llibre verd fluorescent? NINGÚ! només la queralt bonet perquè és una noia molt AAC! igual que la clara duarte i la Júlia Lleida que són una mica a tontes i curtes de gambals també hahahaha
Les característiques generals són les	El fregament entre els dos llibres i el	creiem que els colors

partícules del llibre de física i del de química.	comportament de les partícules en relació a la temperatura.	haurien de ser uns altres perquè són molt llejtos, siguem realistes, qui té un llibre verd fluorescent? NINGÚ! només la queralt bonet perquè és una noia molt AAC! igual que la clara duarte i la Júlia Lleida que són una micaa tontes i curtes de gambals també hahahaha
veiem les partícules en moviment.	Que a partir del fregament, quan les partícules xoquen, vibren i aixó proboca l'augment de la temperatura.	Que quedi més clar que són dos llibres i les seves partícules, perquè es molt difícil d'entendre.
A la imatge es veuen les partícules dels llibres que tal com va baixant la temperatura les partícules es van movent cada cop menys i quan fregues els llibres entre ells puja la temperatura i les partícules cada cop es mouen més.	La imatge intenta comunicar que quan el produeix un fregament les partícules dels cossos vibrin i així aconseguim que augmenti la temperatura i les partícules es moguin més.	Ja es veu prou bé per ser una simulació
Veiem les partícules del contacte de dos llibres i un termòmetre que varia la seva temperatura segons el fregaments dels llibres.	Amb aquesta imatge es pretén relacionar l'augment de temperatura amb els fregament dels llibres. Quan més fregament, més moviment de les partícules i més vibració de manera que s'aconsegueix una temperatura major.	Que no hi hagi un espai en blanc entre els dos llibres (el verd i el groc), també ens agradaria que possessiu color que combinin millor entre ells, perquè no queda bé.
Es veuen partícules dels llibres que s'estan fregant. Les partícules d'un llibre se'n van cap a dalt, també es veu com s'estan movent al augmentar la temperatura, com més ràpid fregues més augmenta la temperatura.	Es preten comunicar que quan més fregament hi ha les partícules dels llibres es mouen més i més ràpidament i, per tant, augmenta més la temperatura.	No tenim cap suggeriment.
A la imatge veiem dues superfícies que al fregar-les augmenten de temperatura i aixó fa que les seves partícules es moguin més ràpid i algunes s'acabin dispersant.	Pretén mostrar el comportament de les partícules al haver-hi fregament.	Creiem que les partícules no s'haurien de dispersar tan ràpid pel fregament.
En aquesta imatge podem veure com al fregar dos superfícies augmenta la seva temperatura i les partícules es van dispersant.	Pretén mostrar el comportament de las partícules al escalfar-se per fregament.	Està molt bé representat, tot i que al principi no saps ben bé que fer ni com fer-ho.
Hi ha dos llibres fregant-se i un termòmetre per mesurar la temperatura. El que passa es que al fregar s'escalfa perquè les partícules vibren i generen energia que desprèn calor.	El que comunica es que quan les partícules vibren generen energia que desprèn calor.	Que les partícules grogues no marxessin de la imatge. ..otto
Es veuen partícules dels llibres que s'estan fregant. Les partícules d'un llibre se'n van cap a dalt, també es veu com s'estan movent al augmentar la temperatura, com més ràpid fregues més augmenta la temperatura.	Es preten comunicar que quan més fregament hi ha les partícules dels llibres es mouen més i més ràpidament i, per tant, augmenta més la temperatura.	No tenim cap suggeriment.
La temperatura de les partícules dels dos llibres augmenta quan hi ha un fregament entre elles.	Pretén que veiem que al donar-se el fregament entre dos cossos, es produeix energia calorífica.	
boletes(atoms) grocs i verds	l'interacció dels atoms dels dos llibres al fregarse	gràfics 3D
Podem observar dos llibres que estan en contacte, les seves partícules, i un termòmetre sense graduar.	A través del fregament es produeix un desgastament del objecte. Si hi ha un fregament la temperatura i les partícules es mouen més ràpid.	
La imatge representa els àtoms de dos llibres en contacte.	Es preté comunicar que, encara que no ho veiem, en tots els cossos hi ha àtoms en més o menys moviment, i que si n'augmentem la temperatura ja sigui per fregament o escalfant-lo, es mouran més ràpid fins al punt de despendre's del cos al que pertanyen.	Faria que també es pogués interactuar amb el llibre verd per tal de que es vegi clarament que aquest fenomen passa en tots els cassos.
1. Partícules dels dos llibres en contacte . (física i química) 2. Podem veure les irregularitats dels dos llibres , que son les que friccionen entre si . 3. Termometre que indica , la temperatura .	Es preten comunicar , la temperatura que produira despres de la fricció dels dos llibres . I les restes que es desprenen dels dos llibres .	Utilitzar algun programa , amb mes qualitat d'imatge
En aquesta imatge es representa el	Que les partícules tenen un moviment	No ens hem adonat de que

<p>comportament de les partícules davant del fregament. Queda representat el moviment d'aquestes i l'augment de temperatura. A més moviment de les partícules, més temperatura.</p>	<p>constant (vibració) que varia segons la temperatura: a més temperatura més moviment (augment de la densitat, es a dir, més volum però mateix pes)</p>	<p>el llibre de dalt es podia moure, per tant creiem que podríeu marcar això.</p>
<p>quan es freguen les partícules, es xoquen entre elles provocant vibracions que fan que augmenti la temperatura.</p>	<p>pretenen explicar coses que no veiem a simple vista, per exemple: nosaltres veiem un augment de la temperatura, mentre que en realitat les partícules estan xocant entre elles i provocant vibracions</p>	<p>hi ha hagut un moment en el qual el llibre s'allunyava de l'altre quan nosaltres acostàvem la imatge.</p>

Annex 5: Entrevistes

Inclou la transcripció completa de les 14 entrevistes, així com els enllaços (privats) als vídeos de les entrevistes en Youtube.

PA1	http://www.youtube.com/watch?v=uw-mFAJDNVU http://www.youtube.com/watch?v=JDkRHI20k3U
PA1-1	<p>P: Hi ha un grup de boles grogues i un grup de boles verdes, i un termòmetre que si frotes, si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa.</p>
PA1-2	<p>P: El llibre de química groc, i el de física verd. El de física té com unes fletxes que porta aquest verd de boles, i el de química una altra fletxa que porta al grup groc.</p> <p>I: Aquestes fletxes me les pots senyalar per pantalla? (les senyala). Per tant, aquestes fletxes que creus que volen dir?</p> <p>P: Que és una reacció. Que es fa com una reacció química.</p> <p>I: Explica-m'ho una mica millor, que no ho estic entenent. O sigui, aquestes fletxes volen dir que...</p> <p>P: Que això és una part de química i això una part de física, i que quan ho ajuntes és una reacció.</p> <p>I: O sigui que tu creus que això de "física" i "química" té a veure amb que això sigui una cosa física i això una cosa química?</p> <p>P: Jo crec que sí.</p>
PA1-3	<p>I: Quina informació creus que ens està donant aquesta simulació?</p> <p>P: Jo crec que se suposa que quan tu frotes un material amb un altre, doncs fan així (gest de fregar) i es crea calor, energia i quan separen, doncs no.</p> <p>I: Per tant, es relacionaria el fregament amb l'increment de temperatura. Com el veus tu aquest increment de temperatura?</p> <p>P: Com que "com el veig"?</p> <p>I: Tu m'has dit que aquí una cosa s'escalfa...</p> <p>P: Ah! Doncs que el termòmetre puja.</p> <p>I: A part de que el termòmetre pugi, hi ha altres maneres de veure que augmenta la temperatura?</p> <p>P: (no s'entén)</p> <p>I: Però tu com ho veus que puja la temperatura?</p> <p>P: Ah! Que quan es para, baixa la temperatura del termòmetre.</p> <p>I: Només amb el termòmetre. Si el termòmetre no hi fos, si estigués tapat (el tapo amb la mà) tu m'hauries explicat el mateix o no?</p> <p>P: No.</p> <p>I: Què hauries vist? Fes, fes (demanant-li que fregui i observi els àtoms). Què passa?</p> <p>P: Que es mouen, però... ja està.</p> <p>I: Que vol dir que estiguin en moviment?</p> <p>P: Que estan en contacte.</p> <p>I: Vale. I ara, es mouen menys?</p> <p>P: Sí.</p> <p>I: Vale, torna a mirar què passa quan fregues. Mira com es mouen i mira què passa amb el termòmetre. (Ho fa). Podriem relacionar d'alguna manera el que es moguin i com es mouen amb el termòmetre?</p> <p>P: Quan van parant el moviment...</p> <p>I: Vibració, si vols, pots dir-li vibració.</p> <p>P: Doncs el termòmetre baixa, i quan hi ha moviment, quan estic així movent-ho, doncs puja.</p> <p>I: Vale, per tant, quina conclusió podriem treure d'aquesta relació?</p> <p>P: Doncs que quan freguem, la temperatura puja i quan deixem, baixa.</p> <p>I: I com relaciones el moviment amb el termòmetre? El moviment dels àtoms...</p> <p>P: No se...</p> <p>I: Ni idea?</p> <p>P: No.</p>
PA1-4	<p>I: Frega. Què més ha passat ara?</p> <p>P: Que una part dels àtoms grocs s'han anat.</p> <p>I: Això ho havies vist abans.</p> <p>P: No.</p> <p>I: No t'havies fixat? Però ara si que t'has fixat? I li dones algun tipus d'interpretació?</p> <p>P: No se...</p> <p>I: Què pot voler dir?</p> <p>P: Doncs que al fregar-ho, el grup d'àtoms verd es manté però el groc una part se'n va i es queden uns quants.</p> <p>I: I que se'n vagin aquests àtoms té algun significat? En el món real, quan tu fregues dos coses...</p> <p>P: No es nota. A vista no es nota, però "si un cas", després sí.</p> <p>I: I què és el que estaria passant encara que no ho veïssis?</p> <p>P: Doncs que una part dels àtoms se'n va.</p> <p>I: I com ho explicaries que se'n vagin? Què passa, que no estan agust i se'n van?</p> <p>P: No! Perquè ho estas fregant. I llavors... no se, no se perquè se'n van, però quan fregues, se'n van.</p>

I: Se t'acut algun exemple de la vida real que quan fregues dos coses passi alguna cosa així semblant?

P: Bueno, quan fas així se't calenten les mans.

I: L'escalfor sí, però això que hi hagi uns quants àtoms que marxin?

P: No se...

I: Ni idea?

P: No.

I: Vale.

PA1-5

I: Hi ha àtoms?

P: No

I: Perquè creus que un lloc no hi ha àtoms i en l'altre sí que hi ha àtoms?

P: Bueno, quan hem (no s'enten) si que hi eren.

I: Reinicia. (Ho fa). Per exemple, ara aquí a dalt no hi ha àtoms. Perquè creus que no hi ha àtoms.

P: No se... ni idea.

I: Se t'acut que pot voler dir que només hi hagi àtoms en aquest trosset d'aquí?

P: No se...

I: Tu ho hauries dibuixat així o ho hauries dibuixat diferent?

P: Jo ho hauria dibuixat així, però tampoc se perquè...

PA1-6

P: Ah, vale, ja se. Que tot això se suposa que són àtoms, i tot això se suposa que són àtoms. Llavors, quan ho ajuntem, doncs passa això... que s'escalfa.

I: I per què no estan aquests àtoms si representen que són àtoms?

P: Perquè no és necessari.

I: El què no és necessari?

P: Que hi hagi tots, perquè només has de veure això.

I: O sigui, que creus que és una cosa que el dibuix només han dibuixat uns quants. Però això se t'havia acudit a tu o t'hi he fet pensar jo?

P: M'hi has fet pensar tu....

I: Sino, tu que haguéssis pensat? O no haguéssis pensat res?

P: Hagués dit que segurament no els han pogut dibuixar tots perquè hi ha moltíssims.

PA1-7

P: És ràpid.

I: Estem parlant de la pujada. I és continua?

P: No, depenent de com ho moguis, doncs canvia. Si ho mous més ràpid, doncs puja més ràpid i si ho mous més lent, doncs es va caient.

I: Es va?

P: Va baixant la temperatura.

I: Ah sí? Com ho has dit, si mous més lent...

P: A veure, vull dir que si mous ràpid, puja la temperatura. I quan "soltes" i encara s'està movent es manté. Però quan es van separant, baixa.

PA1-8

I: I la baixada, com és?

P: Tota l'estona igual.

I: Tota l'estona igual. Torna a fer-ho. (Ho fa). Estas d'acord amb el que has dit abans?

P: Sí.

I: Tu veus que la baixada sigui tota l'estona igual?

P: Bueno... al final va més lenta. Va baixant tota l'estona igual, però quan arriba al final va més lenta.

I: I creus que això té alguna explicació?

P: Suposo que quan ja no estan en contacte, la temperatura... com sempre, i per tant, es va quedant així.

I: Però ara els dos llibres estan en contacte.

P: Doncs no se...

I: Per què ara no està pujant la temperatura?

P: Perquè no s'estan movent.

I: Tu m'has dit "és quan estan en contacte".

P: Bueno, quan es mouen.

I: Han d'estar en contacte, i a més a més...

P: Moure's.

I: Perquè si estan en contacte i quiets...

P: La temperatura no puja.

I: Però abans de que jo t'ho preguntés, tu haguéssis dit que en contacte també puja la temperatura?

P: Sí.

I: O sigui al principi era que...

P: Era que com sí que puja la temperatura.

I: I què ha de passar per que pugui, llavors?

P: Doncs que (fa el gest de fregament amb la mà) es moguin, que vibrin.

I: Que vibrin les partícules. Però com aconseguim que vibrin?

P: Amb el moviment.

PA1-9

I: Que fa que les partícules vibrin?

P: Que dos objectes es freguin o moguin (utilitza com a resposta la explicació que jo li he fet abans).

I: Es mouen els blocs.

P: O sigui, així (fa el gest de fregar).
 I: Tot el bloc groc es mou. Però que li passen a les partícules, a cada partícula. Per què comencen a vibrar?
 P: Perquè quan xoquen, vibren.
 I: Xoquen. Perfecte.

PA1-10

I: Que hem dit que volia dir el requadre groc?
 P: Això?
 I: Sí.
 P: Els altres àtoms, que formen part però que no són necessaris.
 I: I entre àtom i àtom, que creus que hi ha aquí al mig? Perquè clar, hi ha verd.
 P: Més àtoms, no? Suposo que estan allà tots junts però com que no feia falta per ensenyar-ho, doncs ho fan així.
 I: Vale. I fixa't una mica en la forma. Per exemple, si et fixes en aquesta superfície d'aquí, quina forma té?
 P: Això?
 I: Sí.
 P: Lo groc?
 I: Sí, lo groc o lo verd.
 P: Ah, rodona.
 I: Per què?
 P: Perquè sapiguem, suposo, que són els àtoms.

PA1-11

P: Que hi ha més groc que verd?
 I: Hi ha més groc que verd? Això tu creus que vol dir alguna cosa?
 P: No se, suposo que sí, però no se el què.
 I: Bé, també pot ser que sigui casualitat.

PA1-12

I: Em pots explicar què és el que estaves entenent al principi?
 P: Estava entenent que això era verd i això també, era una part de física i això de química. Però com era al principi no sabia molt bé...
 I: I ara entens que vol dir això i això?
 P: Sí.
 I: Què vol dir que posi "Física" aquí?
 P: Que quan... bueno, que posi "Física" no se, que quan els dos llibres es freguen, doncs passa això.
 I: I que posi "Física" aquí, jo soc una mica pesat i insisteixo, vol dir algo?
 P: No se.
 I: Per què creus que posa "Física" aquí?
 P: No ho se, ni idea.
 I: Potser és només el nom del llibre.
 P: Sí, potser.
 I: Jo crec que és només el nom del llibre. I tu al principi et pensaves que això era una reacció química...
 P: Sí.
 I: Però ara ja veus que no, no? Per tant, aquestes ratlles d'aquí que abans deies que eren fletxes, en realitat que són?
 P: Això són els àtoms del llibre verd...
 I: No, les línies vermelles.
 P: Ah, les línies. Doncs que ens indiquen que, quan freguem...
 I: No, aquí no estàs fregant ara. Les línies, que volen dir les línies?
 P: Que el verd és el llibre de Física i el groc és el llibre de Química.
 I: Per tant seria... veus que aquí hi ha un requadre?
 P: Com una ampliació.
 I: Ara! Com una ampliació.

PA1-13

Li pregunto per una explicació finaP:
 P: Que quan freguem dos objectes, els àtoms vibren i la temperatura puja.
 I: Genial. I més coses. A part, hi ha alguns àtoms...
 P: Que se'n van. O sigui, hi ha alguns àtoms que se'n van.

PA2

<http://www.youtube.com/watch?v=guomZpRmFqg>
<http://www.youtube.com/watch?v=guP58G-yGA4>

PA2-1

P: Doncs hi ha molts àtoms de color groc, i a sota hi ha de color verd. I posa que froti els de color groc contra els de color verd. I quan els frotes, els de color groc se'n van. Alguns (grocs) es queden i els verds no se'n van.
 I: I aquests àtoms, què són?, on són? Explica'm més coses...
 P: Bueno, quan els frotes puja de temperatura, es crea energia, i els àtoms estan en moviment.
 (es queda en silenci)
 I: Explica, explica...
 P: No se...
 I: Perquè aquests àtoms són àtoms "de què"? Què representen?
 P: Ni idea.
 I: O sigui, són dos àtoms, ai perdona, dos grups d'àtoms, representen... quan es freguen.
 P: Puja la temperatura
 I: Però quan estàs fregant aquests àtoms, què representa que és el que estàs fregant?
 (Es queda en silenci una estona)

I: O sigui, d'on han sortit aquests àtoms? On representa que estan?
 P: A l'aire o...
 I: Fixa't bé en tot el dibuix.
 P: Sí, aquí hi ha com una capa groga i aquí una capa verda.
 I: Sí, hi ha com dos capes, però aquestes dos capes, no veus que és el que representen?
 P: No.
 I: Fixa't bé en el dibuix, fixa't bé en tota la pantalla.
 (Torna a mirar tota la pantalla i finalment es fixa en el llibre i li canvia la cara)
 P: Ah, vale! Això del llibre!
 I: Ah! Què pot voler dir?
 P: Que es freguen uns llibres.
 I: I per què es veu això aquí? I això aquí? Quina relació hi ha entre les dues parts?
 P: Que l'han ampliat.
 I: Ah, és una ampliació! Però això ho havies vist abans?
 P: No.
 I: No t'havies fixat?
 P: No.
 I: I t'has fixat perquè jo t'ho he dit, oi?
 P: Sí, m'has dit que em fixés en tota la pantalla.

PA2-2

I: Per tant, ara ja m'ho pots tornar a explicar sabent què és el que apareix allà, no?
 P: Sí, són dos llibres que quan els frotes, els àtoms agafen temperatura.
 I: Vale! I això d'aquí seria com... què seria això respecte això d'aquí?
 P: Una part.
 I: Una part! Com si fós una ampliació, un zoom, un video del que està passant, a on dels dos llibres?
 P: A la part groga.
 I: A la part groga? Clar perquè això...
 P: A les dos puntes.
 I: A les dos puntes, no? A les dos superfícies en contacte, podríem dir? I que més es veu? Imagina't que jo no puc veure-ho i m'ho has d'explicar. Que més apareix per pantalla?
 P: Un termòmetre.
 I: On està situat el termòmetre.
 P: A la dreta.
 I: I què creus que mesura aquest termòmetre?
 P: La temperatura dels àtoms, bueno.... si.
 I: Com saps que són àtoms?
 P: Perquè està ampliat i estan aquí les boletes, i són iguals i estan juntes.
 I: Per tant tu t'imagines, perquè ho hauràs estudiat a l'escola, que com que les coses estan fetes d'àtoms, això seran àtoms?
 P: Suposo...

PA2-3

I: Què és el creus que aquesta simulació pretén explicar?
 P: Que quan poses dues superfícies en contacte, amb el moviment es fa energia.
 I: Quan dius "amb el moviment", quin moviment? (ja que jo no sabia si es referia al moviment dels àtoms o el moviment dels blocs).
 P: No se... frota (fa el gest amb les mans).
 I: O sigui, quan fiques dues superfícies en contacte i les frotes, què passa?
 P: Es produeix energia.
 I: Es produeix energia! Però l'energia és una cosa molt rara que no se ben bé què és... Tu concretament aquí què és el que has vist? Tu l'energia no la veus... l'energia és una cosa rara... És una idea, un concepte científic que no veus. Però tu aquí sí que veus coses concretes. Quines coses concretes veus tu?
 P: Doncs els dos llibres i els dos grups d'àtoms.
 I: Però concretament què veus que passa quan fregues?
 P: Que l'energia que fas fregant després es transforma en energia calorífica.
 I: Vale, i com ho veus això?
 P: Com?
 I: Què veus que et faci pensar que aquí hi hagi energia calorífica?
 P: El termòmetre.
 I: Vale, el termòmetre! Per tant, què és el que està passant amb el termòmetre?
 P: Doncs que quan frotes puja i quan deixes de frotar, baixa.
 I: La temperatura, no? Molt bé. I a part del termòmetre, hi ha alguna altra cosa en tota la pantalla que està dient el mateix que està dient el termòmetre?
 P: Els àtoms que s'estan movent.
 I: Quina relació hi ha entre el moviment dels àtoms i el moviment del termòmetre.
 P: Que quan estan en moviment es fa energia i quan esta quieti no es fa res.
 I: Es fa energia vols dir que puja la temperatura?
 P: Sí.

PA2-4

I: Al principi de tot m'has dit "hi ha uns àtoms que marxen".
 P: Ah, si. Que quan...
 I: Si vols tornem a carregar la simulació... Anem a veure que passa, perquè és el primer que m'has explicat. Suposo que m'ho has explicat perquè t'ha cridat l'atenció... Explica'm que passa ara.
 P: Doncs que quan frotes els grocs amb els verds molts grocs se'n van.
 I: I això que creus que pot voler dir?

P: No se, potser es desgasta el llibre.

I: A tu et sona que les coses que es freguen es desgasten? Posa'm un exemple d'una cosa que fregant es desgasti.

P: Si faig així a la taula (fregant amb el dit) potser se'n van àtoms.

I: Exactament.

PA2-5

I: I a part dels àtoms, apareix alguna cosa més en aquest requadre vermell?

P: (Es queda pensant una estona) No...

I: Apareix per exemple... Estan els àtoms sols? Per exemple, hi ha això verd.

P: És el llibre no?

I: És el llibre? Per això et preguntava. Volia saber una mica què era? I els àtoms... quina relació hi ha entre els àtoms i el llibre?

P: Doncs que els àtoms formen el llibre.

I: I aquí, per exemple, què passa amb els àtoms en aquesta zona?

P: Aquí? On no n'hi ha?

I: Exactament.

P: Doncs que no hi ha.

I: No hi ha àtoms?

P: Home, si que hi ha, però no estan posats.

I: Vale, tu creus que hi ha àtoms a tot arreu però que aquí no estan posats. I a dalt, al groc?

P: Doncs el mateix.

PA2-6

I: I quines coses més veus així importants de la superfície verda i groga.

P: La forma no té res a veure?

I: Quina forma?

P: Aquí... la forma de semi-cercle.

I: Forma de semi-cercle? Què pot voler dir?

P: Perquè se suposa que els àtoms són rodons, no?

I: I que vols dir amb això?

P: Doncs que si són rodons no estarà tot... bueno. Què no estarà tot així (fa el gest amb la mà de superfície plana).

I: Pla.

P: Sí.

I: Sinó que serà... m'estas dient que creus que aquí representa que hi ha altres àtoms.

P: Sí.

I: Si, no? (Al veure-li la cara que fa): O no ho tens molt clar?

P: No, no ho tinc molt clar. O sigui, tot d'àtoms però com que són rodons no serà tot igual.

PA2-7

I: Porta-ho, per exemple, a l'extrem. Mou la simulació aquesta i mou-ho molt cap allà. Més, més encara.

P: Vale, doncs que ja s'acaba el llibre.

I: I que et sembla que s'acabi el llibre aquí?

P: Com que què em sembla?

I: Compara-ho amb la representació de dalt. Aquí s'acaba el llibre, però en canvi, aquí dalt... Fixa't aquí dalt que passa. Quan a baix ho mous, a dalt es mou?

P: Sí.

I: Vale, però en canvi... si mires aquest quadret, aquí el llibre encara no s'ha acabat.

P: L'estaràs posant cap aquí.

I: Com?

P: Que en comptes de ficar-lo cap allà, l'estàs ficant cap aquí.

I: Com cap endavant, com en tres dimensions.

PA2-8

I: Explica'm una mica el termòmetre. Com evoluciona? Com es comporta quan fregues, quan deixes de fregar... Quan fregues, com es comporta el termòmetre?

P: Puja la temperatura.

I: Puja tota l'estona igual?

P: Home, si frotes més fort pujarà més depressa, i si ho fas més fluix, doncs més a poc a poc.

I: Vale, intenta que puji a poc a poc. (Ho fa). Com és aquesta pujada? Com definiries aquest moviment?

P: Lent?

I: Sí? És continu? És constant?

P: No, perquè es va clavant.

I: Es va clavant... I com interpretes que es vagi clavant?

P: Perquè fas així i es clava, després torna, i es clava...

I: Això t'havies fixat o t'has fixat perquè t'ho he dit jo?

(Fa cara extranya)

P: Home, això ja ho sabia.

I: Tu ja t'ho imaginaves que pujaria així.

P: Sí...

PA2-9

I: I te'n recordes com és la baixada? (Va a agafar el ratolí i l'aturo). Espera, espera, abans de fer-ho. Te'n recordes com baixava? La pujada m'has dit "es va clavant", i baixant?

P: Baixant no.

I: Baixant com era?

P: Continu.

I: Continu i tota l'estona igual?

P: Sí.

I: Torna a fer-ho i fixem-nos ara en la baixada. (Ho fem)

P: (Després de fixar-s'hi) No.

I: Què passa?

P: Quan està més a dalt baixa més de pressa i quan va baixant baixa més a poc a poc.

I: I això potser era difícil veure-ho a la primera? Però en canvi, si jo no t'ho hagués dit, tu t'hauries fixat en això?

P: No.

I: Però si t'ho he dit t'ha costat veure-ho?

P: No.

I: Ho has trobat fàcilment?

P: Sí.

PA2-10

I: Què t'ha ensenyat aquesta simulació? Què has après? Com ho diries en una frase?

P: Mmmm... El que passa quan es froten dos objectes.

I: I què és el que passa?

P: Que els àtoms quan es froten es fa calor.

I: Es fa calor... s'escalfen?

P: Sí.

I: Què és el que s'escalfa? Quin dels dos llibres s'escalfa?

P: Els dos.

I: Com ho saps que s'escalfen els dos?

P: Perquè has frotat les dues superfícies.

I: Però aquí visualment com ho saps que s'escalfen els dos?

P: Perquè estan movent els dos parells d'àtoms.

I: Molt bé. I quina explicació tu donaries a través d'aquesta simulació que sigui la causa d'aquest escalfament? Què és el que ha fet que això s'escalfi?

P: El contacte amb les dues superfícies.

I: Però això suposo que tu ja ho sabies, perquè tu et fregues les mans. T'ha explicat alguna cosa nova que no sabéssis aquesta simulació?

P: No molt...

I: Però tu ja sabies que quan fregaves escalfaves... Però aquí t'estan parlant d'àtoms, o de partícules. Què és el que fa que aquestes partícules o que aquests materials s'escalfin?

P: Doncs que es xoquen entre ells.

I: Es xoquen entre ells! I com que xoquen entre ells... què passa després?

P: Que s'escalfen.

I: Sí, però, aquesta partícula concreta... O sigui, tu saps que la temperatura és, diguéssim, la vibració mitjana de moltes partícules. Si les partícules vibren més, això vol dir que el material està més calent. Per tant, quan hi ha xocs, que els hi passa a les partícules?

P: Que agafen calor.

I: Cada partícula per separat?

P: Com que "per separat"?

I: O sigui, què és el que agafa calor? O sigui, quan una partícula xoca amb una altra, què li passa a aquesta partícula?

P: La partícula agafa calor.

PA3

<http://www.youtube.com/watch?v=Rw5HpX6T0fs>

<http://www.youtube.com/watch?v=n1-2AKZyXQE>

PA3-1

P: Veig unes boles de color groc i verd i al costat hi ha un termòmetre. Hi ha un botó que diu "Reset" que si cliques va baixant i pujant la temperatura i les boletes es van movent.

PA3-2

P: Si puja la temperatura es mouen més. Llavors, quan va baixant la temperatura es queden més quiets els àtoms.

I: Veus més coses per pantalla?

P: Bueno, veig dos llibres que posa "física" i "química" en anglès.

I: Està en anglès perquè me l'he baixat en anglès, però podria estar en català, castellà, xinès...

P: Doncs veig dos llibres a dalt de la pantalla que posa "física" i "química".

I: Veus alguna cosa més (intentant que em parlés del fons)

P: No veig res més.

PA3-3

I: Què creus que vol dir?

P: Jo crec que vol dir que amb l'augment de temperatura els àtoms es mouen més ràpid i no estan tan quiets, i a mesura que va baixant es van quedant més quiets.

I: I aquests àtoms, són àtoms de què?

P: Uf... De... (es queda encallada. Potser es pensa que li pregunto de quin element químic són).

I: Vull dir, tenen alguna cosa a veure amb la part que hi ha a l'esquerra?

(Atenció! Al fer l'anàlisi me n'adono que aquest error de comprensió ve, en part, condicionat pel fet que jo li pregunto expressament per la relació entre els àtoms i la representació dels llibres, i ella construeix aquesta explicació com a resposta a una pregunta que jo li faig)

P: Sí, perquè uns són químics i els altres són físics, pot ser?

I: Què et fa pensar que això és així?

P: Perquè un llibre és groc i l'altre verd. Pels àtoms.

I: O sigui, tu veus una relació entre els colors, no? I això et fa pensar que com que a dalt posa "química"....

P: Sí, uns són química i els altres són física. Estan compostos d'això.
 I: I per tant... tu veus dos quadrats, no? Assenyalam els dos quadrats (Senyala els dos llibres). Això són els dos llibres, però entre mig dels dos llibres hi ha alguna cosa?
 P: Un quadrat.
 I: I hi ha algun altre quadrat equivalent a aquest?
 P: No, veig dos línies que senyalen el quadre on estan els àtoms.
 I: Per tant, hi ha un quadre gran. Hi ha alguna relació entre el quadre petit i el quadre gran?
 P: No, bueno, sí, que encara que siguin de colors diferents els dos estan compostos de física i química.
 I: Però què diries que és el quadre gran respecte el petit? Quina relació diries que té?
 P: Crec que té... que... que pertany a la química i a la física els àtoms.
 I: A tu no se t'acudiria pensar que això és com si fos un zoom, com una ampliació?
 P: Ah, vale.
 I: Això no se t'havia acudit?
 P: No.
 I: Tu veies les ralles discontinúes?
 P: Si les veia, però jo em pensava que eren com lo que hi havia dins dels llibres.
 I: Sí...
 P: No que era una ampliació.
 I: Vale (en realitat, dic "vale" però en el moment de l'entrevista jo no entenia el que m'estava dient). És una ampliació perquè fixa't que en quadre petit...
 P: És la mateixa forma i tal.
 I: Exactament. Hi ha tres partP: una groga, una en mig i una verda.
 P: Vale, sí.
 I: Per tant, si ara et torno a preguntar què creus que són els àtoms? Per exemple, a què pertanyen els àtoms verds?
 P: Pertanyen al llibre de física.
 I: Al llibre. Per tant, no es que siguin "de física". Si en comptes de posar "física" posés "el Quijote"...
 P: També seria.
 I: Seria igual, no? Però tu creus que "lia" el fet que posi física i química?
 P: Sí, perquè jo pensava que, com eren grocs i verds, si haguessin diferents colors no, a lo millor cada cosa pertany a una cosa.
 I: Clar. Pertany al llibre.
 P: Pertany al llibre, a la solapa.
 I: El que no importa és...
 P: El interior, o de què va el llibre.

PA3-4
 P: Quan els fregues, puja la temperatura i llavors els àtoms es mouen una mica.
 I: Ara has tocat una miqueta. Frega més. Frega, frega, no apreta al botó sinó arrossega'l.
 P: Ah! Així.
 I: Selecciona... posa el cursor sobre el fons groc, per exemple, i mou-lo, desplaça'l. (Ho fa) Ara!

PA3-5
 P: És que només havia clickat el botó "Reset" i només pujava i baixava.
 I: Ah! Jo em pensava que tu ja havies...

PA3-6
 I: Explica'm que creus que passa.
 P: Que al moure el llibre els àtoms es freqüen molt més bé i van desapareixent.
 I: Vale... Tots desapareixen?
 P: No, desapareixen uns quants. Desapareixen del llibre que estàs tocant, no de l'altre.
 I: Què creus que vol dir que desapareixin?
 P: Jo crec que al frotar-lo, alguns s'escapen, s'han anat.
 I: I això tu ho connectaries amb alguna cosa que tu ja sàpigues? Quan tu fregues dos llibres realment passa alguna cosa....
 P: Amb la fricció.
 I: I què passa amb la fricció?
 P: Eh... doncs que al fregar dos cossos les partícules van desapareixent.
 I: Però això passa en la realitat?
 P: Sí que passa però no ho veiem, perquè necessitariem un microscopi.
 I: Un ultra-ultra-microscopi. De fet amb els microscopis no es veuen àtoms, es veuen cèl·lules. Els àtoms són super-super-super-petits.

PA3-7
 I: I ara què està passant amb aquests àtoms?
 P: Que s'estan com mesclant amb els verds.
 I: I quan deixes una estona?
 P: Es tornen una altra vergada a quedar-se quietes i a posar-se com en fila, en grup.

PA3-8
 I: És mouen tota l'estona igual?
 P: Quan hi ha més augment de temperatura els àtoms es mouen més ràpidament i no es mouen uniformement, estan com més "locos".
 I: Més locos, sí, sí, perfecte. Tu t'havies adonat que no es mouen tota l'estona igual, que es mouen més locos quan...
 P: Sí, perquè quan la temperatura ha pujat molt sí que es mouen més "a la seva bola".
 I: I quina relació tu diries que té les dues coseP: que es moguin més locos amb que la temperatura pugi?
 P: Doncs que hi ha una major fricció.
 I: Perquè... què vol dir en realitat la temperatura? A tu et sona que... com està relacionada la temperatura d'un cos amb com

es moguin els seus àtoms?

P: Perquè quan més temperatura, els àtoms es mouen més ràpidament. A menys temperatura estan més quiets.

I: Tu això ja ho sabies?

P: Sí.

I: I aquí, tu ho pots veure això?

P: Sí,

I: I quina diries que és la causa i quina la conseqüència?

P: La fricció.

I: La fricció és la causa de què?

P: La fricció és la causa de que pugui la temperatura i que els àtoms es moguin.

PA3-9

I: I ho relacionem amb l'augment de la temperatura... La temperatura de què?

P: La temperatura de la fricció dels llibres.

I: Però tu pots dir la temperatura d'algo, d'algun cos concret que està a alguna temperatura. Aquí què és el que està a una certa temperatura?

P: Els àtoms, no?

(Després li faig l'explicació que els àtoms no tenen temperatura, i que la temperatura és la vibració mitjana de molts àtoms)

PA3-10

I: Veus alguna cosa en el quadrat gran, a part d'àtoms?

P: Que els verds... la temperatura, els llibres... que no s'han mogut els verds.

I: Els verds no es mouen.

P: No es mouen...

I: Què creus que vols dir?

P: Que només desapareixen els àtoms amb els que estàs fent la fricció. Els altres es mouen perquè puja la temperatura però no desapareixen.

(Després faig l'explicació de perquè només desapareixen els de dalt)

PA3-11

I: Tu ho haguessis dibuixat així?

P: Jo també hagués fet que desapareguessin alguns verds. Perquè sinó lia una mica perquè sembla que amb el llibre que hem fet la fricció només desapareixen i no és així perquè si fas fricció amb els dos desapareixen dels dos llibres.

(De fet, l'únic que fa és repetir el que jo li he dit abans).

PA3-12

I: Hi ha més coses a part d'àtoms?

P: És que jo no veig res més...

I: No veus res més? Sí, home, sí! Que hi ha a...

P: El termòmetre.

I: A sota dels àtoms verds què hi ha?

P: El botó de "Reset"?

I: No, darrera dels àtoms.

P: Ah, el f... (suposo que volia dir el fons, però no ho tinc clar). El llibre groc?

I: Sí, clar, el fons.

P: Ah, clar, no està el llibre verd.

I: Però perquè no m'ho has dit abans? Quan jo t'he preguntat "hi ha més coses"? Perquè no el veies o perquè...

P: No, no queia

I: ...no li donaves importància?

P: No li donava importància.

I: Vale. Tu veus aquí com dos colors, no? Un groc i un verd, no? Què creus que vol dir això?

P: Doncs... ostres... per diferenciar els diferents llibres?

I: Per tant, què és el recuadre verd? O el groc, qualsevol dels dos. Què són?

P: Eh... Són els àtoms que hi ha en un llibre i els àtoms que hi ha en un altre.

I: Però tu fixa't que hi ha dos coseP: hi ha boles i fons verd, i boles grogues i fons groc. Quina és la relació entre les boles i el fons?

P: Per saber a quin pertanyen, i a mesura que es van movent va apareixent una mica de verd de llibre.

I: Va apareixent més llibre?

P: Sí.

I: A veure, mou i m'ho expliques? No t'estic entenant, ara.

P: Sí, perquè... (el requadre groc es superposa amb el groc - error de la simulació- i li explico que es tracta d'un error de disseny de la simulació, no d'una característica visual).

I: Això és un error de la simulació, perquè teòricament tu no podries ficar un... si s'estan frotant, no pots atravessar-lo. La mPA3- pregunta éP: què és el fons verd? Què representa que és?

P: Mmm... la representació de l'altra llibre? (Demostra que no està entenant la meua pregunta).

I: Oblidem-nos de l'altre llibre, deixem el de dalt i ara només mirem el verd. Quantes coses de color verd hi ha?

P: Els àtoms.

I: Els àtoms...

P: I el fons.

I: I el fons! Què vol dir cada cosa? O sigui, que vol dir aquest fons? Perquè clar, els àtoms hem dit "són els àtoms del llibre verd", però llavors el fons què és?

P: El llibre.

I: I el llibre de què està fet?

P: De paper i dels àtoms.

I: I quina és la relació entre el paper i els àtoms?

P: Quant més paper, hi ha més àtoms.

I: I entre àtom i àtom que hi ha?

P: Uff...

I: Clar, perquè fixa't que entre els verds, entre mig està com pintat de verd. Senyala'm un àtom, (el senyala) senyala'm l'àtom del costat. Entre els dos àtoms què hi ha?

P: Un forat.

I: Un forat?

P: Bueno...

I: De quin color és? Què hi ha en mig dels dos àtoms?

P: Verd.

I: I què vol dir això verd? O no vol dir res?

P: Sí que vol dir alguna cosa...

I: Com t'estic "xinxant"...

P: Sí que vol dir alguna cosa... és que abans no veia el fons, perquè és tan claret que no veia el fons. I jo deia "fons verd?", sí és blanc!

I: Clar, potser des d'on estàs tu es veu pitjor.

PA3-13

I: Què pot voler dir aquest fons verd?

P: Jo crec que les altres partícules que conté el llibre.

I: I perquè no estan dibuixades?

P: Perquè en aquesta simulació el més important són els àtoms. El que vol donar a veure són els àtoms, no les altres partícules.

(Arribats a aquest punt, jo li explico la relació entre fons i àtoms com dues representacions de la matèria equivalents, i també li explico perquè només apareixen alguns àtoms).

PA3-14

(Després de l'explicació)

P: Pot ser, també... Jo creia que també estava compost d'unes altres partícules.

I: Tu creus que tal com està dibuixat fa pensar el que tu estàs dient?

P: Sí...

I: Podem criticar-la la simulació. Jo crec que té molts errors, té molts "fallos", i un d'ells és aquest, que "lia", no?

P: Sí, perquè si volen donar a entendre que tot són àtoms haurien de dibuixar tot àtoms. Perquè sinó sembla que siguin dues coses diferents, que uns siguin partícules de una altra cosa i els altres siguin àtoms.

PA3-15

I: La línia verda per dalt no és plana.

P: No. Igual que la groga, té muntanyetes.

I: Què volen dir aquestes muntanyetes?

P: Jo crec que volen dir que encara que veiem la superfície del llibre plana, els àtoms no són plans, són rodons.

I: A tu et sonava això de dir que "encara que es vegi una cosa plana, si...".

P: Bueno, ho havien donat a classe, crec.

I: El que vull dir és que les coses planes si t'acostessis molt en realitat no es veuen planes sinó que...

P: No, no ho sabia.

PA3-16

(Al final de tots els aclariments que li he anat fent, li demano que torni a explicar-me la simulació)

P: El que tenim a la pantalla és una simulació dels àtoms que hi ha entre dos llibres.

I: Els àtoms que hi ha entre dos llibres o els àtoms dels llibres?

P: Els àtoms dels llibres.

I: Perquè creus que entre els dos llibres hi ha àtoms?

P: No. Són els àtoms que estan compostos del llibre.

I: Vale, potser podríem dir... potser hi ha algun àtom de l'aire però...

P: Sudem...

I: "Sudem" d'aquests, no?

P: Sí. (I llavors torna a l'explicació) Aquesta simulació el que vol dir és que si fem fricció amb el llibre a l'altre, puja la temperatura i llavors els àtoms desapareixen. Quanta més temperatura hi ha, els àtoms més es mouen i a mesura que van baixant es van quedant quietes. Els llibres només estan compostos de àtoms i haurien d'estar tots dibuixats. I dels verds també haurien de desaparèixer, perquè encara que facis fricció amb el llibre groc del verd també desapareixen els àtoms.

PA3-17

I: Què vol dir això? (La forma irregular dels àtoms grocs de dalt) Si creus que vol dir algo o si creus que és casualitat?

P: Jo crec que no vol dir res perquè aquí (senyala els verds) no acaben en punta. Jo crec que, no se perquè, aquests (els verds) estan més uniformes i aquests (els grocs) estan més a la seva bola. Jo crec que és un error que sigui alguna cosa. (Cal tenir en compte que minuts abans jo li havia parlat explícitament de la validesa de cada element de la simulació).

PA3-18

I: Tu te'n recordes com puja el termòmetre i com baixa.

P: Sí quanta més fricció, més puja.

I: I el moviment de pujada del mercuri dins del termòmetre com és? És constant?

P: Puja de cop, i quan ja no frotés, va baixant més a poc a poc. Però puja de cop.

I: Diries que la pujada és més ràpida i la baixada és més lenta, no? I la pujada és constant, és a dir, va pujant ràpid però tota l'estona igual o quin tipus de...

P: No.

I: Per exemple, al principi puja més, al final baixa menys... o què?

P: Hi ha una pujada fins al màxim, per dir-ho així, i després va baixant poc a poc.

PA3-19

I: I la baixada és tota l'estona igual? O quan baixa més o quan baixa menys?

P: Quan és el primer tros fa una baixada més forta. Després va baixant més lent.

I: D'això t'has adonat? Ets la primera que ho ha vist de tota la gent amb qui hem fet les entrevistes... Comprova-ho! (Frega) Vale, deixa anar.

P: Primer va més fort i després va baixant més a poc a poc.

I: Creus que això té algun significat?

P: Sí, com que l'impuls primer és molt fort després hi ha una baixada forta perquè va amb la gravetat, bueno, gravetat no... amb l'impuls, saps?

I: L'impuls de què?

P: És que no se com explicar-ho...

I: El "subidón" del mercuri?

P: Sí.

I: Però aquí representa que estem mesurant la temperatura, però bé, explica el que anaves a explicar.

P: Que jo crec que com que hi ha una pujada molt ràpida, després baixa i després ja va baixant més a poc a poc.

I: Però explica'm això de "l'impuls", perquè t'he tallat i no ho hauria d'haver fet.

P: Que jo crec que com puja amb molt impuls, baixa... com és queda aquí baixa amb més impuls i llavors ja va parant.

PA3-20

I: I per què creus que baixa i no es queda a dalt?

P: Perquè no fas fricció. Perquè has parat de fer la fricció i llavors la temperatura dels àtoms va baixant.

I: I per què no es queda a dalt?

P: Perquè no hi ha la mateixa temperatura quan estàs fent fricció que quan no.

I: Torno a fer-te la pregunta: Quina és la causa que la temperatura baixi? Perquè tu podries fregar i allò ja està, ja s'ha calentat i es queda calent.

P: Perquè quan fa la fricció sí que es calenta i puja però quan pares de fer fricció es refreda, i llavors ha de baixar

I: Per què es refreda i no es queda alta?

P: Perquè torna a la temperatura natural, ambiental.

I: Exactament, a la temperatura ambient. Com que les coses que estan al voltant del llibre estan més fredes...

P: Tornarà a aquesta mateixa temperatura.

PA4

<http://www.youtube.com/watch?v=Js-ObdC5FgY>

PA4-1

P: Doncs veig que hi ha una part són, segons posa aquí, uns àtoms grocs i uns altres de verds. La indicació era intentar frotar els grocs amb els verds per a que així es veu com augmenta la temperatura. I llavors, s'ajunten i ja està.

PA4-2

P: Hi ha com un quadrat i dins està dividit en dues parts. La part de dalt és de color groga i la part d'abaix és d'un color verdós. Llavors, justament en mig, a la part de dalt, hi ha unes rodones grogues i una mica més abaix, verdes. I estan unides.

I: Vale, veus alguna cosa més?

P: Al costat dret hi ha un termòmetre amb la part de baix vermella. I que quan ajuntes les boletes de colors llavors va creixent i va augmentant el color vermell.

PA4-3

P: Veig que al costat esquerra de la pantalla hi ha dos llibres, un groc i un verd. Al groc posa química i al verd posa física.

PA4-4

P: Doncs les boletes grogues que he dit abans es mouen una mica, vibren, juntament amb les verdes.

I: Què vols dir "juntament"?

P: Que les dues a la vegada.

I: Ah, vale. Alhora. No quan estan juntes, sinó que totes vibren.

P: I llavors amb el ratolí ho mous i comencen a moure's totes les boletes.

I: M'has dit que ja s'estaven movent o que no?

P: Sí, però quan mous el ratolí llavors es mou la posició. Abans estaven només vibrant.

PA4-5

P: Sí, es mouen, bueno, vibren més ràpidament i llavors, al moure la pantalla amb el ratolí doncs alguns s'han barrejat i...

I: Molt bé, que més?

P: Quan més ho mous, més es barrejen entre ells i quan deixes de donar-li amb el ratolí es torna a la posició on estaven abans, al principi.

PA4-6

I: Has vist que hi havia alguns àtoms que desapareixien, algunes boletes. T'havies fixat?

P: Sí.

I: Perquè no m'ho has comentat?

P: Perquè al principi han començat a moure's i s'han anat. M'he fixat ara a la segona ronda.

I: Però perquè no m'ho has comentat en aquesta segona ronda?

P: No se, no li he donat importància.

I: Això és el que volia saber... No li has donat importància.

PA4-7

I: Tu creus que (la simulació) serveix per aprendre què?

P: Jo crec que vol dir que a mesura que es mouen i que vibren la temperatura va augmentant i per tant uns dels àtoms desapareixen i d'altres es queden.

I: Vale, perfecte.

P: I canvia l'estat.

I: M'estas dient ara "un canvi d'estat"?

P: Sí.

I: Un canvi d'estat entre quins estats?

P: Crec que de sòlid a líquid.

I: És a dir, que... (m'encallo i entravanco amb la paraula "liqüefacció quan volia dir "fusió") que es desfà.

P: Sí.

PA4-8

I: De quin tema seria aquesta simulació? O sigui, de què va [Encara en cap moment ha parlat de fregament entre dues superfícies i amb aquesta pregunta espero que ho faci]

P: Doncs que a més temperatura més vibren i més es mouen i llavors arriba un moment que és com si s'evaporessin i marxessin. I quan es refreden tornen a la mateixa posició.

PA4-9

I: I aquí m'estas parlant de la conseqüència d'aquest escalfament. Però no m'estàs parlant de la causa. O sigui, què causa aquest escalfament?

P: (es queda callada, sembla que no enten la pregunta).

I: O sigui, quan tu mous el ratolí que fas? Representa que què estàs fent?

P: Que els estàs ajuntant, no? Que els estàs unint.

I: Que s'estan unint?

P: Sí. Llavors és quan agafa la temperatura.

I: Què vols dir que s'està unint? Què s'està unint?

P: Els àtoms. Uns àtoms i els altres.

I: Tu en la vida quotidiana no veus àtoms. Tu això que veus aquí ho havies vist alguna vegada? Els àtoms no, però el fenomen en general?

P: Mmm...

I: O et recorda a alguna cosa que tu hagis vist? Alguna cosa que passi en la vida quotidiana?

P: Mmm...

I: Quina pregunta més rara, oi? Vale això vol dir que no ho estic fent bé.

(Torno a intentar-ho, ja que veig que no me'n surto a que ella em parli de fregament)

I: Si haguessis de posar un títol de una sola paraula a aquesta simulació, quina seria?

P: És un canvi, es podria dir.

I: Canvi?

P: Sí, un canvi, no se...

PA4-10

I: (Després d'intentar que ella parli de fregament en reiterades vegades, introdueixo jo el concepte) Creus que aquesta simulació té alguna cosa a veure amb el fregament?

P: Sí.

I: I perquè no m'ho has dit fins ara?

P: No se, perquè creia...

I: Ho estaves donant per suposat?

P: Sí.

I: Ho estaves donant per suposat. A vale, és que no m'ho havies dit i no ho sabia... Per això t'ho he preguntat.

(Cometo un error molt gran en la entrevista! Després de veure tota l'entrevista i després de veure'n moltes altres -aquesta va ser la primera-, no és cert que ella estigués pensant en fregament i no ho hagués dit perquè ho donava per suposat. Em dona la raó per comoditat i perquè no vol quedar malament, però la conclusió que jo extrec in situ és incorrecta).

I: Si et fixes en el termòmetre, quines conclusions pots extreure? Què creus que ens explica el termòmetre? Torna a moure-ho si vols i prova-ho unes quantes vegades. Mou, deixa de moure...

P: Doncs que quan més ho mous veus que la temperatura va augmentant, i per tant, el color vermell del termòmetre creix.

I: I quan deixes de fregar?

P: Quan deixo de fregar torna a posar-se com fred. Es treu tot el vermell, tota la temperatura disminueix.

I: I perquè creus que puja i perquè creus que baixa? Com ho explicaries?

P: Per la fricció. Perquè amb la fricció que fa doncs augmenta la temperatura.

I: Per què? Desenvolupa una mica més aquesta idea.

P: Com? Explico que...

I: Per què no passa al revés? Que quan hi ha fricció baixa la temperatura?

P: Doncs perquè llavors, al no haver moviment, doncs no... és que no se com explicar-ho. O sigui, entenc la pregunta però no se explicar-ho....

I: No sabries explicar-me perquè, si hi ha fregament, hi ha increment de temperatura?

P: Doncs perquè al fregar dos cossos doncs hi ha més temperatura. I llavors, per això creix. I quan pares, llavors no s'ajunten i la temperatura no augmenta.

PA4-11

I: Per què no passa al revés, que quan fregues baixa la temperatura?

P: Doncs perquè, llavors....

I: Intenta explicar-m'ho a través de les partícules o dels àtoms aquests.

P: Sí, doncs que... veig que els àtoms grocs, al fregar-los amb els verds llavors augmenta la temperatura. I quan ja no estan junts llavors la temperatura disminueix un altre cop. Llavors, no se... cadascú tindrà una temperatura determinada i al fusionar-ho, llavors, augmenta.

PA4-12

P: La temperatura és més ràpida al augmentar, i al disminuir va més lentament però també...

I: Va més lentament?

P: Sí, va una mica més lent.

I: I va tota l'estona igual de lent?

P: A veure... (ho mira). No, a mesura que va baixant va cada cop més lent.
 I: Això ho has vist ara o ho havies vist abans?
 P: No, ara, ara, al fixar-me si.
 I: I perquè creus que passa això? Com ho explicaries que passés això?
 P: Doncs perquè a poc a poc les molècules es mouen menys, llavors la temperatura cada cop es va refredant més a poc a poc.
 (Al final, xiuxiuejant diu "no se", com si la explicació que ella ha fet no li convencés gens).

PA4-13

I: T'ho torno a preguntaP: Per què creus que baixa la temperatura? O què és el que fa que baixi la temperatura?
 P: Doncs perquè no estan junts els cossos, i llavors, al no tocar-se ni res es va refredant (torna a fer un "no se" molt fluixet).
 I: Et torno a fer la pregunta "xunga i torracollons": Per què no es queda la temperatura alta tota l'estona? Per què torna a baixar?
 P: Doncs perquè com que no es freguen...
 I: Sí, però si no li estàs fent res? Has dit "fregues, pugen", i ara ja no li estic fent reP: Per què no es queda a dalt la temperatura?
 P: Doncs perquè no es mouen. Es que... no se, perquè no segueixes fent el mateix. No se, o sigui...
 I: Està "superbé", estic fent preguntes molt...

PA4-14

I: Has après alguna cosa nova amb la simulació que abans no sabies?
 P: Doncs per exemple això últim que quan deixaves de fregar jo no sabia que a poc a poc... o sigui que disminuïa tan a poc a poc. Ni tampoc que augmentava tan ràpidament la temperatura. I tampoc que hi havia algunes mol·lècules doncs que s'anaven.

PA4-15

I: Per què creus que hi ha algunes molècules que se'n van?
 P: No se, perquè crec que és les que estan més a prop de la superfície i llavors doncs al fregar la temperatura augmenta i s'evaporen, o se'n van.

PA5

Primera part: <http://www.youtube.com/watch?v=bYrSAwwzhRg>
 Segona part: http://www.youtube.com/watch?v=6b45e-2_RpQ

PA5-1

P: Jo crec que són àtoms, de dos llibres i... quan fregues els àtoms, la temperatura puja per el fregament i es mouen més ràpid. I es mouen però es mouen... ràpid.
 I: Quan fas així suposo que vols dir com que vibren, no?
 P: Sí, si. I... si les fregues molt, és com si es moguessin de lloc. I se van...

PA5-2

I: Què més veus?
 P: La temperatura... tinc més àtoms grocs, han desaparegut els demés, no se. És com l'amplificació d'un tros de llibre o algo així.
 Està amplificat com aquest tros, on estan els dos llibres junts, i quan baixo el llibre groc i el frego amb el verd, puja la temperatura i em desapareixen els àtoms.
 I: Tots et desapareixen?
 P: No, només els grocs, els verds no.

PA5-3

P: Els àtoms estan col·locats en línia i tenen la mateixa distància.

PA5-4

P: Surten uns llibres en petit i un quadrat que m'està senyalant la part més gran.

PA5-5

I: Els àtoms a sobre de que estan?
 P: Estan a sobre d'una superfície, que és el llibre, sòlida.
 I: Sòlida? De dos colors diferents?
 P: Sí, perquè el llibre és de dos colors diferents. Però... el material és el mateix.
 I: Però això no importa, no? Pot ser de paper, cartró, plàstic...

PA5-6

P: Jo suposo que vol dir que quan dos materials es freguen, que la temperatura puja. Dos materials sòlids.
 I: Tu això ho sabies ja, oi? Posa'm un exemple...
 P: Pues si fregues la ma amb una corda, si la corda s'estira, se't crema la ma.

PA5-7

I: Alguna cosa nova que no sabessis?
 P: Sí, que els àtoms desapareixen...
 I: Els àtoms?
 P: Alguns àtoms desapareixen.
 I: Això és una cosa important. Parlem d'això ara? Vinga, va. Que creus que vols dir que hi hagi àtoms que desapareixen?
 P: Doncs... és que no se perquè desapareixen. Fregues, però els àtoms de l'altre llibre segueixen igual i no han desaparegut, però en canvi, el llibre que estàs movent... A veure, estàs movent un llibre, o un tros, i l'altre està quiet, i el llibre que mou són els àtoms que desapareixen.
 I: Si haguessis d'inventar-te una explicació per la qual desapareixen, quina explicació donaries?

P: Que es cremen tant que desapareixen.
 I: Que és cremen? A vale, com la corda.
 P: Si, que s'escalfen tant que desapareixen.
 I: Se t'acut algun exemple de dos coses que
 P: Si, la corda. Si tu agafes una corda i estiren a molta velocitat se't crema la ma.
 I: I hi ha algo que desapareix?
 P: Si, que et fas una ferida perquè.... ah! els àtoms de la pell se m'han anat.
 I: Com podríem dir aquest fenomen? [Esperant que em respongui erosió o desgast]
 P: Desaparèixer?
 I: Bueno, desaparèixer...
 P: Si, perquè no estan aquí.
 I: No estan aquí però...
 P: Si no estan aquí, on estan?
 I: Se n'han anat. No és que hagin desaparegut que ja no existeixin, sinó que ja no estan aquí. Que et sembla el nom de desgast?
 P: Ah! Si. Com els cotxes de la Fórmula 1.
 I: Si, explica, que els passa als cotxes de F1.
 P: Que quan corren a molta velocitat, amb l'asfalt de la carretera, fa pujar la temperatura i han de canviar els pneumàtics cada cert temps.

PA5-8
 I: Ara et queda més clar?
 P: No. osea... se'n van perquè... no se perquè se'n van.
 I: Això que estavem dient ara...
 P: Ah, si... A vale, sí, sí.
 I: Per què se'n van?
 P: Perquè... es desgasten, però no se'n van.
 I: Si, d'aquí si que se'n van. Quan jo et deia que no desapareixien volia dir que desapareixien "plup!" de màgia, però se'n van.
 Es desgasten, se'n van a l'aire, jo que se...
 P: Sí, sí...

PA5-9
 I: Si jo et tapo el termòmetre, tu em pots dir si hi ha hagut escalfament o no?
 P: Si estan quiets...
 I: Què vols dir?
 P: Si els moc, la temperatura és normal. Si els frego a poc a poc, la temperatura puja però no molt, i si els frego ràpidament, la temperatura puja molt ràpid.
 I: I que és que creus que fa que pugui la temperatura?
 P: El fregament...
 I: Però això tu ja ho sabies que quan fregues (les mans) se t'escalfen. Però gràcies al dibuix dels àtoms, pots tenir nova informació? Què és el que li està passant a cada àtom per començar a moure's?
 P: Com que què és el que està passant?
 I: Per exemple, ara estan quiets. Es mouen ara?
 P: Si, però ells, perquè vibren, perquè els àtoms es mouen.
 I: Tu això ho saps que els àtoms sempre una mica es mouen? Mou-lo una mica més. Que ha passat?
 P: Que ha pujat una mica la temperatura.
 I: Què ha passat a cada àtom?
 P: Que s'ha mogut més ràpid.
 I: Què és el que ha fet que s'hagi mogut més ràpid?
 P: La temperatura.
 I: Torna a moure-ho. S'han mogut una mica més ràpid. Què és el que ha fet que es moguin una mica més ràpid.
 P: No se...

PA5-10
 I: Posa el cursor aquí dalt i mou així (sense que els dos blocs toquin). Ara els estàs movent i en canvi la temperatura no puja.
 P: Perquè puja la temperatura quan està fregant-se amb altres àtoms.
 I: Per tant, que és el que fa que es moguin?
 P: Els altres àtoms, perquè es mouen també els altres àtoms i es com si es desgasten (ho diu amb veu fluixa i poc convençuda)
 I: Però si jo ara faig així (sense que els dos blocs toquin) ben fort, ben fort...
 P: No, perquè no es toquen.
 I: Per tant, la idea clau aquí és que quan hi ha fregament... O sigui, el fregament tu el veus, els àtoms no els veus, però que vol dir que hi hagi fregament? Que li està passant així amb el zoom? Els àtoms...
 P: Que no es toquen.
 I: I quan hi ha fregament?
 P: Que es toquen.
 I: I quan un àtom toca un altre àtom, que passa?
 P: Que es desgasta.
 I: Alguns es desgasten. Bueno... es desgasta cada àtom?
 P: Alguns. No desapareixen tots.
 I: Vale, alguns desapareixen, i els altres que es queden?
 P: Doncs que es queden.
 I: I què passa quan toquen els que es queden?
 P: Que no desapareixen.
 I: I a part de no desaparèixer? Vale, fem-ho. Alguns desapareixen, i ara aquests desapareixen. I els que es queden, què passarà quan es toquin?

P: Que es mouran però no desapareixeran.
 I: Què es el que fa que comencin a moure's?
 P: El fregament, o sigui... que s'han tocat.
 I: Que s'han tocat, que han picat, que han xocat.

PA5-11

I: Per tant, quines conseqüències té el fregament?
 P: Que puja la temperatura, que es desgasten els àtoms, que desapareixen els àtoms.
 I: Normalment el que diem és que els àtoms marxen i el material es desgasta. No és que un àtom es desgasti, però com que els àtoms marxen, el material es desgasta.

PA5-12

I: Te'n recordes una mica de la pujada i la baixada de temperatura?
 P: Si frego ràpidament la temperatura puja molt ràpid però a mesura que passa el temps va baixant, poc a poc.
 I: Baixa a poc a poc i puja ràpid?
 P: Puja ràpid si els fregues ràpid, contra més ràpid els fregues més ràpid puja.
 I: I la pujada és continua?
 P: No, si jo li estic donant tota l'estona igual amb la mateixa ràpidesa llavors sí que és continua... però si vaig donant-li fort i fluix, puja més ràpid, va pujant, no se....
 I: Com sotrats, no?

PA5-13

I: I la baixada? Com és la baixada?
 P: La baixada sí és continua
 I: Continua i tota l'estona igual? Vale, comprovem la baixada. Fes-ho. Fes que pugui la temperatura i després que torni a baixar. (Ho fa mentre li dono instruccions).
 P: Ah, no. Baixa ràpid al principi i després baixa a poc a poc.
 I: No ho havies vist això?
 P: No.
 I: Donaries alguna explicació a que això passi?
 P: Que al principi, com està molt calent, al parar de fer-ho de cop es refreda molt ràpidament i després ja, com s'acostuma a l'ambient... no se com explicar-ho, i va baixant més normal.
 I: I perquè creus que es queda a aquesta temperatura?
 P: Perquè ja és la seva temperatura que té. Els llibres o el que sigui té una temperatura ja, i és aquesta.

PA5-14

I: Si tu haguessis de fer un resum de la simulació, què diries?
 P: Els àtoms quan es freguen, alguns es desgasten, i puja la temperatura.
 I: Perquè puja la temperatura?
 P: Perquè s'han fregat els àtoms.
 I: Però tu com has vist que puja la temperatura?
 P: Pel termòmetre.
 I: I si el termòmetre no hi fos.
 P: Doncs jo deduiria que la temperatura puja o baixa.
 I: Què és el que veus tu que estigui passant aquí que et faci pensar que la temperatura puja? (Riu) És que sóc molt "quisquilloso", jo.
 P: Doncs quan els àtoms es freguen, ràpidament la temperatura puja ràpidament i si es freguen més a poc a poc, la temperatura puja més a poc a poc.
 I: Jo el que volia que em diguessis és que quan els àtoms es freguen, es mouen. És això el que volies dir?
 P: Bueno, se me ha olvidado. Però també ho se.
 I: Però tu has vist aquí quan fregues, si el termòmetre no hi fos tu que veuries?
 P: A vale, que es mourien més ràpid...
 I: I això té alguna cosa a veure amb la temperatura o no té res a veure. Què té a veure?
 P: Que... suposo que tindrà a veure. Què té a veure no ho se.
 I: per exemple, si es mouen molt, que vol dir?
 P: Que la temperatura és més alta
 I: I si es mouen poc?
 P: Que la temperatura és més baixa.
 I: Estaves pensant en això?
 P: No.
 I: No?
 P: No sabia el que m'estaves preguntant.
 I: Però quan deies "quan freguem puja la temperatura", tu a part de veure-ho amb el termòmetre, ho havies vist amb els àtoms o no ho havies vist?
 P: Sí, sí que ho havia vist.
 I: T'hi havies fixat?
 P: Sí.
 I: Molt bé, em pots tornar a dir la frase ja per acabar, amb totes aquestes coses?
 P: Que quan freguem els àtoms la temperatura puja depèn de la velocitat que freguem. Si freguem ràpid la temperatura puja ràpid, i si freguem a poc a poc, la temperatura puja a poc a poc. I els àtoms es mouen, i es desgasten, i desapareixen.

PA5-15

I: Canviaries alguna cosa de la simulació?
 P: El llibre, que se'n va, però no se el que exactament.
 I: No, no, això és un error de la simulació. Això no vol dir res. Quan el llibre se'n va és perquè està malament feta.
 P: Sí, però el que està senyalant és els dos llibres quan estan junts. O sigui... sí.

I: Clar, és un problema... el llibre hauria d'estar aquí dalt, però comença a fer coses rares. De fet, si tu piques aquí... (el llibre comença a desplaçar-se) això és un problema de que està malament feta. Si tu poses "actualitzar" t'apareix el llibre on ha d'anar.

Però aquí el problema és que és molt difícil dissenyar una simulació així, això ho fa un informàtic i segurament li costa.

P: I una altra cosa que no se és, si baixo... Això és com si fossin els dos llibres, que estan junts, però aquí hi ha espai, és com si no sigui res.

I: Vale. Per què creus que aquí hi ha espai?

P: No se, és el que et pregunto...

I: Fixa't aquí com és entre els dos llibres.

P: Està un més cap a fora.

I: Sí. I a part, hi ha un espai en mig.

P: Sí, però jo ho entenia això com si un estigués més cap a fora i l'altre més cap a dins, saps?

I: No, no t'estic entenent ara. Com fes-m'ho amb això.

P: Així, un llibre més cap a fora i l'altre més cap a dins.

PA5-16

P: Sí, són llibres. Un llibre de física i un llibre de química.

I: Però en realitat, de què estan fets aquests llibres?

P: De qualsevol material, no se... de cartró.

I: Però per què per exemple aquí hi ha àtoms i aquí no?

P: Ah! Això si que no...

I: Això no ho hem discutit amb tu, oi?

P: No, no, eso no lo se.

I: Per què creus que aquí hi ha àtoms i aquí no hi ha àtoms?

P: Jo em pensava que era per no posar-ho tot d'àtoms, per només posar un trosset, una explicació, un exemple.

I: Exactament.

PA6

<http://www.youtube.com/watch?v=Mupht-KReBU>
<http://www.youtube.com/watch?v=eSlcXgeKPq4>

PA6-1

I: Intenta'm explicar tot el que es veu.

P: Doncs són dos grups d'àtoms diferents que si els frotes augmentes la temperatura, però després de seguida quan ho deixes la temperatura baixa ràpidament.

I: Apareixen més coses per pantalla?

P: Surt que és dos llibres que és com si es frotessin els dos llibres.

I: I els dos llibres que tenen a veure amb els àtoms que m'has dit abans?

P: Que són de física i química.

I: Però abans m'has dit "es veuen uns àtoms" i ara "es veuen uns llibres".

P: Perquè és l'interior dels llibres, diguéssim, com si estiguessin augmentats.

PA6-2

I: A part d'àtoms, es veuen altres coses?

P: Bueno, es veu això que suposo que són els llibres o...

I: El què és "això"?

P: Hi ha una superfície de color, però no sé que és.

I: No saps que és la superfície de color?

P: No

I: Es veu alguna cosa més?

P: No

PA6-3

I: Que és el que creus que explica aquesta simulació?

P: Suposo que és per dir que puja la temperatura quan els froten els àtoms.

I: Tu això ho sabies?

P: Bueno, m'ho imaginava. Perquè si tu fas així (gest de fregar amb la mà) raspes doncs cremes ... Però no sabia molt tampoc.

I: Gràcies a aquesta simulació creus que saps alguna cosa que no sabessis abans?

P: Sí, perquè és com si sapigués que és per els àtoms que es froten.

I: I per què és per els àtoms? Què creus que els hi està passant a aquests àtoms?

P: Que es mouen. Es mouen els àtoms, no se...

I: I ara, per exemple, els àtoms es mouen?

P: Si

I: Llavors, quina diferència hi ha?

P: Doncs que abans es movien més, i a més, hi ha menys àtoms.

I: Quina explicació li donaries a que hi hagi menys àtoms?

P: No se, perquè només hi ha menys de grocs.

I: I això creus que té algun significat?

P: Sí, però no se quin.

I: No saps quin.... Ni idea?

P: No.

I: Tu, si ho haguessis de dibuixar... Tu abans has dit que això era...

P: L'augment.

I: Si l'haguessis de dibuixar te l'imaginaries així o diferent?

P: Mmm...

I: O no te l'imaginaries?

P: No, si, així, amb els àtoms i...

PA6-4

I: I amb el fons que em deies abans?

P: No, el fons no, no se que és...

I: I si t'haguessis d'inventar què pot voler dir el fons?

P: Diria que és on es situen els àtoms, com [no se l'entén]

I: Anaves a dir una paraula

P: Sí, anava a dir "com la membrana".

I: Perfecte. Tornem a començar i ara narra'm tot el que està passant.

P: Doncs que [al reiniciar la simulació] es mouen més, s'han separat els dos fons i baixa la temperatura i mentre baixa la temperatura es mou més lent.

I: I ara, fes alguna cosa tu. (Comença a fregar). Vale, què representa que has fet ara?

P: Que he mogut el llibre i l'he frotat amb el de baix.

I: Explica'm què ha passat.

P: Que als àtoms, alguns s'han anat i s'han aproximat més.

PA6-5

P: Anem a fer-ho per separat. Què creus que vol dir que alguns s'hagin anat?

P: És que és com si el groc de dalt sigui el llibre de dalt i el verd el de baix, i al mig hi hagi uns àtoms que al frotar-se, se'n vagin.

I: Quan dius "aquests àtoms en mig dels dos llibres", me'ls pots senyalar?

P: Aquests, els grocs.

I: I aquests grocs, tu creus que són àtoms del llibre groc o que són àtoms en mig dels dos llibres?

P: En mig.

I: Creus que realment aquests àtoms entre dos llibres hi són?

P: Sí, els àtoms de l'aire, del que hi ha. I al frotar-se se'n van anant, i al final no hi ha tants.

I: I perquè creus que han marxat?

P: Per l'escalfor. S'han escalfat i s'han...

I: S'han anat?

P: Sí

PA6-6

I: Explica'm [li estava preguntant pel termòmetre]

P: Sí fregues puja molt, molt ràpid, i després, quan baixa el moviment, baixa ràpidament.

I: Baixa tota l'estona igual de ràpid.

P: No, quan ja està més fred, baixa més lent.

I: Tu te n'havies adonat de que baixava més lent al final?

P: Sí.

I: I que creus que vol dir això?

P: Doncs que quan baixa, les primeres temperatures baixa molt ràpid però després ja li va costant. Perquè ja es queda en un moment que va baixant una mica però no baixa molt.

I: I quina explicació li donaries que això passi?

P: Perquè encara s'està movent i va baixant, però com que és a poc a poc, baixa menys.

PA6-7

I: Explica'm més coses. No se... les formes....

P: Això?

I: Això d'aquí, per exemple, com ho defiries amb paraules?

P: Doncs que cada llibre té uns bonys, però no se que son. Sembla com si els àtoms es possessin allà, el lloc on han d'anar els àtoms.

I: I, per tant, si jo et pregunto què volen dir aquests bonys, la teva resposta seria...

P: Sí, com una espècie de... (dubta) forats, on es situen cada àtom.

I: I per què creus que no hi ha àtoms allà?

P: Perquè.. no se. També s'han anat molts i llavors també alguns anirien allà i com s'han anat, doncs queden [els forats].

PA6-9

I: A part d'aquestes superfícies verdes i grogues, hi ha més coses?

P: Els àtoms amb el nucli, el termòmetre...

I: El nucli? [em sorprendria perquè no m'espero aquesta resposta]

P: Sí, no?

I: Què és el nucli?

P: Perquè dins de cada àtom hi ha un puntet que m'imagino que serà el nucli.

I: Quin puntet?

P: El puntet rosa.

I: Ah! El puntet rosa? Rosa o blanc...

P: Sí, blanc.

I: Tu creus que això és com el nucli, no?

P: Sí...

I: Perquè tu has estudiat els àtoms amb el nucli, els electrons...

PA6-10

P: S'acaba el llibre.

I: Per què ho suposes que s'acaba el llibre?

P: Perquè és com si això és el "borde",

I: La cantonada...

P: I quan es mou, s'acaba.

I: I ho trobes normal que s'acabi aquí?

P: No, perquè aquí... (no se l'entén) hauria d'arribar fins aquí.

I: De fet, abans quan jo et preguntava la part blanca ja es veia. T'hi havies fixat en aquesta part blanca?

P: Sí, però em pensava que era lo de dalt que també s'acabava, però tampoc arriba fins a dalt. No se...

I: Per tant, hi ha com una certa contradicció entre... per què creus que hi ha aquesta contradicció?

P: A lo millor és perquè potser es vol centrar en mig del llibre, no se...

PA6-11

I: Si haguessis de fer un resum, què diries?

P: És una simulació de dos llibres quan es freguen dels àtoms que... (no s'entén)

I: Això només m'estàs descrivint el que es veu: Dos llibres que freguen i s'escalfen. Però el concepte físic que has après, quin seria?

P: Que quan augmenta la temperatura, hi ha varis àtoms que se'n van, es desfan.

I: Es desfan i se'n van? Vale... Per un costat, quan augmenta la temperatura se'n van. Però tu em sabries explicar què és el que fa que augmenti la temperatura? Perquè tu ja sabies que fregant la temperatura augmenta...

P: Mmm... No se, que es mouen més ràpid els àtoms.

I: I què és el que fa que es moguin més ràpid?

P: Que els de dalt i els de sota fan que es moguin.

I: Com fan que es moguin més ràpid?

P: Doncs uns impulsen els altres i es van...

I: De fet la idea clau és aquestP: s'impulsen. Per què s'impulsen?

P: Perquè agafes els de dalt i impulsen els de sota i es van movent. I al final es mouen més ràpid i puja la temperatura.

I: Que fan entre ells els àtoms?

P: Es mouen... s'empenten, diguessim.

I: Aquesta és la idea clau. Com que quan ajuntem els àtoms de dalt i els de baix entre ells fem que s'empentin, que piquin, que xoquin... Què passa quan xoquen?

P: Que es mouen més i puja la temperatura.

I: Perquè a tu et sonava la idea aquesta que en realitat la temperatura vol dir que les partícules, els àtoms nostres, es mouen més?

P: No. Jo també m'ho imaginava una mica al revés, que quan pujava la temperatura es movien més.

I: Es movien més?

P: Però en veritat és al revés, que quan es mouen més, puja la temperatura.

I: O sigui, que t'ha servit per veure quina és la causa i quina és la conseqüència.

PA6-12

I: Vols fer-me algun altre comentari? Què t'ha agradat, què no...

P: Ha estat bé. A lo millor doncs això, posar-los tots, perquè sembla com si només hi hagin aquests i... ja està.

PA7

http://www.youtube.com/watch?v=t_K3op3XZ0

<http://www.youtube.com/watch?v=MM9u3PpzKYM>

PA7-1

I: Diques que és el que veus per pantalla?

P: Doncs són com boles grogues i voles verdes. I un termòmetre. Ara mateix està baixant la temperatura. I diu de fregar els àtoms que són les boles aquestes.

I: Jo m'ho he d'imaginar. Creus que amb la informació aquesta jo ja m'ho puc imaginar tot?

P: No. Els àtoms grocs estan a la part de dalt i els àtoms verds a la part de baix. Estan separats.

I: Més coses?

P: No.

PA7-2

I: Doncs ara explica'm què creus que aquesta simulació ens està explicant. Què representa? Si tu a l'escola fessis això i et preguntessin "què has après avui?", tu què diries?

(Es queda callat perquè sembla que no està entenent res).

I: Tu entens alguna cosa del que hi ha aquí?

P: (després d'estar una estona callat) No.

I: Fixa't bé en tota la imatge.

P: A vale, sí. (És en aquest moment en que identifica els llibres, ja que és quan comença a mirar cap allà).

I: I quan vulguis, m'expliques. Si vols fregar, frega.

P: Jo crec que és la temperatura que hi ha entre el llibre de física i el llibre de química, i el de física són els àtoms grocs i el de química els verds.

I: Ara m'has parlat dels àtoms "dels llibres" i abans no me n'havies parlat.

P: Sí...

I: Per què abans no me n'havies parlat?

P: Perquè no m'havia fixat que hi havia els llibres.

I: Vale, o sigui que tu només t'havies fixat en... senyala'm en la pantalla el que tu havies vist.

P: (Assenyala) La imatge gran.

I: Vale. I l'altra?

P: I no m'havia fixat en... (assenyala els llibres).

I: I ara que t'has fixat, què em pots dir? Té alguna cosa a veure la imatge d'aquí amb la resta.

P: Doncs que això és una part de... això és la part d'aquesta.

I: Vale. Això és com què diries...

P: Com?

I: Tu has dit una part. Que és com un zoom, no?

P: Sí, l'ampliació de un tros d'això.

I: Però que ha hagut de passar per tu veure-ho?

P: M'he de fixar millor en tota la imatge.

PA7-3

I: Doncs ara que ja entens això, sabries explicar-me de què va la simulació?

P: Jo crec que és la temperatura que hi ha al fregar els dos llibres.

I: I com seria aquesta temperatura?

P: Seria més elevada. Perquè quan els fregues puja la temperatura.

I: Ensenya-ho ara. (Frega) Descriu el que veus que està passant quan fregues.

P: Que ha augmentat la temperatura.

I: Com ho has vist?

P: El termòmetre puja de cop cap al màxim i uns àtoms del llibre de química s'han anat.

I: I això que s'hagin anat té alguna cosa a veure o és independent? Què deu voler dir que s'hagin anat?

P: (Es queda callat) No se...

PA7-4

I: Bé, en tot cas, anem per parts. Que el termòmetre pugi vol dir?

P: Que augmenta la temperatura.

I: Tu això ho relaciones amb alguna cosa de la teva vida quotidiana? Tu això ho sabies?

P: Sí.

I: Posa'm un exemple.

P: Si tens fred a les mans les fregues i tens calor.

I: Aquesta part perfecte. Ens quedaria el dubte de...

P: De perquè els àtoms se'n van.

I: Tu has vist que marxen, oi?

P: Sí.

I: Li dones alguna explicació a que marxin?

P: Mmm...

I: Llavors jo et pregunto, en la vida quotidiana també marxen àtoms. Bé, els àtoms són super-petits i no ens veiem... Però alguna cosa així tu creus que podria passar? Igual com abans amb la temperatura m'has dit "quan fregues les mans s'escalfen", això de què marxin...

P: (Es queda callat)

I: Ni idea, no?

P: No.

PA7-5

I: Més coseP: Passen més coses a part de que alguns àtoms marxin i pugi la temperatura?

P: Puc tornar a fregar?

I: Sí, sí.

P: (Frega i observa) Els àtoms verds es dispersen però quan la temperatura baixa es tornen a posar al seu estat original.

I: I això pot voler dir alguna cosa?

P: No se.

I: O sigui, que els àtoms es dispersin...

P: Per... no se...

I: Quan es dispersen -que dius tu-?

P: Quan fregues i la temperatura augmenta.

I: Per tant, series capaç de relacionar-ho?

P: Doncs que quan els àtoms estan junts la temperatura és més baixa i quan es dispersen és més alta.

I: Bé, de fet més que dispersar-se aquí el que diem és que vibren.

P: Sí.

I: Quan dius "dispersen" volies dir això?

P: Sí, que vibren i ...

I: Que es mouen més.

P: Sí.

PA7-6

I: Torna a fer-ho. Quins àtoms vibren més? (Li faig aquesta pregunta perquè m'acaba de dir "els verds es dispersen").

P: Els verds.

I: I els grocs?

P: També, però no tant.

I: Quins es mouen més ara?

P: Ara? (En aquest moment els àtoms pràcticament han deixat de fregar).

I: Mou-los molt. Quins es mouen més?

P: Els verds.

I: Vale, tu veus que els verds es mouen més que els grocs.

(Assenteix)

PA7-7

I: Vale, torna a començar. Torna a explicar-me tot el que veus, tot, totes les coses que apareixen per pantalla. Quines coses hi ha.

P: A la part de l'esquerra hi ha dos llibres. Un de física que és groc i un de química que és verd I després hi ha el zoom d'un tros dels dos llibres que són els àtoms grocs i els àtoms verds. I hi ha un termòmetre que indica la temperatura entre els dos llibres.

I: La temperatura que hi ha entre els dos llibres?

P: Bueno...

I: Què vols dir amb "la temperatura que hi ha entre els dos llibres"?

P: Del tros que queda entre els dos llibres.
 I: I aquest tros de què està fet?
 P: Com que de què està fet?
 I: Entre els dos llibres que hi ha?
 P: Els àtoms?
 I: No se, pregunto. Tu m'has dit que mesura "la temperatura que hi ha ENTRE els dos llibres". Què vols dir amb això? És que no t'estic entenent...
 P: (Es queda mirant-s'ho callat)
 I: O sigui la temperatura de què? Tu pots dir "la temperatura del cafè", "la temperatura de l'aigua"... aquí és la temperatura de què?
 P: Dels àtoms que hi ha entre el tros dels dos llibres.
 I: Assenyala'm a quins àtoms et refereixes.
 P: (Selecciona tots els àtoms) A aquests.
 I: I aquests àtoms d'aquí a què pertanyen? O sigui, QUÈ està fet d'aquests àtoms?
 P: Els llibres.
 I: I hi ha alguna relació? O sigui, els àtoms grocs serien àtoms de què?
 P: Del llibre de química.
 I: I els àtoms verds?
 P: Del de física.
 I: Llavors, a baix, si et fixes en el llibre de baix en la part del zoom hi ha àtoms. I a part d'àtoms hi ha més coses?
 P: Buit.
 I: Senyala'm el buit.
 P: (Senyala el fons verd) És això, no hi ha àtoms.
 I: Què pot voler dir que no hi hagi res aquí?
 P: Que no hi ha àtoms, que estan tots agrupats.
 I: On estan tots agrupats?
 P: Aquí.
 I: I als altres llocs què hi hauria si no hi ha àtoms?
 P: Res?
 I: Buit?
 P: Sí, buit.
 I: I si és buit perquè creus que està pintat de verd i no de blanc?
 P: Perquè forma part del llibre de física.
 I: I a dalt, explica'm el mateix. ON estarien els àtoms?
 P: AL tros blanc.
 I: I al tros groc?
 P: No, no hi ha àtoms.
 I: I perquè creus que no hi ha àtoms?
 P: No se...
 I: Pot ser més simple del que et penses... Quina és la resposta més simple que se t'acut?
 (AIXÒ ÉS UN CLAR EXEMPLE DEL TIPUS D'AFECTACIÓ CAUSAP: NO ÉS QUE HO Llegeixi així, sinó que la necessitat de llegir-ho fa generar la pseudo-explicació)
 P: Que s'atrauen?
 I: Perquè s'atrauen entre ells? Més simple encara, té a veure amb el dibuix. No amb el concepte científic, sinó amb el dibuix simplement.
 P: Doncs que el llibre està a sobre i els àtoms estan a baix.
 I: Vale, t'ho explico jo: perquè no els han dibuixat tots. Fixa't si és simple. Han dit "posem aquí uns quants àtoms" i la resta no els han dibuixat. Perquè teòricament haurien d'estar dibuixat a tot arreu... (A partir d'aquí, segueix la meva explicació de perquè només hi ha alguns àtoms dibuixats).

PA7-8
 I: Amb tot el que hem dit, torna'm a explicar ara tot el que explica aquesta simulació. Quin concepte creus que estan intentant ensenyar?
 P: Al fregar els àtoms augmenta la temperatura.
 I: Perfecte. I a més a més, passa una altra cosa.
 P: Sí, que es dispersaven i que vibraven més.
 I: I per tant, tu podries treure alguna conclusió de que vibri més i que augmenti la temperatura?
 P: Que al haver més moviment, hi ha més calor.
 I: És que de fet la temperatura és la vibració mitjana dels àtoms. Nosaltres estem fets d'àtoms... (A partir d'aquí, segueix la meva explicació de la relació entre vibració partícules i temperatura).

PA7-9
 I: I ja per acabar, parla'm una mica de la temperatura. Com puja la temperatura, quan puja la temperatura, com baixa la temperatura i quan baixa la temperatura. Prova de fregar i parla'm del termòmetre.
 P: Vale. El termòmetre ara està a una mica de temperatura, però quan comencem a fregar els àtoms augmenta.
 I: I com és la pujada?
 P: És molt ràpida.
 I: I llavors que passa?
 P: Quan... A mesura que baixa el termòmetre disminueix la vibració dels àtoms. Quan vibren com al començament la temperatura torna a estar com al principi.
 I: I baixa tota l'estona igual la temperatura?
 P: No, al principi va més ràpida i després cada vegada més lent.

PA7-10
 I: No hem parlat dels bonys aquests que es veuen. Hi ha com uns bonys, què creus que volen dir?
 P: Són els àtoms. Aquí hi hauria un àtom, aquí un altre...

I: I perquè no hi és?
P: Perquè només han dibuixat uns quants.

PB1 <http://www.youtube.com/watch?v=pTb01MrnnRw>

PB1-1 (00:40)

P: Hi ha dos botons que si li dones a un surt una bobina i si li dones a l'altre surten dues bobines. Després, aquestes dues bobines estan connectades a una bombeta i també a un aparell que medeix el voltatge. També hi ha un imant que tu el vas acostant i depenent de com ho apropis s'encen la bombeta o no.

I: Després parlarem de què passa.... Hi ha alguna cosa més que apareix per pantalla?

P: Sí, un botó per mostrar les línies del camp.

I: Ho has provat això?

P: Sí.

I: I què apareixia?

P: Línies que sortien de l'imatge cap a tots els costats.

I: Cap a tots els costats....

P: Feien com circumcentres...

I: I això ho havies vist alguna vegada?

P: No.

I: Mai? I les bobines les havies vist alguna vegada?

P: Sí.

I: A on?

P: A tecnologia vam fer una cosa semblant amb bobines.

PB1-2 (

I: Perquè totes les coses aquestes que m'has dit de bombeta, bobina, aparell que mesura el voltatge, estan relacionades entre elles?

P: Sí, perquè si no hi ha bobina no es podria encendre la bombeta.

I: Però estan relacionades físicament d'alguna manera, la bombeta i la bobina?

P: Físicament?

I: Sí. Hi ha alguna cosa que les relaciona en el dibuix?

P: Cables...

I: Hi ha un cable? I tot aquest cable, te algun sentit tot junt? Com li diries al "pack" cables, bobina, bombeta...

P: Seria com una mena d'interruptor.

I: Com una mena d'interruptor?

P: Sí.

PB1-3(03:00)

I: Anem a veure què ens està explicant.

P: Depen on posis el pol positiu o negatiu de l'imatge, la bombeta s'il·lumina o no.

I: Ara mateix on tens el pol... El tens aquí dalt. I la bombeta s'il·lumina o no?

P: No. Si està al mig si que s'il·lumina però si està tocant la bobina no.

I: Vale, diga'm un lloc on s'il·lumina.

P: (Ho prova). Bueno, tiene que tocar.

I: A veure, a veure... Primer m'has dit que havia d'estar al mig, ara que havia de tocar. És una mica més complicat...

P: Bueno, si està en moviment.

I: Ara! Això t'has adonat ara?

P: Abans no t'havies adonat, no?

I: Vale, per tant, torna'm a dir la frase.

P: Per a que s'il·lumini la bombeta ha d'estar l'imatge en moviment.

I: Vale, per que si deixes quiet....

P: No s'il·lumina.

PB1-4(04:05)

I: I sempre s'il·lumina igual la bombeta?

P: No, com més ràpid es mogui més s'il·lumina.

I: Genial. I s'il·lumina igual, per exemple, si està a prop de la bobina, si està lluny, si està a la bobina petita, si està a la bobina gran.... Digues més coses. Fes totes les combinacions que vulguis i llavors arribem a una conclusió.

P: A la bobina més gran surt més llum quan ho mous i a la bobina petita surt menys llum.

I: Vale, per tant, de què depèn que s'il·lumini la bombeta.

P: Depèn de si és més gran o més petita la bobina, i de si mous més o menys ràpid el imant.

I: Perfecte, d'aquestes dos coses.

PB1-5(05:10)

I: Te alguna cosa a veure (el sensor de voltatge) amb tot el que hem dit fins ara?

P: Quan s'il·lumina la bombeta el voltímetre marca el més (+) que hi ha volt... passa electricitat. Quan està en el (bobina) gran (l'agulla) es mou més i quan està en la bobina petita es mou menys.

I: El què es mou menys?

P: La flexa.

I: L'agulla. I la agulla que m'has dit sempre es mou positiu?

P: O negatiu...

I: I de què depèn això?

P: Depèn de... (ho prova) de la posició de l'imatge.

I: I com està relacionat el positiu / negatiu amb la bombeta. O sigui, per exemple, si surt positiu la bombeta s'il·lumina. I si la flexa és negativa?

P: No s'il-lumina. (ho prova). S'il-lumina... no se. Quan està en el positiu sí que s'il-lumina però quan està en el negatiu no.
 I: O sigui, quan està en negatiu... a veure, prova-ho.
 P: En positiu sí, en negatiu també.
 I: En negatiu també. O sigui, conclusió?
 P: Dona igual si està en positiu o negatiu. La bombeta s'il-lumina igualment.

PB1-6(06:40)

I: Perquè el voltatge en realitat positiu / negatiu és una convenció. Però el que vol dir és que per allà està havent-hi un voltatge. Per què creus que es crea un voltatge? Què és el que creus que fa que es creï un voltatge?
 P: Un camp electromagnètic, no? Que fa la bobina amb l'imant.
 I: La bobina amb l'imant fan un camp?
 P: Quan es mou el imant, amb la bobina, crea un camp electromagnètic.
 I: Crea un camp electromagnètic quan es mou... Això té alguna cosa a veure amb les línies que hem vist abans? O no, és una cosa apart?
 P: (Dubta)
 I: O sigui, aquest és el camp electromagnètic que tu dius o això és una altra cosa?
 P: És el camp electromagnètic però de l'imant.
 I: El de l'imant?
 P: Sí.
 I: Per què suposes que és el de l'imant?
 P: Perquè dona igual si mous el imant també es mou el camp electromagnètic.
 I: O sigui que és un camp que es mou amb l'imant. Si l'imant es mou....
 P: ... es mou el camp.
 I: I aquest camp què passa amb ell? Com arribem d'aquest camp a que s'il-lumini la bombeta?
 P: Aquest camp, quan està dintre de la bobina, no se... formarà l'electricitat que farà que s'il-lumini la bombeta.
 I: L'electricitat, per dir-ho d'alguna manera, on m'estàs dient que es forma?
 P: Es forma amb les línies del camp de l'imant quan xoquen amb la bobina.
 I: Sí. Potser la paraula no és "xocar" però "quan passa algo", quan hi ha algunes línies de camp que... potser xocar... Com li podríem dir? Més que xocar, què creus que estan fent? Que li estan fent a la bobina? La estan...
 P: (No se l'entén).
 I: L'estan com passant per dintre.
 P: Passen per dins i després això es converteix en electricitat, i és quan la bombeta s'il-lumina.
 I: Genial. Ho has explicat superbé.

PB1-7(08:50)

I: Quina conclusió podries extreure d'aquesta simulació?
 P: Que contra més ràpid mous el imant, genera més electricitat i la bombeta s'il-lumina més. I contra... bueno, pots moure molt, però si la bobina és molt petita no generarà la mateixa que si el mous a la mateixa velocitat amb una bobina més gran.
 I: Perfecte. I ja per acabar, tu això ho relacionaries amb com es crea electricitat en el món real?
 P: Sí.
 I: Tu saps com es fa l'electricitat en el món real?
 P: No.
 I: Però et sona algun lloc on es crea electricitat?
 P: En les centrals elèctriques, no?
 I: Posa'm un exemple d'una central elèctrica.
 P: Una central elèctrica?
 I: Sí, n'hi ha de molts tipus. No et sona això de tecnologia o de socials?
 P: No.
 I: Se t'acut una central... Diga'm una forma de fer electricitat.
 P: La nuclear?
 I: La nuclear, per exemple. Com es pot crear electricitat amb una central nuclear?
 P: Amb els àtoms, no? Quan es xoquen, separen els electrons i això genera una calor que després es genera en electricitat.
 I: I aquest pas de calor en electricitat, saps com va o no?
 P: No, això no.
 I: (Li faig la explicació escalfor-> turbina -> generador. No em queda clar si al final ho acaba entenent o simplement em dona la raó i repeteix el que jo dic).

PB1-8(12:10)

I: Vols dir alguna cosa més que t'hagi cridat l'atenció?
 P: Les línies, que jo mai l'havia vist i quan li he donat al botó m'he sorprès.
 I: T'ha sorprès veure tantes línies, no?
 P: (No s'entén).
 I: Però, per a què t'ha servit veure les línies? Per entendre què?
 P: Per entendre que el que fa això, es fica dins de la bobina i és el que va generant l'electricitat i això (suposo que es refereix a la bombeta) és el que sortirà després al passar l'electricitat.

PB2

<http://www.youtube.com/watch?v=DNYMy2D134Y>
<http://www.youtube.com/watch?v=ceJ6Z50xmO4>

PB2-1

I: Alguna cosa del que hi ha aquí et sona d'algo?
 P: La bombeta. I l'imant, que tenen com dos pols que si juntes nord i nord se separa, però si juntes nord i sud, es junten.
 I: (Li dono les indicacions del que m'ha d'explicar). Ho intentes?
 P: Quan passo l'imant entre...
 I: No, primer comencem "què hi ha". Després veurem què passa.
 P: Hi ha un circuit elèctric, hi ha com un quadrat que marca "Voltatge", un espiral i una bobmeta. I hi ha un imant separat. I quan passo per l'espiral aquest, la bombeta es va encenent i apagant, i el voltatge va anant cap a positiu i negatiu. Quan estic

a una banda posa positiu, sembla, i quan estic a l'altra negatiu. Puc girar l'imant i (no s'enten) al revés. Puc ficar dos bobines i... una té més espirals i l'altra és més curta.

I: Genial. Doncs ara que has explicat tot el que es veu, ara també pots explicar què passa.

PB2-2

I: Què creus que està passant aquí. Tot el que no sàpigues o t'ho inventes o dius "no ho se".

P: Jo crec que quan passo l'imant, la energia que té aquest imant passa per les bobines que, a partir dels cables, passa a la bombeta i fa que s'encengui a partir de l'electricitat.

I: A tu et sonava això?

P: Una mica perquè a tecnologia vam fer circuits elèctrics i al cole també.

I: Però, per exemple, al principi m'has dit espiral, i després has passat a bobina.

P: Perquè surt aquí a dalt.

I: Tu no coneixies la paraula bobina?

P: Sí que la coneixia.

I: Però no te'n recordaves?

P: No.

I: I tu saps per a que serveixen les bobines a la vida real?

P: Em sembla que és per passar de calor a electricitat, o algo així... Per convertir alguna cosa en electricitat.

I: Aquí es converteix alguna cosa en electricitat?

P: Lo de l'imant. La força o el que té l'imant, doncs quan passa per la bobina la bobina ho converteix en electricitat, i els cables...

I: O sigui, tu per dir-ho d'alguna manera, diries que la bobina transforma alguna cosa en electricitat.

P: Sí.

I: I tu diries que la bobina, aquesta electricitat que genera la bobina arriba a la bombeta?

P: Com?

I: Tu estàs dient que la bobina transforma "algo" en electricitat. I aquesta electricitat arriba a la bombeta?

P: Sí.

I: Com ho saps que arriba a la bombeta?

P: Perquè quan passo amb l'imant es passa per aquí tu ... electricitat i ... els cables....

I: O sigui, veus que està connectat la bobina?

P: Sí.

I: Molt bé.

PB2-3

I: Què passa quan s'encén? S'encén sempre? S'encén diferent? S'encén només algunes vegades?

P: No, sempre que passo s'encén, però...

I: S'encén sempre igual?

P: No, a vegades més fort a vegades més fluix.

I: I de que depèn que s'encengui més fort o més fluix.

P: El voltatge.

I: Com relaciones el voltatge amb que s'encengui més fort o més fluix?

P: La part nord i la part sud de l'imant.

I: Abans m'has dit el voltatge. Ara m'has dit "la part nord i la part sud". Quin lio, eh?

P: O sigui quan... Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge que ho controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta.

I: Ah, vale. Perfecte.

P: I llavors sí que va a la bombeta.

I: Per tant això (el voltímetre) seria com... com li podríem dir?

P: No se... Controlador o així.

I: I aquest controlador que ens està dient en cada moment?

P: Pues si el voltatge és positiu o negatiu. I quanta electricitat passa.

PB2-4

I: Mira a veure si hi ha botons que no havies apretat. (Apreta el botó de les línies de camp) Això no ho havies vist abans? Per què no havies apretat el botó d'aquí dalt? Potser perquè la lletra és molt petita?

P: (No ho sap) Pot ser...

I: Ni idea, no? Tu simplement no has apretat... Vale, què veus de nou que abans no veies?

P: Unes línies roses que...

I: Són molt rares, no?

P: Sí...

I: Com es diuen aquestes línies?

P: Em sembla que són ones electromagnètiques o algo així.

I: A veure, ones electromagnètiques, potser no es... després t'ho explico! Però aquí, de fet t'ho posa en la pròpia simulació...

P: (Ho llegeix) Línies de camp.

I: I concretament es diuen línies de camp magnètic. Perquè aquestes línies representen el camp magnètic que hi ha al voltant de l'imant. A tu et sona que a un imant al seu voltant hi ha camp magnètic? Bueno... havies vist línies com aquestes alguna vegada?

P: Sí.

I: I series capaç de relacionar aquestes línies amb la resta del dibuix, amb les coses que estan passant?

P: Pues aquestes línies marquen l'energia que té l'imant. Si hi ha molt grans representa que té molta energia. Si té línies molt grans, cada cop més grans, representa que té més energia. I com més energia més voltatge i més llum.

I: No he acabat d'entendre això de que "més gran més energia". Per exemple, aquesta d'aquí és més gran, i aquesta d'aquí més petita.

P: No, o sigui que si fos un imant amb menys potència, hi hauria menys línies, estarien menys concentrades. Com que té més, arriba fins aquí (al final de la pantalla).

I: O sigui que arriba molt lluny l'efecte de l'imant. Molt bé, i per tant, això representa l'energia de l'imant.

PB2-5

I: Pots dir alguna cosa de les dos bobines? O sigui, que hi hagi dos bobines en comptes d'una?

P: Perquè si hi ha més d'una bobina, si només tens una (bobina) i tens que encendre les dos amb aquesta doncs faràs menys llum. I si tens dos imants doncs faràs més llum.

I: O sigui una bombeta per cada bobina, no? Prova de moure l'imant amb la bobina de dalt i amb la bobina de baix. (Ho fa). Veus alguna diferència?

P: Sí.

I: Quina?

P: Aquesta com que és més curta fa menys llum, i aquesta com que és més llarga fa més llum.

I: Això si jo no t'ho hagués preguntat, tu ho haguessis vist?

(Fa amb el cap que no ho sap)

I: O sigui no ho havies vist, no?

P: No.

I: Però un cop t'ho he dit és fàcil de veure, no?

P: Sí.

I: Per tant, quina conclusió podries arribar d'aquí?

P: Que com més llarga és la bobina, més electricitat passa perquè més estona està l'imant passant per dintre la bobina. I si és més curt, no fa tanta llum.

PB2-6

(Repaso totes les coses que hem dit: línies de camp, bobines).

I: Què més influeix en que s'il·lumini molt o s'il·lumini poc?

P: La llargada de la bobina.

I: Sí, ja hem dit "la llargada de la bobina", "la potència de l'imant", alguna cosa més creus que influeix?

P: El voltatge?

I: Com influeix el voltatge?

P: Doncs si hi ha més voltatge més llum, i si hi ha menys voltatge, menys llum.

I: Clar, però el voltatge, d'on prové?

P: De la electricitat que fem al passar l'imant per la bobina.

I: Per tant, sí que es veritat que la llum depèn del voltatge, però perquè estan relacionats. És a dir, si tu passes de manera que hi hagi molta llum també hi haurà molt voltatge. Però quines causes fan que la llum sigui més gran o més petita? Hi ha alguna altra cosa? La potència de l'imant, el nombre d'espines... Se t'acut alguna cosa més.

(Fa que no amb el cap)

I: Quan tu has passat l'imant per la bobina... (Li dono instruccions) Passa de diferents maneres l'imant per l'interior de la bobina, a veure si sempre passa el mateix.

(Va canviant de polaritat de l'imant, però no de fer-ho més ràpid o més lent).

P: Jo ho veig tot igual.

I: Sempre ho veus igual? Vale. Passa'l molt a poc a poc.

(Ho fa).

P: Fa menys llum.

I: I ara més ràpid. (Ho fa). Podries treure alguna conclusió?

P: Que depèn de com passi l'imant per dintre la bobina, si passa més lent fa menys, i si passa més ràpid...

I: Hi ha més llum, no?

PB2-7 (03:20)

I: I ja per acabar, sabries dir-me el voltatge quan és més positiu, quan és més negatiu?

P: Pues,

I: O sigui, quan passa, el voltatge què és, positiu o negatiu?

P: Es que va canviant perquè primer es positiu i després negatiu, positiu, negatiu...

I: Per tant, quan l'imant esta a una banda de la bobina i després fora de la bobina, que li ha passat al voltatge?

P: Que canvia de positiu a negatiu.

I: Ara mateix com està el voltatge?

P: Ara zero.

I: Per tant, com relaciones el que estigui fent la bombeta, l'imant i el voltatge... Ara mateix, ves explicar tot el que veus. Per exemple "primer està tot quiet, la bombeta apagada i el voltatge a zero." Quan comences a moure, què passa?

P: Que quan començo a apropar i després positiu, quan estas a la meitat...

I: Aja!

P: I quan passa després l'altre meitat, hi ha una part vermella i una altra blava, doncs canvia a negatiu. La primera part que passa és positiva i la segona és negativa.

I: Per tant, l'imant que abans estava aquí i ara està aquí... què ha fet el voltatge? Ha sigut positiu? Ha sigut negatiu?

P: Primer positiu i després negatiu

I: I com era la bombeta quan el voltatge era positiu i negatiu?

P: Doncs quan era positiu i negatiu, brillava molt, però quan estava cap al mig, parava.

I: Per tant, com relaciones la bombeta amb el fe que sigui positiu o negatiu. Quan brilla la bombeta, quan és positiu o quan és negatiu?

P: Els dos.

I: El voltatge és un conveni que sigui positiu o negatiu... però a la bombeta li és igual, la bombeta brilla si hi ha voltatge. I a qui quin voltatge hi ha

P: Ara mateix zero.

PB2-8 (05:40)

I: Amb això que has après avui, tu podries resum o frase? Si haguessis d'explicar què has après, tu que diries?

P: Com funciona un circuit elèctric a partir de la bobina, l'imant, la bombeta i el voltatge. . .

I: Aquest circuit d'aquí és com els que as estudiat a classe?

P: No.

I: Per què?
 P: Perquè els que jo feia hi havia com un generador, una bombeta i un interruptor.
 I: I de les tres coses que m'has dit, hi ha una peça que està, no?
 P: La bombeta.
 I: El generador equival a alguna cosa d'aquí?
 P: Sí, seria l'imant i la bobina. I l'interruptor seria el voltatge, que va canviant...
 I: Ho has explicat superbé això de l'imant i la bobina. L'imant i la bobina junts fan de generador, perquè de fet estan generant electricitat. Però que ha de passar per a que facin electricitat?
 P: Que passi per dins de la bobina.
 I: I un cop passa per la bobina ja genera electricitat tota l'estona?
 P: No, te que estar tota l'estona així (movent l'imant a un costat i a l'altre).
 I: I això que em deies de l'interruptor no és veritat del tot (Faig la explicació del voltímetre).

PB2-9 (08:06)

I: I això d'aquí creus que té relació amb alguna cosa de la vida real? Hi ha alguna situació en la vida real que utilitzi aquesta situació per alguna cosa? A tu et sona?
 P: Sí... No es semblant, però a les centrals nuclears, parteixen l'àtom, el nucli, per fer energia, la passen per una bobina i el transformen en electricitat.
 I: Però com ho fan exactament. T'ho imagines?
 P: Però com?
 I: Tu m'estàs dient que en una central nuclear es crea electricitat. I aquesta electricitat que es crea... Hi ha una bobina. Saps exactament com es genera electricitat?
 P: Doncs agafen àtoms, i el nucli el parteixen per la meitat, i quan el parteixen, això genera energia.
 I: Es desprèn. Estava acumulada en el nucli, i quan es parteix, es desprèn energia.
 P: I llavors aquesta energia quan...
 I: Però tu aquesta energia tu com te la imagines?
 P: No se, com... (mou les mans)
 I: És molt senzill, el que nosaltres percebríem és molta escalfor. Perquè de vegades parlem d'energia i sembla Harry Potter, magia, però és molta escalfor. I què passa amb aquesta escalfor?
 P: Doncs que passa per aquests fils i quan va passant va convertint en electricitat.
 I: Però abans què hem dit que feia falta per convertir en electricitat?
 P: Que passi l'imant pel mig.
 I: Es que si no hi ha imant no es pot generar electricitat. O sigui, escalfant els fils no es genera electricitat. (Em mira assentint amb el cap però no sap què ha de dir...)
 I: I se t'acut com pot ser llavors?
 P: Doncs que hi ha l'imant dintre, o alguna cosa magnètica, i aleshores quan va passant el calor, el imant es va movent i llavors es va generant electricitat.
 I: Falta un pas. T'ho explico. (Li faig la explicació físsió de l'àtom ->escalfor-> turbina -> generador. No em queda clar si al final ho acaba entenent o simplement em diu que sí. És molt difícil saber-ho en aquest moment, ja que portem més de 20 minuts d'entrevista i no vull apretar més).

PB2-10 (11:55)

I: Per tant, quin titular posaries aquí? El resum....
 P: Pues que si un imant es mou, fa que la bobina faci electricitat per encendre llums, una bombeta.

PB3

<http://www.youtube.com/watch?v=I98Mcr4oJas>
<http://www.youtube.com/watch?v=oliSc9n0K28>

PB3-1 (1:30)

I: Observa detingudament la simulació que tens davant i utilitza el ratolí per fer tot allò que consideris oportú. Si vols pots parlar en veu alta si vols estigues callada.
 P: (No s'enten)
 I: Sí, deixa-ho anar, deixa-ho anar.
 P: (Ho prova durant una estona). Ja?
 I: Sí, pots canviar totes les coses que vulguis. Pots, pots, si vols més coses... Quan creguis que ja ho has vist tot, m'avises.
 P: (L'imant se li encalla a sota de la bobina inferior). Es que no poc moure-ho bé, es que no puc pujar cap a dalt.
 I: Clar, perquè només pots ho ficar-ho per dintre o... "Apreta" tots els botons que vulguis, totes les coses...
 P: Ja està!

PB3-2 (03:25)

I: Sí? Vale, va? Què pots observar en aquesta simulació? Intenta descriure tot el que pots observar en aquesta simulació com si intentessis explicar-li a una amiga teva que fos cega. O sigui, tot el que apareix, comença pel més senzill i anem fent pel més complicat.
 P: És una connexió elèctrica o "algo" així, i hi ha una bombeta, connectada a deuen ser cables i hi ha una bobina i jo tinc un iman.
 I: Una pregunta, això que li has dit que és una bobina perquè i i has dit la paraula bobina?
 P: Perquè ho fica aquí
 I: Ah! Perquè ho fica aquí! (Riu) No, no, però tu havies sentit alguna vegada la paraula bobina?
 P: Em sonava però ben bé no sabia que era.
 I: Però si no posés aquí, tu no ho haguessis sapigut...
 P: No, no.
 I: Vale
 P: I jo, quan començo a moure un imant...
 I: Ah, hi ha un imant, no, vols dir?
 P: La... quan ho passo per la bobina, la bombeta, quan passa el color blau, s'encén, i el vermell, té com poca il·luminació i és com si s'apagués.
 I: Vale, pots tornar-me a repetir la frase, que m'he perdut una miqueta?

P: Quan jo moc l'imant i el passo per dintre de la bobina, la bombeta s'encén.
 I: Vale. Perquè tu què és el que veus quan s'encén? O sigui, com saps que s'encén? Que passa.
 P: Doncs que augmenta el voltatge i llavors la bombeta s'encén.
 I: Però vull dir que veus una circumferència blanca...
 P: Si, la il·luminació de la bombeta es veu.
 I: Molt bé, continua. Si ho estàs explicant super bé.
 P: I amb el color blau la bombeta s'encén, però quan passa el vermell no.
 I: Vale, o sigui només quan passa el blau.

PB3-3 (05:17)

I: Vale, perfecte... Què més veus? Quines coses més veus?
 P: El problema em dona per ficar dues bobines i també es pot girar l'imant. I les línies de camp, però ben bé no se que són les línies de camp.
 I: No saps que són. Vale. Ho havies vist alguna vegada això?
 P: No, les línies de camp no.
 I: Mai?
 P: No.
 I: Vale. I et recorden a alguna altra cosa que hagis vist alguna vegada?
 P: (Mig rient) És que em recorda a les línies que surt lo del temps.
 I: Lo del temps. Et recorda, no?
 P: Si
 I: Vale, vale, doncs ja està! I creus que pot tenir alguna cosa a veure?
 P: Deu ser com la concentració o algo així, no?
 I: La concentració de què?
 P: De l'energia, o del voltatge o algo així que provoca l'imant.
 I: Per tant, creus que les línies tenen a veure amb alguna cosa que provoca l'imant.
 P: Si
 I: Vale. I aquesta cosa, i això, "jolin", doncs per no haver-ho estudiat mai està super bé! I li donaries algun nom a aquesta "cosa" que provoca l'imant?
 P: Energia o electricitat. No, electricitat?
 I: Energia, electricitat o alguna cosa així, no?

PB3-4 (06:26)

I: Vale! Veus més coses per pantalla que no hagis descrit? Si la persona fos cega, creus que ja tindria tot al cap?
 P: El marcador de voltatge, però em sembla que ja ho he dit.
 I: Què és això del marcador del voltatge?
 P: Doncs que t'indica... Primer està al zero i quan jo començo a passar l'imant, quan la bombeta s'encén indica que hi ha més voltatge del que hi havia al principi.
 I: Més que zero.
 P: Sí, més que zero. I quan passo el vermell el voltatge disminueix.
 I: Disminueix vol dir que arriba a zero o que es fa negatiu?
 P: No me'n recordo...
 I: Però prova-ho, tia, si ho tens aquí! Clar, pots anar provant, tota l'estona, coses.
 P: Es fica negatiu de vegades.
 I: De vegades, no?
 I: Si.

PB3-5 (07:30)

I: Vale va. Jo crec que m'has explicat bastant bé la part de visual. Anem a intentar respondre'ns ara que creus que pretén explicar-nos aquesta simulació. Si aquesta simulació fos una classe d'un profe de física que t'explica.... Avui que heu fet a classe, doncs ens han explicat no se què: què creus que ens haurien explicat en aquesta simulació?
 P: La... la conducció de l'electricitat.
 I: Vale, desenvolupa-ho!
 P: Doncs que, a partir de l'imant, que... o sigui, és com si s'unís amb... O sigui, el circuit no està tancat.
 I: No està tancat?
 P: No.
 I: Per on està obert?
 P: Per les bobines.
 I: Vale
 P: I a la que jo hi connectés l'imant.
 I: El circuit vols dir que falta o sigui que no està tancat...
 P: Si, que no està acabat de tancar del tot, i quan jo hi connecto l'imant si que per una part, perquè al haver-hi les dues bobines per una bobina si que està tancat.
 I: Vale.
 P: I llavors és com si jo comencés a passar l'electricitat.
 I: Vale. O sigui l'electricitat abans no passava...
 P: No, així sol així sense estar connectat no. No hi ha electricitat ni res.
 I: No hi ha electricitat. En canvi quan passes l'imant hi ha electricitat.
 P: Si que hi ha.
 I: O sigui, seria equivalent aquest pack iman més bobina seria equivalent a què?
 P: A un corrent elèctric.
 I: A un corrent elèctric.
 I: Se t'acut, tu coneixes, no se, t'ho pregunto, altres maneres de generar corrent elèctric, o sigui, d'aconseguir que per un circuit hi hagi corrent elèctric?
 P: No me'n recordo...

I: El circuit elèctric del teu mòbil, per exemple...

P: Sí, amb una bateria o "algo" així.

I: Aquí on està la bateria?

P: A l'imant? No. Sí? Es que no ho se...

I: No ho saps, no? Vale. Aquí no hi ha bateria. El pack iman més bobina es converteixen en una pila, una bateria, un "enchufe" o... Vale, molt bé!

PB3-6 (09:26)

I: Hi ha una cosa del que tu dius que a mi no m'acaba de quadrar. Tu dius que si fiques l'imant a la bobina, quanta estona es manté encesa la bombeta?

P: Infinit, no? Fins que jo no el trec?

I: Sí? Mira-ho.

P: No ho se... Ah! No. Dura com una estona, però pocs segons.

I: Per tant, intenta mirar bé exactament quan la bombeta està encesa. O sigui, què ha de passar per a que la bombeta estigui encesa?

P: (Ho mira detingudament) Ha de passar la part blava de l'imant. Però ja... es que no...

I: Si no trobes cap lògica digues-m'ho. Digues... jo que sé! No tinc ni idea. No passa res, ho pots dir.

P: No se... jo, quan passo l'imant, quan passa la part blava s'engega però després s'apaga. Però si la deixo una estona dura com uns segons només la part blava, i ja està.

I: I se t'acudiria alguna manera de tenir la bombeta sempre encesa?

P: No. Es que no, no se...

I: O sigui, sempre s'apaga?

P: Sí, es que només dura uns segons quan la deixo! O sigui no...

PB3-7 (00:00)

I: Vale. Amb la segona... M'has dit abans que hi havia una segona bobina. Perquè creus que han posat els dissenyadors aquesta segona bobina? Que ens diu de nou aquesta segona bobina? Quina informació extra ens dona?

P: O que en el circuit se li podrien afegir més bombetes o dos imans o com reduir el voltatge, saps?

I: Has provat de passar primer per una i després per l'altra i comparar què li passa a la bombeta?

P: Sí, abans ho he provat, i em sembla que amb la primera dona menys il·luminació.

I: La primera vols dir... La que té més espirals o la que té menys espirals.

P: La que té menys espirals, que no pas amb la segona.

I: I creus que això pot voler dir alguna cosa?

P: Que una deu donar més energia.

I: Quina?

P: La que té més espirals.

I: Per tant, se t'acudiria alguna conclusió així... Relacionant el nombre d'espirals amb la il·luminació?

P: Que amb més espirals tingui la bobina més il·luminació dona la bombeta.

I: Això ara m'ho has dit perquè jo t'he anat insistint o ja ho havies pensat?

P: No, no, no...

I: No ho havies pensat! Ha estat perquè jo t'he anat tirant del carro.

P: Sí.

I: Perfecte.

PB3-8 (1:15)

I: I que passa si gires l'imant?

P: Ja l'he girat, però...

I: Et passa alguna cosa diferent o tot el que passa és igual?

P: Espera... Em sembla que es canvien els colors... No, no, espera. Que amb el vermell també hi ha electricitat. Si, amb el vermell també... I amb l'altre no. L'altre quan li passa el vermell no fa res.

I: Per tant quin és el canvi?

P: (Silenci)

I: O sigui, com acabaries la frase: Si gires l'imant...

P: Si gires l'imant la part blava de l'imant només funciona quan... o sigui, la part blava de l'imant quan el gires només dona il·luminació i quan està cap amunt, les dos.

PB3-9 (2:20)

I: Tornem una altra vegada a aquelles línies de camp. Posa línies de camp, oi, aquí?

P: Sí, sí.

I: Per tant, tu no sàbies com es deien però suposo que ho has vist perquè... o sigui, quan m'has dit abans línies de camp era perquè ho ficava aquí, no?

P: Per que ho ficava aquí, sí.

I: Havies sentit alguna vegada aquesta paraula? "Línies de camp".

P: Sí l'havia sentit no me'n recordava ara.

I: Amb tot el que hem estat discutint ara, que creus que són aquestes línies de camp? Que creus que expressen? Quin concepte físic creus que expressen? Abans ho has mig dit, però crec que ara encara ho pots dir millor.

P: Sí, a veure, a més a prop de l'imant, es com si es concentrés més energia que si estàs més lluny.

I: Vale, perfecte. I a prop de l'imant, a tot arreu igual de prop?

P: Com a tot arreu?

I: És a dir, a prop de l'imant podríem fer una circumferència al voltant de l'imant.

P: (No s'entén).

I: Tu creus que tots els punts de l'imant hi ha la mateixa aquesta energia que dius? DiuP: "com més a prop de l'imant més energia".

P: Sí.

I: Però... sempre a tot arreu? O hi ha alguns punts de prop de l'imant on hi ha més energia o n'hi ha menys?

P: Jo crec que al centre és on hi ha més.

I: Al centre vol dir al mig de l'imant, dintre de l'imant? O què vols dir al centre? Senyala'm el centre de on!
 P: Això seria un pol i això seria un altre.
 I: Aha, molt bé. I aquí és on hi ha d'haver més?
 P: Es que...
 I: O no ho saps... ni idea!
 P: A veure, pel pol és per on es connecta, per on passa l'electricitat. O sigui que a lo millor aquí, en els pols deu haver-hi més que no pas al centre. És on no hi ha... on no té contacte.
 Vale. Perfecte. Molt bé, genial!

PB3-10 (04:06)

I: Per acabar jP: has après alguna cosa nova en aquesta simulació que abans no sabies?
 P: Lo de les línies de camp.
 I: El què de les línies de camp?
 P: Que aquestes línies ens ensenyen que quan més a prop estàs de l'imant més energia hi ha que si no quan estàs lluny.
 I: És l'únic que has après o creus que has après més coses?
 P: I lo... que també pot haver-hi voltatge negatiu.
 I: Que pot haver-hi voltatge negatiu, això no ho sabies? El concepte...
 P: No, es que jo amb electricitat era molt dolenta...
 I: I quin seria com el titular? Igual com abans la Maria ha dit "El fregament implica escalfament", quan fregues una cosa s'escalfa, aquí quin seria el titular? [Tot això fa referència a la simulació anterior]
 P: La conducció de l'electricitat.
 I: No té verb aquesta frase. Posa-li un verb! Això és el subjecte, posa'm una frase amb subjecte i predicat.
 P: La conducció de l'electricitat feta per un iman.
 I: Per tant, "un iman fa que es condueixi l'electricitat"
 P: Sí...
 I: ... quan...
 P: ... quan el connectes a una bobina.
 I: Quan el connecto a una bobina, vale. Perfecte!

PB3-11 (05:20)

I: Creus que això té alguna cosa a veure amb com saps tu, o no saps, de com es genera l'electricitat? És a dir, com es fa, com es genera l'electricitat. Tu saps com es fa l'electricitat? Tens idea o no tens idea.
 P: És que no me n'enrecordo.
 I: Vull dir, l'electricitat que ens arriba a "l'enchufe", d'on prové.
 P: D'una central elèctrica.
 I: I creus que aquesta central elèctrica... una central elèctrica de quin tipus, n'hi ha de molts tipus. Per exemple hidroelèctrica, o tèrmica, et sona?
 P: Sí.
 I: Vale, hidroelèctrica. És la del pantà... Creus que amb el que has vist avui a la simulació se t'acut alguna relació amb com es genera electricitat.
 P: (Silenci)
 I: No t'estic fent bé la pregunta, oi? No ho estàs entenent... Vale. Com es fa l'electricitat? Com creus que es fa l'electricitat? Perquè clar, si tu tens un pantà...
 P: O sigui per la... en la central hidroelèctrica per l'energia de quan cau l'aigua.
 I: I que passa... que més.
 P: Aprofiten aquella energia i la converteixen en electricitat.
 I: I aquest pas "aprofitar l'energia de l'aigua i convertir-la en electricitat"...
 P: No se com es diu.
 I: No saps que passa allà, no? Ni idea?
 P: No
 I: I creus que aquesta simulació, se t'acut que et pot ajudar a pensar com es pot crear aquesta electricitat?
 P: Que a partir d'alguna bobina més, "bueno", en aquest cas d'imans, l'energia que hi ha es transforma en electricitat. I...
 I: Vale, genial, no? Que fas amb la bobina o l'imant?
 P: Aprofites aquella energia i quan connectes l'imant a la bobina aquella energia es transforma en electricitat.
 I: Genial. Vale, moltes gràcies!
 P: De res.

PB4

<http://www.youtube.com/watch?v=q2WYKyGHAjo>
<http://www.youtube.com/watch?v=qkCVhq-Gf74>

PB4-1

I: En aquesta simulació apareixen una sèrie de coses per pantalla. El primer que farem serà m'explicaràs com si li estiguessis explicant a una persona que és cega tot el que apareix per pantalla. Com si jo portés els ulls tapats i no pogués veure-ho, i m'ho he d'imaginar tot el que es veu. Vinga va.
 P: Dificil... Bueno, doncs... surt un imant i hi ha una petita màquina que detecta el voltatge de l'imant. I el pots acostar o el pots allunyar a una bobina que està connectada a una bombeta, i depen de com estigui apropada i tot, de.... es que no se como decirlo en catalán,
 I: En castellà si vols...
 P: Ah... Pues depende de la cercanía que esté a la bobina pues la bobina se enciende, se apaga, tiene más luz o menos.
 I: Vale...
 P: Y luego puedes elegir de poner dos bobinas en vez de una, que la segunda bobina que se añade es más pequeña que la otra y depende como la acerques o a cual de ella la pongas pues hay más luz o menos, se apaga, se enciende...

PB4-2

I: Vale, hi ha més coses? Es poden veure més coses? De moment estem per el que es veu, després parlarem de què fa. Es

poden veure més coses?

P: La bombeta, les bobines, la màquina aquesta que he dit del voltatge, i lo que estan unides les bombetes i les bobines.

I: Què és això que dius "lo" que estan unides?

P: Les bobines. Estan unides amb la bombeta...

I: Mitjançant què?

P: Cables.

I: Cables, molt bé.. Eh... Es poden veure alguna altra cosa o això és tot?

P: A part de l'imant, que té... els... los dos polos, norte y sur, y ya está!

I: Nord i sud? Vale, no hi ha més?

PB4-3

I: Hi ha una opció que posa camp magnètic.

P: No, no em surt.

I: Aquí: Mostar... Mitjançant què?

P: Ah! Mostrar les línies de camp. Vale, ja està.

I: Això ho havies vist abans? No? Vale... Què diries que és això d'aquí?

P: El camp magnètic.

I: El camp magnètic... perquè ho posa a dalt, no?

P: Bueno, posa les línies de camp...

I: Les línies de camp. I ho havies vist alguna vegada?

P: Sí.

I: Això ho havies vist tu?

P: Alguna vegada, sí, però ja fa...

I: I te'n recordes on?

P: Al cole suposo.

I: Suposes.

PB4-4

I: Vale, ara m'has dit tot el que apareix. Ara explica'm tot el que creus que està explicant aquesta simulació.

P: Pues que... dependiendo de como acercas el imant por su campo magnético, por la fuerza que transmite, la bombilla se enciende con mas fuerza o con menos, osea, dependiendo de estas líneas que te muestran aquí, que es el campo, si esta en una de ellas pues es mas fuerte o es mas flojo, porque... .

I: Ho estas dient bastant bé, però anem a definir bé aquesta frase: "Si está en una de ellas..."

P: En una de las lineas del campo. Es que claro hay muchas lineas.

I: Hay muchas lineas, no? Vale. I dius que... torna a fer la frase. Ho estas fent superbé, però jo estic buscant una frase perfecte. Diga'm la frase, a veure com la dius.

P: Depenent de... Dependiendo de la cercania, a bueno así no... dependiendo de la posición del iman, el campo magnético es uno o es otro.

I: Vale.

P: Dependiendo de la bobina. Entonces.... Cada bobina está en un campo, porque las dos estan en posiciones diferentes.

Entonces dependiendo en que campo esté la bobina , la bombilla varia la luz o no se enciende.

PB4-5

I: Vale. Ara mateix quanta llum té la bobina?

P: Ara ninguno.

I: Ara ninguno? Però tu m'has dit que està en una posició i que per cada posició té una llum?

P: Pero depende... depende del campo se enciende o no se enciende.

I: I con el campo que tiene ahora?

P: No se enciende.

I: I què ha de passar per a que s'encengui?

P: Cambiarla de posición.

I: I aquí s'encén?

P: No. Ah! Ahora se mueve un poquito pero... No lo se.

I: Quan s'encén? Què ha de passar per a que s'encengui?

P: Que estiguin totes les línies en el mateix camp.

I: Sí?

P: Espera't. Pongo una bobina.

I: Sí, posa una bobina i si et molesta el camp, pots treure-ho, pots modificar tot el que vulguis.

P: (No se l'enten). Vale... estoy pensando y cuando pienso... Pues ahora no va...

I: Ara no va? NO se enciende nunca? (No s'enten). Ui! Perquè s'ha espallat, s'ha escaxarrat. Posa a actualitzar, aquí. (No s'enten).

P: Ya decía yo... esto (no s'enten).

I: Si, si, si, s'ha escatxarrat. Veus? No és tan perfecta la simulació!

P: Vale, ahora sí.

I: S'encen en algun moment?

P: Ara sí. Vale. Les línies de camp.

I: Fica les línies de camp.... Quan s'encen?

P: Quan el pol nord de l'ímant està dins de la bobina, més o menys a la meitat...

I: Prova una estona més! Fins que tu diguiP: Vale, ara ja ho veig.

P: Vale. Osea, que lo acerco y se enciende al momento pero se apaga al momento.

I: Vale. Però això poster vol dir alguna cosa...

P: Ai! Mira... si lo muevo más se enciende. Pero... Ah! Porque quizás es por el rozamiento.

I: Bueno... seria una opció. Com podries saber-ho si és pel "rozamiento" o no?

P: No se... a ver! Si la subes y la bajas se enciende, y bastante a veces. Pero si la dejas quieta no hace nada. Y el voltage sube bastante cuando la mueves... Sino, (no s'enten).

I: Vale, te alguna cosa a veure el que estigui passant aquí i el que estigui passant aquí?

P: Sí.

I: Què te a veure? Com ho relaciones?

P: Amb el moviment de l'ímant, suposo... La força que té, la força que fa sobre la bobina.

I: Vale. Em.... Em sabries dir alguna frase així de "conclusión", d'això d'aquí?

P: De conclusión?

I: Bueno, de fet hi ha una cosa que has dit. DiuP: Si ho deixo quiet...

P: No s'encen.

I: Per tant, com acabaries la frase?

P: Pos que si l'ímant es mou, la bombeta s'encen.

I: La bombeta s'encen?

P: Si.

I: Sempre que l'ímant es mou?

P: Si.

I: Més o menys, no?

P: Si.

I: I sempre que es queda quiet?

P: No.

PB4-6 (8:30)

I: Vale. I ara em podries dir quan és quan s'encén més?

P: A veure, vamos a provar... Quan és a la bobina petita. No, a la gran. Es que, no se....

I: També pots provar de fer altres moviments si vols.

P: Ui... ara quan estava més lluny s'ha ... No se.... (no s'enten). Quan està més... aquí, quan està a sobre del cable, o sigui, que ha passat per dintre de la bobina.

I: Vale, o sigui, tu veus que està passant per dintre, oi?

P: Si, o a prop, perquè (no se l'enten).

I: Si, no? Però ara per exemple la bombeta està apagada.

P: Clar, però és quan està en moviment.

I: Per tant, ara si que em podries dir un titular?

P: Que quan l'ímant està en moviment, i passa per dintre de la bobina, s'encen la bombeta.

I: S'encèn? Sino, no?

P: No.

I: Però abans havies vist altres vegades que també s'encenia?

P: Si, però... Aiii! (Se n'adona de les contradiccions a les que li faig arribar)

I: Quin lio, no? T'estic liant una mica?

P: Si... Quan està a prop dels dos camps.

I: Vale. Dels dos camps? Quins són els dos camps?

P: Eh... Ai els dos camps, de les dues bobines, perdó.

I: De les dues bobines?

P: La gran i la petita?

I: Vale.

P: Ahora, que no sale!

I: Vale, perfecte. I ara, més o menys, per tant el titular seria... La bombeta s'encén quan....

P: Quan l'ímant està en moviment a prop de les dues bobines.

I: I si només n'hi ha una?

P: Doncs dintre la bobina.

I: Dintre la bobina.

P: O a prop d'aquella.

I: O a prop d'aquella. Vale.

PB4-7 (1:00)

I: Això és la informació que obtens a partir de la bobina, la bometa i l'ímant. Les línies de camp, les relacionaries d'alguna manera amb tot això que hem dit fins ara?

P: A veure, l'ímant està al centre de totes les línies. És on hi ha més força. I per això suposo que quan ho poses a prop i està en moviment s'encén més. Si ho fas amb aquesta força que té l'ímant en aquest no fa res, o fa, però menys. I la intensitat de la llum de la bombeta depen de aquest camp, de aquestes línies. On hi ha més línies juntes o més grosses o el que sigui

doncs....

I: Genial, genial, ho estas fent superbé. Estàs relacionant que si hi ha més línies doncs s'iluminarà més.

P: Si.

I: Molt be.

PB4-8 (2:00)

I: I aquesta cosa rara que has dit "una màquina de voltatge". Com ho relaciones amb la resta de coses?

P: Doncs és la força que fa l'imant sobre les bobines. Crec jo...

I: Aha. I pot ser positiu, negatiu... ho has vist?

P: Si.

I: Per què tu creus que pot ser positiu o negatiu? Que vol voler dir?

P: Pot ser la part de l'imant. Nord i sud, una que sigui positiva i l'altre negativa.

I: A veure, prova-ho.

P: Aquesta força és positiva. I si girem l'imant... La fletxa... Bueno, ahí ha cambiado, pero normalmente va cap a aquest costat. NO VEU QUE SEMPRE VA I TORNA!

I: I com ho relaciones amb la bombeta?

P: No se...

I: Té alguna cosa veure el que estigui passant amb la màquina, que de fet es diu sensor de voltatge, o voltímetre, o tester... té molts noms, és igual. Té alguna cosa a veure amb la bombeta?

P: Sí. És que clar, la força de l'imant depèn del pol en el que estigui, doncs potser és més forta o més fluixa.

I: No, però jo et pregunto: L'agulla amb la bombeta.

P: Ah! No, l'agulla i la bombeta no crec que tingui molt. Perquè això només et mostra la força que fa el imant sobre la bobina, que fa que després la bombeta s'encengui o no, però l'agulla no.

I: Però no té res a veure?

P: Bueno, és la força de l'imant, però amb la bombeta no.

PB4-9

I: Tu d'aquí què has après?

P: Doncs que amb l'imant i unes bobines puc encendre una bombeta.

I: I per encendre una bombeta que... Podries generalitzar-ho una mica més? Perquè encendre una bombeta en realitat què estàs fent?

P: Llum.

I: Llum? La llum la fa la bombeta. Però que necessita la bombeta per fer llum.

P: Imantació, força...

I: Imantació? Les bombetes que tu utilitzes a casa teva...

P: Bueno, vam amb la corrent però, no se, que tampoc es pot encendre d'aquesta manera.

I: I aquí tu parlaries de corrent en algun moment, o no? O creus que aquí no té res a veure amb la corrent?

P: Home, hi ha cables. Llavors, amb la força que fa l'imant, suposo que les bobines aquestes converteixen la força de l'imant en electricitat, i llavors ja fa que s'encengui la bombeta.

I: Exactament. Ho has entès a la perfecció. És exactament això el que passa.

PB4-10

I: I això tu ho relacionaries amb alguna cosa de la teva vida quotidiana? Tu creus que algú utilitza aquesta idea per fer algo? De que amb una bobina i un imant pots fer corrent...

P: Suposo que sí.

I: On creus que s'utilitza, per exemple?

P:

I: Com ens arriba la llum d'aquests fluoerescents?

P: Amb cables.

I: Aquí (a la simulació) hi ha cables?

P: Sí. Que estan connectats amb les bobines.

I: I aquests cables d'aquí, hi hauria algun similar amb els de dalt (de la classe)? Els cables que porten l'electricitat al fluorescent, d'on provenen?

P: Doncs d'alguna central on hi hagi també imants i bobines.

I: Exactament. De fet, qualsevol central... Diga'm una central que tu coneguis.

P: Nuclear.

I: A partir del que has vist aquí, et pots imaginar com funciona una central nuclear?

P: També s'utilitza electricitat en una central nuclear, i bastanta suposo. Amb una bobina molt gran, però molt molt gran... (No s'enten). I després cables enxufats a les màquines que es pot utilitzar qualsevol cosa.

I: I això que fas tu de moure l'imant, a la central qui mou l'imant?

P: Mecanismes, suposo, connectats també a la corrent, perquè tenen que fer molta força. Si la bobina és molt gran perquè ha de donar molta electricitat, l'imant també haurà de ser bastant gran.

I: I saps d'on surt tota aquesta energia? (Arribats a aquest punt, com que no té clar el procés moviment d'aigua -> turbina -> generador, li explico).

PB4-11

(Després de l'explicació).

I: Per tant, quina seria la idea clau d'aquesta simulació.
 P: És convertir la força que té l'imant en energia.
 I: Però...
 P: Però elèctrica.
 I: Més que energia, perquè l'energia és una cosa rara, en...
 P: Corrent elèctrica.

PB5 <http://www.youtube.com/watch?v=43F528tf--8>

PB5-1 (01:00)

P: Hi ha una bombeta que està connectada a un potenciòmetre que et diu el voltatge. I això està connectat a una bobina, i de la bobina altra vegada a la bombeta. I tenim un imant que al passar-lo per la bobina, crea un camp magnètic i s'encén la llum.
 I: La llum de la bombeta, oi? Perfecte. Es poden veure més coses? Mira si hi ha més combinacions de coses que es poden veure... (S'hi fixa una estona però no diu res més). Tu sabries explicar què ha de passar per a que s'encengui aquesta bombeta i com s'encén aquesta bombeta?
 P: Doncs l'imant ha de passar en mig de la bobina, i com l'imant té un camp magnètic, doncs crea un... no se, i s'encén.
 I: Tu sabies que l'imant té un camp magnètic?
 P: Sí.
 I: I et sonava que de vegades es passen imants per bobines?
 P: Sí.

PB5-2 (02:15)

I: I sempre s'encén igual la bombeta?
 P: Bueno, si està més lluny s'encén amb menys intensitat i ...
 I: Si està més lluny el què?
 P: L'imant de la bobina, s'encén amb menys intensitat, i si està al centre, s'encén amb més.
 I: Si està al centre de....
 P: De la bobina.

PB5-3 (02:40)

I: Passa alguna altra cosa quan s'encén la bobina? (Ho dic malament, però tots dos entenem bombeta)
 P: Que el voltatge puja.
 I: Quin valor agafa?
 P: Positiu.
 I: Positiu sempre?
 P: Quan s'acaba de... mentre estàs posant l' iman dins la bobina és positiu, i quan estàs traient és negatiu.
 I: I quan s'il·lumina la bombeta, tota l'estona o només a vegades?
 P: Tota... Sí, quan està a dins s'il·lumina.
 I: Oh sigui, la bombeta s'il·lumina tota l'estona i el voltatge és...
 P: Positiu quan entra l'imant i negatiu quan surt.

PB5-4 (03:22)

I: Mira els botons que hi ha i intenta dir quines coses pots trobar. (S'està una estona). Pots dir alguna cosa nova?
 P: Com hem girat l'imant, llavors quan passes l'imant per la bobina al principi és negatiu i després és positiu.
 I: Vale. I el fet de posar una segona bobina?
 P: Crec que és el mateix perquè com a la bobina que no poses l'imant, és com un circuit, és com un cable normal i...
 I: I quina és la funció que creus que té posar la segona bobina?
 P: No se... bé, si tinguéssim dos imants, suposo que hi hauria més voltatge.
 I: Però tal com està posat aquí, creus que pots comparar alguna cosa o...
 P: La bobina és més petita i hi ha menys voltatge.
 I: Però això no t'haguessis fixat si no t'ho hagués dit?
 P: No, perquè... Bueno, m'he fixat que la primera era més petita, però no m'he fixat en el voltatge.
 I: No ho has relacionat amb la... Per tant, quina conclusió podries extreure d'haver posat la segona bobina?
 P: Que quan més petita és la bobina, menys voltatge hi ha.
 I: Quan l'imant és igual.
 P: Si l'imant és igual.
 I: Perfecte.

PB5-5 (05:35)

I: Hi ha més botons que puguis "apretar"? (Ho comprova) T'ha aparegut una cosa nova.
 P: Sí.
 I: Ho havies vist alguna vegada això?
 P: No. Suposo que...
 I: Si de cas, treu la segona bobina per ja no "liar-nos" més.
 P: Són les línies del camp magnètic.
 I: No ho havies mai però saps el nom que tenen.
 (Riu)
 I: Es diuen així, línies del camp magnètic. Com ho saps?
 P: (Fa cara de no saber-ho) Em sonava.
 I: Són les línies del camp magnètic, exactament. I que creus que representen aquestes línies?
 P: Quan estan a prop de l'imant estan més juntes i llavors hi ha més camp magnètic, i quan estan més lluny doncs n'hi ha menys.
 I: Exactament així és. I creus que ens ajuden a entendre alguna cosa de la simulació?
 P: Sí, perquè si...
 I: Abans, quan havíem dit que s'il·luminava més la bombeta?
 P: Quan estava l'imant més en dins de...

I: Però ara l'imant està en mig. Que li passa a la bombeta?

P: Que no s'il·lumina.

I: Per què no?

P: Perquè ha d'estar en moviment.

I: Ah, vale. Això t'havies adonat abans o ho has vist ara?

P: Sí.

I: Ja ho havies vist... Per tant, no és on està l'imant sinó...

P: Sinó el camp magnètic. Com es mou.

I: Com es mou! Com es mou l'imant i per tant el camp magnètic. Perquè l'imant es mou igual que el camp magnètic?

P: Sí.

I: O sigui, quan tu mous l'imant,

P: Es mou el camp magnètic.

I: I ara em podries explicar què li està passant al sistema aquest que fa que en un moment donat s'il·lumini la bombeta? Com relacionaries el que has vist ara de les línies del camp magnètic amb la il·luminació de la bombeta?

P: Com totes estan aquí, acaben al mateix lloc, llavors s'il·lumina això...

I: Acaben, dius?

P: Sí, és el centre l'imant.

I: L'imant és el centre de...

P: Del camp magnètic.

PB5-6 (08:10)

I: Què és el que s'està ensenyant en aquesta simulació?

P: Doncs... el que fa un camp magnètic.

I: Què fa un camp magnètic?

P: Que utilitzant un camp magnètic pot produir electricitat.

I: Com?

P: Tenint una bobina, passant-lo pel mig, llavors... no se.

I: Si ho estàs explicant superbé. Acaba la frase... Tenim un camp magnètic, tenim una bobina, passem l'imant pel mig...

P: I llavors, s'encén la bombeta.

I: Què és el que fa que s'encengui la bombeta?

P: El pas de l'imant pel mig de la bobina.

I: Passes l'imant per la bobina, s'encén la bombeta... Hi ha algun pas entre mig? Hi ha alguna cosa que relacioni aquests dos conceptes o aquestes dues coses que passen?

P: Home...

I: Que ho fa, per màgia? Per telepatia?

P: S'encén la bombeta per aquest mecanisme de passar l'imant per la bobina.

I: Però quan tu passes l'imant per la bobina, està passant una cosa que fa que s'encengui la bombeta.

P: Ja, però...

I: Però si ho has dit abans. Què és el que fa que la bombeta s'encengui?

P: El camp magnètic de l'imant.

I: En una situació normal, què és el que faria que la bombeta s'encengués?

P: L'electricitat.

I: I aquí? Hi ha electricitat o no hi ha electricitat?

P: Però... d'alguna manera es produeix al passar l'imant per dins la bobina.

I: Per tant, quan passa l'imant per dintre la bobina, tu creus que no es produeix electricitat o que sí es produeix electricitat?

P: Que sí.

I: A vale, és que no sabia... potser s'encenia per algun altre motiu.

PB5-7 (10:00)

I: I de què depèn que es produeixi més electricitat / menys electricitat? Quines variables intervenen?

P: Depèn lo gran que sigui la bobina, també depèn de l'imant de si té més camp magnètic o menys camp magnètic.

I: Molt bé. Aquí no ho podem comprovar perquè només tenim un imant però ens podem imaginar que si un imant tingués més camp magnètic la bombeta s'il·luminaria més...

P: I també si ho passem més de pressa o més lent.

I: Quan ho passes més de pressa...

P: Té més intensitat la bombeta, i quan no, doncs menys.

PB5-8 (10:50)

I: Tu això ho relacionaries amb alguna cosa de la vida real. Aquest fenomen quan hi ha una bobina, un imant... TU creus que s'utilitza per alguna cosa això?

P: Home, si estàs en un lloc on no tens electricitat i necessites llum, algun mecanisme així....

I: I quins mecanismes coneixes tu per fer electricitat?

P: Amb els molins de vent.

I: I què fan els molins de vent?

P: El vent fa girar les aspes i amb un transformador l'energia, o sigui, el gir, el transforma energia, en electricitat.

I: I creus que té alguna cosa a veure amb això d'aquí?

P: Sí, perquè és com si les aspes tinguessin un imant i estigués girant dins d'una bobina.

I: Genial. Ho sabies això?

P: No.

I: Doncs aquesta simulació t'ha servit per pensar això? Funciona exactament així, i això es diu generador, i de fet els molins de vent es diuen aerogeneradors. La última cosa que t'anava a preguntar és si creus que has après alguna cosa amb aquesta simulació.

P: Sí. O sigui he après que amb un imant sí que es pot fer electricitat si tens una bobina.

I: I que més necessites a part d'una bobina?

P: Una bombeta, i un imant.

I: I només amb la bombeta, la bobina i l'imant en tindríem prou?

<p>P: Sí. Bueno, connectat amb cables. I: Genial. Doncs ja estem.</p>	
PB6	<p>http://www.youtube.com/watch?v=o3mfJRttq3M http://www.youtube.com/watch?v=prVb2mCL5tU</p>
<p>PB6-1 (00:30) P: Hi ha un circuit elèctric amb una bombeta, un indicador de voltatge i una bobina, i un imant que reacciona amb la bobina i quan la fiques dintre augmenta el voltatge i s'encén la llum. I: M'has parlat de circuit elèctric. Perquè tu creus que aquí hi ha un circuit elèctric? P: Perquè això és com un esquema elèctric: Una bombeta, un "d'esto", un generador, un imant... I: Vale, un generador. On està? P: Això no (senyalant el voltímetre). O la bobina, no se... I: Després ho resoldrem!</p> <p>PB6-2 (02:55) I: Pots veure més coses? P: I això que són les ones, no? És la intensitat de l'imat, per on transmet les senyals elèctriques. Per on van. I: Ho havies vist alguna vegada això d'aquí? P: No. L'esquema elèctric sí però això (les línies de camp) no. I: Li posaries algun nom a aquesta cosa? P: El camp d'expansió, o alguna cosa així.</p> <p>PB6-3 (03:44) I: Que creus que intenta explicar aquesta simulació? P: Doncs les ones i la llum, no? Com un esquema, osea... un circuit elèctric té electricitat... com amb un imant podem crear electricitat. I: I si l'imat no hi fós? P: A lo millor sí que hi hauria electricitat però no s'encendria la bombeta. I: I quan hi ha un imant que passa? P: Doncs que al entrar en contacte amb una bobina hi ha com un petit xocs amb electrons o algo i genera electricitat. I: Però ara mateix la bombeta està apagada... P: Però quan la fico més cap a dintre s'encén, saps? I: Però que ha de passar per que s'encengui la bombeta? P: Que l'imat entri en contacte amb la bobina però no una mica, sinó molt, saps? No se, és que això és el que no se encara. I: Doncs prova-ho una estona més a veure si arribes a la conclusió de quan s'encén la bombeta. (Ho prova durant força estona).</p> <p>PB6-4 (05:45) (Després d'observar durant una estona) P: S'encen quan un pol complert... quan està un pol complert dintre, saps? I: Hi ha alguna manera que es mantingui encesa sempre? P: No. I: Què li passa sempre? P: Que s'apaga sempre. Agafa molta llum o poca llum però s'apaga, es torna a apagar. I: Vale, ara mateix està apagat. Hi hauria alguna manera que estigués encesa tota l'estona la bombeta? P: Amb això que tenim... I: Sí, tal com ho tenim. Que es vagi encenent tota l'estona "pum, pum, pum...". (Ho prova i al cap d'una estona li explico que la il·luminació de la bombeta depèn del moviment de l'imat i que per tant per tenir la bombeta tota l'estona encesa el que cal és anar movent l'imat de forma constant). I: Per tant quina és la idea clau? P: Que per crear corrent elèctric necessitem que l'imat estigui en moviment tota l'estona.</p> <p>PB6- 5 (8:20) I: Amb quins moviments aconseguixes el màxim de brillantor? P: Per exemple, quan fiques el pol nord aquí a la meitat. I quan fiques el sud i el nord el tens per aquí (assenyala el pol nord fora de la bobina). I: Per tant, te a veure amb els pols. I això ho pots relacionar amb aquelles línies i aquelles fletxes? P: Això no se si és el camí que fan els electrons... I: Això? P: Sí perquè... No se... tenen diferents direccions depenent de... I: Diferentes direccions? Sí, aquestes van cap aquí i aquestes cap aquí... En tot cas, tu això ho relacionaries amb els electrons? P: Amb el moviment de l'electricitat.</p> <p>PB6-6 (0:20) I: Però tu abans m'has dit que hi havia un circuit elèctric? P: Sí.</p>	

I: Però a tu que et sona que era un circuit elèctric?
 P: Doncs un circuit elèctric em sona de...
 I: Repassa'm amb el dit on està el circuit elèctric.
 P: Tot això. (Ressegueix amb el dit el circuit)
 I: Vale, hi ha com tres coses connectades en el circuit. Però en el circuit, quan la bombeta s'està encenent, què està passant?
 P: Em sembla que ja ho entenc.
 I: Vinga.
 P: Perquè el circuit elèctric no està tancat, saps? Aleshores, quan fiques l'imant el tanques completament i aleshores
 I: A tu et sona alguna cosa de circuit obert / circuit tancat i aleshores suposes que
 P: Per aquí està obert i quan passes ... permetes passar l'electricitat.
 I: D'alguna manera, quan acostes un imant, què li passa al circuit?
 P: Que es tanca i aleshores permet el pas d'electricitat.
 I: Però l'electricitat per on? Per aquestes (el circuit) o per aquelles altres (les línies de camp)?
 P: Per aquestes (assenyala el circuit).
 I: Per aquestes, per les del circuit. I les altres, si vols quedem en que no sabem gaire què són.

PB6-7 (1:55)

I: I ja més coses per acabar. Això d'aquí, explica quina informació ens està donant.
 P: Sembla que és un indicador de voltatge. Per exemple, si jo tinc aquí zero (a l'agulla) el voltatge aquí no hi ha (assenyala la bombeta apagada). Però si fico l'imant hi ha un moment que tanco el circuit i aleshores pugen els electrons per encendre la bombeta. I segons on la fiqui, on s'encén més la bombeta hi ha més voltatge.
 I: Perquè dius "on".
 P: Osea, com fiqui l'imant, saps?
 I: A vale, depèn d'on fiqui l'imant. Per tant, com relacionaries això (el voltímetre) amb això (la bombeta).
 P: Això mesura la intensitat de la llum que rep això.
 I: Bé, que rep no. La bombeta envia llum...
 P: Sí...

PB6-8 (2:55)

I: Per tant, si m'aguessis de dir què has après amb aquesta simulació?
 P: Doncs he repassat el circuit elèctric i he après què és un circuit tancat, i que el circuit estava obert i que l'havia de tancar per a que pogués funcionar la bombeta.
 I: Però per funcionar la bombeta què ha d'haver-hi?
 P: Algun element que tanqui el circuit.
 I: I en aquest cas, quin és aquest element?
 P: L'imant.
 I: I on està el generador aquell famós que dèiem abans?
 P: Ahí me he liao...
 (A partir d'aquí, sóc jo qui li fa l'explicació de què és el que fa de generador en el circuit).

PB6-9 (5:50)

I: I ja per acabar, tu això ho relacionaries amb com és fa l'electricitat de veritat, la electricitat que ens il·lumina a nosaltres. D'on prové aquesta electricitat?
 P: Pot provenir de molts llocs. Per exemple, pot provenir d'una central hidràulica.
 I: Perfecte. Amb el que has après avui aquí, ho relacionaries d'alguna manera amb com funciona una central hidràulica?
 P: Doncs en una central hidràulica la força que seria la força de l'aigua que seria l'imant i la bobina, genera un moviment que aquest genera electrons i ...
 I: I com és exactament aquest mecanisme?
 P: No se molt, però per exemple en una cascada la força de l'aigua fa que es mogui una bobina pot ser, em sembla que sí, i aquesta bobina, a partir del moviment de la força de l'aigua genera electrons que això els porta mitjançant els cables cap a ... (assenyala els llums de la sala) i ja està.
 (Finalment, jo li faig l'explicació científica del funcionament d'un generador electromagnètic).

PB7

<http://www.youtube.com/watch?v=Y8CypfpDE4Y>

PB7-1

I: Primer m'expliques què és el que veus per pantalla, i després m'explicaràs que és el que vol dir. Endavant!
 P: Hi ha una bombeta, com un espiral i un voltímetre. Després hi ha un imant amb pol nord i pol sud.
 I: I et demana que el moguis no,? Doncs mou-lo. (Mou l'imant durant una estona). Fes totes les combinacions que vulguis.
 P: Vale (mentre ho fa)
 I: T'atreveixes a explicar-me què representa això?
 P: (Només va ficant i traient mig imant per la bobina, no ho travessa). Que al apropar l'imant a l'espiral la bombeta s'encén i a mesura que ho treus... Ho fiques... Al posar-ho la bombeta s'encén només una estona i al treure-ho un altre cop igual. Ho Al entrar és positiu i al sortir és negatiu.
 I: Té alguna cosa a veure que sigui positiu o negatiu amb la bombeta?
 P: Amb la bombeta?
 I: Sí. O sigui primer m'has dit que la bombeta s'encén quan entra i quan surt, però en canvi m'has dit que el voltatge primer és positiu i després és negatiu. Torna a provar-ho a veure si té alguna cosa a veure que sigui positiu o negatiu amb la bombeta.
 P: Amb la bombeta no.

I: Per tant, quina conclusió pots treure de la bombeta?
 P: Que la bombeta s'encén quan l'imant entra i surt, no?
 I: Independentment de si és positiu o és negatiu. Vale, molt bé. Prova de passar l'imant del tot, per l'altra banda. (Ho fa). Has vist alguna altra cosa que no havies vist?
 P: Sí. Quan passa pel nord és positiu i quan passa pel sud és negatiu.
 I: El voltatge?
 P: Sí.
 I: I la bombeta? (Jo mateix ric perquè ell ja ha respost correctament i l'estic posant a prova de nou).
 P: La bombeta igual.

PB7-2

I: I què creus que vol dir ara això? Que creus que ens està ensenyant aquesta simulació?
 (es queda callat com si no sabés que respondre).
 I: Per començar, aquesta espiral té algun nom?
 P: Una bobina.
 I: I de què et sona aquest nom?
 P: De que sigui un electroimant això tot junt?
 I: Explica, explica.
 P: Bueno... És que no se...
 I: Això d'electroimant...
 P: Ho hem fet una mica només...
 I: Et sona?
 P: Sí, em sona.
 I: Vale, i la paraula bobina, et sona?
 P: Sí.
 I: I aquí què està passant quan tu estàs fent això que fas?
 P: Doncs que al passar l'imant la bombeta s'encén.
 I: I per a que una bombeta s'encengui a tu et sona alguna cosa de què ha d'estar passant?
 P: Doncs...
 I: Què ha de passar per a que una bombeta s'encengui?
 P: Que hi hagi electricitat.
 I: Per tant, tu què creus que està passant aquí?
 P: Que l'imant fa que giri la bobina i que s'encengui la bombeta.
 I: Cap a on gira la bobina?
 P: Depèn, si és nord cap a la dreta i si és sud cap a l'esquerra.
 I: A veure com gira?
 P: (Ho prova). No gira.
 I: Jo havia entès que tu m'havies dit que gira la bobina.
 P: Sí, però aquí no gira.
 I: I no gira? És que no t'estic entenent. Tu m'has dit que... Ens hem fet un lio, no?
 P: (Riem els dos) Sí, sí.
 I: Bé, oblidat de l'electroimant perquè és una cosa diferent, que després t'explico que és. Aquí la bobina no es mou.
 P: No.
 I: Què creus que li passa a la bobina per a que la bombeta s'encengui?
 P: (Rumia una estona) Conté electricitat i al passar l'imant s'encén.
 I: Torna, torna.
 P: Conté electricitat i l'imant fa que desprengui la electricitat i s'encengui la bombeta.
 I: Més o menys. No és que la tingui sinó que es genera, es produeix. (Breu explicació)

PB7-3

I: Però què és el que ha de passar exactament per a que es produeixi l'electricitat?
 P: Que hi hagi un... que l'imant passi moltes vegades per dintre seu.
 I: Vale... I si és per fora també?
 P: Com "per fora"?
 I: Mou l'imant per fora de la bobina.
 P: (Ho fa i la bombeta s'encén molt poquet) No, ha d'estar tocant a la bobina.
 I: Ha d'estar tocant la bobina?
 P: Sí. Dintre de la bobina.
 I: Mou-lo fora. Mou-lo per aquí.
 P: Només es mou el voltímetre. Lo del voltatge.
 I: Fixa't bé en la bombeta.
 P: S'encén una mica.
 I: Ah! Això t'havies fixat?
 P: No.
 I: Perquè suposo que és molt...
 P: S'encén molt poc.
 I: Quan és poquet és més fàcil de veure el voltímetre segurament.
 P: Sí.
 I: Per tant, ara no és el que m'estaves dient abans. Què és el que ha de passar per a que hi hagi electricitat?
 P: Que hi hagi moviment?
 I: Exactament, aquesta és la qüestió! Que hi hagi moviment de l'imant. I ara et faig la pregunta de quan s'encén més?
 P: Quan l'imant passa per dintre de la bobina?
 I: I en quins moments és el màxim d'electricitat que es crea?
 P: (Ho prova) Quan passa pel mig, no?
 I: Quan què passa pel mig de què?
 P: Quan l'imant passa pel mig de la bobina.

I: Perfecte!

PB7-4

I: Anem a veure altres opcions que hi ha.

P: Li dono a "dos bobines"?

I: Vale.

P: (Ho fa). Vale.

I: Què passa ara? Fes coses. Què pots dir.

P: Que dona igual la bobina per la que passi l'imant. S'encén igual la bombeta.

I: S'encén igual? Fixa't bé!

P: Bé, s'encén més per la que té més espirals.

I: Però això ho has dit ara. Però quan fa 15 segons m'has dit que s'encén igual...

P: Doncs que s'encén, no amb la intensitat, sinó que s'encén. Dóna igual la bobina, però amb la que té més espirals té més intensitat.

I: Però això ho havies vist des del principi?

P: No.

I: Això ho has vist ara?

P: Sí.

I: Conclusió...

P: Doncs que per la bobina més gran té més intensitat la llum de la bombeta.

I: Per tant, si tu intentessis crear molta electricitat, què intentaries fer?

P: Passar-la per aquí, per la bobina gran.

I: Molt bé.

PB7-5

I: Apretar més botons.

P: Li dono a "línies de camp"?

I: Sí. (Ho fa). Què està passant ara?

P: Que són els camps magnètics de l'imant.

I: A tu et sona això del camp magnètic?

P: Una mica.

I: I què és això de nou que has vist?

P: Com "de nou"?

I: Això que ha aparegut ara, què és?

P: És la direcció cap a on va el camp magnètic.

I: I ho relacionaries d'alguna manera amb tot el que hem dit fins ara, de la bombeta si s'encén més o si s'encén menys?

P: Com, amb les línies?

I: Sí. Aquestes línies t'ajuden a explicar alguna cosa de si s'encén més o si s'encén menys?

P: Quan passa per el camp magnètic més petit és quan s'encén més.

I: Què vols dir amb "el camp magnètic més petit"?

P: Quan passa per aquí (per la línia de camp més pròxima a l'imant) és quan s'encén, pels altres no.

I: Però quan has dit el camp magnètic més petit a que et referies?

P: Quan passa per aquest tros, s'encén més crec... (Ho prova durant una estona però no ho veu clar). No se...

I: Les línies aquestes t'ajuden o et dificulten a entendre-ho?

P: Em dificulten.

I: Doncs treu-les.

PB7-6

I: I l'últim botó. (Ho fa i ho prova). Què passa ara?

P: Que ara comença pel negatiu i després positiu.

I: Perfecte. Perquè creus que passa això?

P: Perquè ha canviat els pols de costat.

I: Exactament.

PB7-7

I: Per tant, què és el que has après amb aquesta simulació?

P: Doncs que al passar l'imant per una bobina la bombeta s'encén i depèn de quin pol ho passis va pel positiu o pel negatiu.

Si la passes per la bobina que té més espirals s'encén més que si la passes per la que té menys.

I: Perquè què representa aquesta simulació? Abans (fent referència a l'entrevista anterior) era "l'escalfament quan fregues".

Aquesta què seria?

P: La electricitat, no?

I: La "què" de l'electricitat?

P: La intensitat.

I: Però què estas fent amb l'electricitat tu? Què estàs fent en aquesta simulació?

P: Crear electricitat.

I: Ara, crear! Estàs creant electricitat!

PB7-8

I: Vols dir alguna cosa més, alguna cosa que no entenguis? Si vols ara t'explico això del camp magnètic (faig l'explicació final de que la intensitat és proporcional a les línies de camp que travessen la bobina i l'entrevista s'acaba així).

Annex 6: Fragments d'entrevistes

Inclou tots els fragments d'entrevistes seleccionats com a quote a través del programa Atlas.ti, així com el comentari d'anàlisi que els acompanyen.

P 1: A_PA1.rtf - 1:14 [P: Hi ha un grup de boles grog.] (2:2) (Super)

P: Hi ha un grup de boles grogues i un grup de boles verdes, i un termòmetre que si frotes, si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa.

P 1: A_PA1.rtf - 1:15 [I: Què hauries vist? Fes, fes ..] (26:29) (Super)

I: Què hauries vist? Fes, fes (demanant-li que fregui i observi els àtoms). Què passa?
 P: Que es mouen, però... ja està.
 I: Que vol dir que estiguin en moviment?
 P: Que estan en contacte.

P 1: A_PA1.rtf - 1:16 [si juntes els dos grup de bole..] (2:2) (Super)

si juntes els dos grup de boles i estan en moviment, el termòmetre puja, i si no estan en moviment i no es toquen, baixa.

P 1: A_PA1.rtf - 1:17 [P: Ah, vale, ja se. Que tot ai..] (79:79) (Super)

P: Ah, vale, ja se. Que tot això se suposa que són àtoms, i tot això se suposa que són àtoms. Llavors, quan ho ajuntem, doncs passa això... que s'escalfa.

P 1: A_PA1.rtf - 1:18 [P: Suposo que quan ja no estan..] (106:124) (Super)

P: Suposo que quan ja no estan en contacte, la temperatura... com sempre, i per tant, es va quedant així.
 I: Però ara els dos llibres estan en contacte.
 P: Doncs no se...
 I: Per què ara no està pujant la temperatura?
 P: Perquè no s'estan movent.
 I: Tu m'has dit "és quan estan en contacte".
 P: Bueno, quan es mouen.
 I: Han d'estar en contacte, i a més a més...
 P: Moure's.
 I: Perquè si estan en contacte i quietes...
 P: La temperatura no puja.
 I: Però abans de que jo t'ho preguntés, tu haguessis dit que en contacte també puja la temperatura?
 P: Si.
 I: O sigui al principi era que...
 P: Era que com sí que puja la temperatura.
 I: I què ha de passar per que pugi, llavors?
 P: Doncs que (fa el gest de fregament amb la mà) es moguin, que vibrin.
 I: Que vibrin les partícules. Però com aconseguim que vibrin?
 P: Amb el moviment.

P 1: A_PA1.rtf - 1:19 [P: Que això és una part de quí..] (9:11) (Super)

P: Que això és una part de química i això una part de física, i que quan ho ajuntes és una reacció.
 I: O sigui que tu creus que això de "física" i "química" té a veure amb que això sigui una cosa física i això una cosa química?
 P: Jo crec que sí.

I: Em pots explicar què és el que estaves entenent al principi?

P: Estava entenent que això era verd i això també, era una part de física i això de química. Però com era al principi no sabia molt bé...

P 1: A_PA1.rtf - 1:21 [P: El llibre de química groc, ..] (5:9) (Super)

P: El llibre de química groc, i el de física verd. El de física té com unes fletxes que porta aquest verd de boles, i el de química una altra fletxa que porta al grup groc.

I: Aquestes fletxes me les pots senyalar per pantalla? (les senyala). Per tant, aquestes fletxes que creus que volen dir?

P: Que és una reacció. Que es fa com una reacció química.

I: Explica-m'ho una mica millor, que no ho estic entenent. O sigui, aquestes fletxes volen dir que...

P: Que això és una part de química i això una part de física, i que quan ho ajuntes és una reacció.

P 1: A_PA1.rtf - 1:22 [Per tant, aquestes ratlles d'a..] (172:180) (Super)

Per tant, aquestes ratlles d'aquí que abans deies que eren fletxes, en realitat que són?

P: Això són els àtoms del llibre verd...

I: No, les línies vermelles.

P: Ah, les línies. Doncs que ens indiquen que, quan freguem...

I: No, aquí no estàs fregant ara. Les línies, que volen dir les línies?

P: Que el verd és el llibre de Física i el groc és el llibre de Química.

I: Per tant seria... veus que aquí hi ha un requadre?

P: Com una ampliació.

I: Ara! Com una ampliació.

P 1: A_PA1.rtf - 1:23 [I: Què vol dir que posi "Físic..] (162:167) (Super)

I: Què vol dir que posi "Física" aquí?

P: Que quan... bueno, que posi "Física" no se, que quan els dos llibres es freguen, doncs passa això.

I: I que posi "Física" aquí, jo soc una mica pesat i insisteixo, vol dir algo?

P: No se.

I: Per què creus que posa "Física" aquí?

P: No ho se, ni idea.

P 1: A_PA1.rtf - 1:24 [Si el termòmetre no hi fos, si..] (24:41) (Super)

Si el termòmetre no hi fos, si estigués tapat (el tapo amb la mà) tu m'hauries explicat el mateix o no?

P: No.

I: Què hauries vist? Fes, fes (demanant-li que fregui i observi els àtoms). Què passa?

P: Que es mouen, però... ja està.

I: Que vol dir que estiguin en moviment?

P: Que estan en contacte.

I: Vale. I ara, es mouen menys?

P: Sí.

I: Vale, torna a mirar què passa quan fregues. Mira com es mouen i mira què passa amb el termòmetre. (Ho fa). Podriem relacionar d'alguna manera el que es moguin i com es mouen amb el termòmetre?

P: Quan van parant el moviment...

I: Vibració, si vols, pots dir-li vibració.

P: Doncs el termòmetre baixa, i quan hi ha moviment, quan estic així movent-ho, doncs puja.

I: Vale, per tant, quina conclusió podriem treure d'aquesta relació?

P: Doncs que quan freguem, la temperatura puja i quan deixem, baixa.

I: I com relaciones el moviment amb el termòmetre? El moviment dels àtoms...

P: No se...

I: Ni idea?

P: No.

P 1: A_PA1.rtf - 1:25 [I: Frega. Què més ha passat ar..] (44:47) (Super)

I: Frega. Què més ha passat ara?

P: Que una part dels àtoms grocs s'han anat.

I: Això ho havies vist abans.

P: No.

P 1: A_PA1.rtf - 1:26 [Per exemple, ara aquí a dalt n..] (71:76) (Super)

Per exemple, ara aquí a dalt no hi ha àtoms. Perquè creus que no hi ha àtoms.

P: No se... ni idea.

I: Se t'acut que pot voler dir que només hi hagi àtoms en aquest trosset d'aquí?

P: No se...

I: Tu ho hauries dibuixat així o ho hauries dibuixat diferent?

P: Jo ho hauria dibuixat així, però tampoc se perquè...

P 1: A_PA1.rtf - 1:27 [I: I per què no estan aquests ..] (80:87) (Super)

I: I per què no estan aquests àtoms si representen que són àtoms?

P: Perquè no és necessari.

I: El què no és necessari?

P: Que hi hagi tots, perquè només has de veure això.

I: O sigui, que creus que és una cosa que el dibuix només han dibuixat uns quants. Però això se t'havia acudit a tu o t'hi he fet pensar jo?

P: M'hi has fet pensar tu....

I: Sino, tu que haguéssis pensat? O no haguéssis pensat res?

P: Hagués dit que segurament no els han pogut dibuixar tots perquè hi ha moltíssims.

P 1: A_PA1.rtf - 1:28 [I: I la baixada, com és? P: To..] (99:104) (Super)

I: I la baixada, com és?

P: Tota l'estona igual.

I: Tota l'estona igual. Torna a fer-ho. (Ho fa). Estas d'acord amb el que has dit abans?

P: Sí.

I: Tu veus que la baixada sigui tota l'estona igual?

P: Bueno... al final va més lenta. Va baixant tota l'estona igual, però quan arriba al final va més lenta.

P 1: A_PA1.rtf - 1:29 [I: I com ho explicaries que se..] (56:59) (Super)

I: I com ho explicaries que se'n vagin? Què passa, que no estan agust i se'n van?

P: No! Perquè ho estas fregant. I llavors... no se, no se perquè se'n van, però quan fregues, se'n van.

I: Se t'acut algun exemple de la vida real que quan fregues dos coses passi alguna cosa així semblant?

P: Bueno, quan fas així se't calenten les mans.

P 1: A_PA1.rtf - 1:30 [I: Què pot voler dir? P: Doncs..] (50:57) (Super)

I: Què pot voler dir?

P: Doncs que al fregar-ho, el grup d'àtoms verd es manté però el groc una part se'n va i es queden uns quants.

I: I que se'n vagin aquests àtoms té algun significat? En el mon real, quan tu fregues dos coses...

P: No es nota. A vista no es nota, però "si un cas", després sí.

I: I què és el que estaria passant encara que no ho veiéssis?

P: Doncs que una part dels àtoms se'n va.

I: I com ho explicaries que se'n vagin? Què passa, que no estan agust i se'n van?

P: No! Perquè ho estas fregant. I llavors... no se, no se perquè se'n van, però quan fregues, se'n van.

P 1: A_PA1.rtf - 1:31 [I: Què pot voler dir? P: Doncs..] (50:51) (Super)

I: Què pot voler dir?

P: Doncs que al fregar-ho, el grup d'àtoms verd es manté però el groc una part se'n va i es queden uns quants.

P 1: A_PA1.rtf - 1:32 [P: Que hi ha més groc que verd..] (152:154) (Super)

P: Que hi ha més groc que verd?

I: Hi ha més groc que verd? Això tu creus que vol dir alguna cosa?

P: No se, suposo que sí, però no se el què.

P: A veure, vull dir que si mous ràpid, puja la temperatura. I quan "soltes" i encara s'està movent es manté. Però quan es van separant, baixa.

P 1: A_PA1.rtf - 1:34 [Però quan es van separant, bai..] (96:96) (Super)

Però quan es van separant, baixa.

P 2: A_PA2.rtf - 2:11 [I: Perquè aquests àtoms són àt..] (8:32) (Super)

I: Perquè aquests àtoms són àtoms "de què"? Què representen?
 P: Ni idea.
 I: O sigui, són dos àtoms, ai perdona, dos grups d'àtoms, representen... quan es freguen.
 P: Puja la temperatura
 I: Però quan estàs fregant aquests àtoms, què representa que és el que estàs fregant?
 (Es queda en silenci una estona)
 I: O sigui, d'on han sortit aquests àtoms? On representa que estan?
 P: A l'aire o...
 I: Fixa't bé en tot el dibuix.
 P: Sí, aquí hi ha com una capa groga i aquí una capa verda.
 I: Sí, hi ha com dos capes, però aquestes dos capes, no veus que és el que representen?
 P: No.
 I: Fixa't bé en el dibuix, fixa't bé en tota la pantalla.
 (Torna a mirar tota la pantalla i finalment es fixa en el llibre i li canvia la cara)
 P: Ah, vale! Això del llibre!
 I: Ah! Què pot voler dir?
 P: Que es freguen uns llibres.
 I: I per què es veu això aquí? I això aquí? Quina relació hi ha entre les dues parts?
 P: Que l'han ampliat.
 I: Ah, és una ampliació! Però això ho havies vist abans?
 P: No.
 I: No t'havies fixat?
 P: No.
 I: I t'has fixat perquè jo t'ho he dit, oi?
 P: Sí, m'has dit que em fixés en tota la pantalla.

P 2: A_PA2.rtf - 2:12 [I: Fixa't bé en tot el dibuix...] (16:19) (Super)

I: Fixa't bé en tot el dibuix.
 P: Sí, aquí hi ha com una capa groga i aquí una capa verda.
 I: Sí, hi ha com dos capes, però aquestes dos capes, no veus que és el que representen?
 P: No.

P 2: A_PA2.rtf - 2:13 [P: La forma no té res a veure?..] (107:119) (Super)

P: La forma no té res a veure?
 I: Quina forma?
 P: Aquí... la forma de semi-cercle.
 I: Forma de semi-cercle? Què pot voler dir?
 P: Perquè se suposa que els àtoms són rodons, no?
 I: I que vols dir amb això?
 P: Doncs que si són rodons no estarà tot... bueno. Què no estarà tot així (fa el gest amb la mà de superfície plana).
 I: Pla.
 P: Sí.
 I: Sinó que serà... m'estas dient que creus que aquí representa que hi ha altres àtoms.
 P: Sí.
 I: Sí, no? (Al veure-li la cara que fa): O no ho tens molt clar?
 P: No, no ho tinc molt clar. O sigui, tot d'àtoms però com que són rodons no serà tot igual.

P 2: A_PA2.rtf - 2:14 [I: Baixant com era? P: Continu..] (154:163) (Super)

I: Baixant com era?
 P: Continu.
 I: Continu i tota l'estona igual?
 P: Sí.
 I: Torna a fer-ho i fixem-nos ara en la baixada. (Ho fem)
 P: (Després de fixar-s'hi) No.
 I: Què passa?
 P: Quan està més a dalt baixa més de pressa i quan va baixant baixa més a poc a poc.

I: I això potser era difícil veure-ho a la primera? Però en canvi, si jo no t'ho hagués dit, tu t'hauries fixat en això?

P: No.

P 2: A_PA2.rtf - 2:15 [I quina explicació tu donaries..] (182:183) (Super)

I quina explicació tu donaries a través d'aquesta simulació que sigui la causa d'aquest escalfament? Què és el que ha fet que això s'escalfi?

P: El contacte amb les dues superfícies.

P 2: A_PA2.rtf - 2:16 [I: Però tu ja sabies que quan ..] (186:191) (Super)

I: Però tu ja sabies que quan fregaves escalfaves... Però aquí t'estan parlant d'àtoms, o de partícules. Què és el que fa que aquestes partícules o que aquests materials s'escalfin?

P: Doncs que es xoquen entre ells.

I: Es xoquen entre ells! I com que xoquen entre ells... què passa després?

P: Que s'escalfen.

I: Sí, però, aquesta partícula concreta... O sigui, tu saps que la temperatura és, diguéssim, la vibració mitjana de moltes partícules. Si les partícules vibren més, això vol dir que el material està més calent. Per tant, quan hi ha xocs, que els hi passa a les partícules?

P: Que agafen calor.

P 2: A_PA2.rtf - 2:17 [I: Per tant, ara ja m'ho pots ..] (35:36) (Super)

Hyper-LinkP:

8:7 Diu que "el termòmetre represe.. <supports>

[Content for linked quote "8:7"]

Diu que "el termòmetre representa la temperatura dels àtoms". I més endavant "la partícula agafa calor quan es frega".

I: Per tant, ara ja m'ho pots tornar a explicar sabent què és el que apareix allà, no?

P: Sí, són dos llibres que quan els fotes, els àtoms agafen temperatura.

P 2: A_PA2.rtf - 2:18 [Per tant, quan hi ha xocs, que..] (190:195) (Super)

Per tant, quan hi ha xocs, que els hi passa a les partícules?

P: Que agafen calor.

I: Cada partícula per separat?

P: Com que "per separat"?

I: O sigui, què és el que agafa calor? O sigui, quan una partícula xoca amb una altra, què li passa a aquesta partícula?

P: La partícula agafa calor.

P 2: A_PA2.rtf - 2:19 [P: Doncs que quan fotes els g..] (82:86) (Super)

P: Doncs que quan fotes els grocs amb els verds molts grocs se'n van.

I: I això que creus que pot voler dir?

P: No se, potser es desgasta el llibre.

I: A tu et sona que les coses que es freguen es desgasten? Posa'm un exemple d'una cosa que fregant es desgasti.

P: Si faig així a la taula (fregant amb el dit) potser se'n van àtoms.

P 2: A_PA2.rtf - 2:20 [I: Porta-ho, per exemple, a l'..] (122:132) (Super)

I: Porta-ho, per exemple, a l'extrem. Mou la simulació aquesta i mou-ho molt cap allà. Més, més encara.

P: Vale, doncs que ja s'acaba el llibre.

I: I que et sembla que s'acabi el llibre aquí?

P: Com que què em sembla?

I: Compara-ho amb la representació de dalt. Aquí s'acaba el llibre, però en canvi, aquí dalt... Fixa't aquí dalt que passa. Quan a baix ho mous, a dalt es mou?

P: Sí.

I: Vale, però en canvi... si mires aquest quadret, aquí el llibre encara no s'ha acabat.

P: L'estaràs posant cap aquí.

I: Com?

P: Que en comptes de ficar-lo cap allà, l'estàs ficant cap aquí.

I: Com cap endavant, com en tres dimensions.

P 3: A_PA3.rtf - 3:21 [P: Veig unes boles de color gr..] (2:2) (Super)

P: Veig unes boles de color groc i verd i al costat hi ha un termòmetre. Hi ha un botó que diu "Reset" que si cliques va baixant i pujant la temperatura i les boletes es van movent.

P 3: A_PA3.rtf - 3:22 [P: Sí, perquè uns són químics ..] (20:24) (Super)

P: Sí, perquè uns són químics i els altres són físics, pot ser?

I: Què et fa pensar que això és així?

P: Perquè un llibre és groc i l'altre verd. Pels àtoms.

I: O sigui, tu veus una relació entre els colors, no? I això et fa pensar que com que a dalt posa "química"....

P: Sí, uns són química i els altres són física. Estan compostos d'això.

P 3: A_PA3.rtf - 3:23 [I: Per tant, hi ha un quadre g..] (29:30) (Super)

I: Per tant, hi ha un quadre gran. Hi ha alguna relació entre el quadre petit i el quadre gran?

P: No, bueno, sí, que encara que siguin de colors diferents els dos estan compostos de física i química.

P 3: A_PA3.rtf - 3:24 [I: I per tant... tu veus dos q..] (25:29) (Super)

I: I per tant... tu veus dos quadrats, no? Assenyala'm els dos quadrats (Senyala els dos llibres). Això són els dos llibres, però entre mig dels dos llibres hi ha alguna cosa?

P: Un quadrat.

I: I hi ha algun altre quadrat equivalent a aquest?

P: No, veig dos línies que senyalen el quadre on estan els àtoms.

I: Per tant, hi ha un quadre gran. Hi ha alguna relació entre el quadre petit i el quadre gran?

P 3: A_PA3.rtf - 3:25 [I: A tu no se t'acudiria pensa..] (33:38) (Super)

I: A tu no se t'acudiria pensar que això és com si fos un zoom, com una ampliació?

P: Ah, vale.

I: Això no se t'havia acudit?

P: No.

I: Tu veies les ralles discontinües?

P: Si les veia, però jo em pensava que eren com lo que hi havia dins dels llibres.

P 3: A_PA3.rtf - 3:26 [I: Veus més coses per pantalla..] (6:11) (Super)

I: Veus més coses per pantalla?

P: Bueno, veig dos llibres que posa "física" i "química" en anglès.

I: Està en anglès perquè me l'he baixat en anglès, però podria estar en català, castellà, xinès...

P: Doncs veig dos llibres a dalt de la pantalla que posa "física" i "química".

I: Veus alguna cosa més (intentant que em parlés del fons)

P: No veig res més.

P 3: A_PA3.rtf - 3:27 [P: Quan els fregues, puja la t..] (57:60) (Super)

P: Quan els fregues, puja la temperatura i llavors els àtoms es mouen una mica.

I: Ara has tocat una miqueta. Frega més. Frega, frega, no apreta al botó sinó arrossega'l.

P: Ah! Així.

I: Selecciona... posa el cursor sobre el fons groc, per exemple, i mou-lo, desplaça'l. (Ho fa) Ara!

P 3: A_PA3.rtf - 3:28 [I: És mouen tota l'estona igua..] (88:91) (Super)

I: És mouen tota l'estona igual?

P: Quan hi ha més augment de temperatura els àtoms es mouen més ràpidament i no es mouen uniformement, estan com més "locos".

I: Més locos, sí, sí, perfecte. Tu t'havies adonat que no es mouen tota l'estona igual, que es mouen més locos quan...

P: Sí, perquè quan la temperatura ha pujat molt sí que es mouen més "a la seva bola".

P 3: A_PA3.rtf - 3:29 [... és que abans no veia el fo..] (174:175) (Super)

... és que abans no veia el fons, perquè és tan claret que no veia el fons. I jo deia "fons verd?", sí és blanc!
I: Clar, potser des d'on estàs tu es veu pitjor.

P 3: A_PA3.rtf - 3:30 [Quantes coses de color verd hi..] (153:172) (Super)

Quantes coses de color verd hi ha?

P: Els àtoms.

I: Els àtoms...

P: I el fons.

I: I el fons! Què vol dir cada cosa? O sigui, que vol dir aquest fons? Perquè clar, els àtoms hem dit "són els àtoms del llibre verd", però llavors el fons què és?

P: El llibre.

I: I el llibre de què està fet?

P: De paper i dels àtoms.

I: I quina és la relació entre el paper i els àtoms?

P: Quant més paper, hi ha més àtoms.

I: I entre àtom i àtom que hi ha?

P: Uff...

I: Clar, perquè fixa't que entre els verds, entre mig està com pintat de verd. Senyala'm un àtom, (el senyala) senyala'm l'àtom del costat. Entre els dos àtoms què hi ha?

P: Un forat.

I: Un forat?

P: Bueno...

I: De quin color és? Què hi ha en mig dels dos àtoms?

P: Verd.

I: I què vol dir això verd? O no vol dir res?

P: Si que vol dir alguna cosa...

P 3: A_PA3.rtf - 3:31 [I: Què pot voler dir aquest fo..] (178:181) (Super)

I: Què pot voler dir aquest fons verd?

P: Jo crec que les altres partícules que conté el llibre.

I: I perquè no estan dibuixades?

P: Perquè en aquesta simulació el més important són els àtoms. El que vol donar a veure són els àtoms, no les altres partícules.

P 3: A_PA3.rtf - 3:32 [Aquesta simulació el que vol d..] (212:212) (Super)

Aquesta simulació el que vol dir és que si fem fricció amb el llibre a l'altre, puja la temperatura i llavors els àtoms desapareixen.

P 3: A_PA3.rtf - 3:33 [I: Què vol dir això? (La forma..) (215:216) (Super)

I: Què vol dir això? (La forma irregular dels àtoms grocs de dalt) Si creus que vol dir algo o si creus que és casualitat?

P: Jo crec que no vol dir res perquè aquí (senyala els verds) no acaben en punta. Jo crec que, no se perquè, aquests (els verds) estan més uniformes i aquests (els grocs) estan més a la seva bola. Jo crec que és un error que sigui alguna cosa. (Cal tenir en compte que minuts abans jo li havia parlat explícitament de la validesa de cada element de la simulació).

P 3: A_PA3.rtf - 3:34 [I: I el moviment de pujada del..] (221:222) (Super)

I: I el moviment de pujada del mercuri dins del termòmetre com és? És constant?

P: Puja de cop, i quan ja no frotes, va baixant més a poc a poc. Però puja de cop.

P 3: A_PA3.rtf - 3:35 [I: I la baixada és tota l'esto..] (229:232) (Super)

I: I la baixada és tota l'estona igual? O quan baixa més o quan baixa menys?

P: Quan és el primer tros fa una baixada més forta. Després va baixant més lent.

I: D'això t'has adonat? Ets la primera que ho ha vist de tota la gent amb qui hem fet les entrevistes... Comprova-ho! (Frega) Vale, deixa anar.

P: Primer va més fort i després va baixant més a poc a poc.

P 3: A_PA3.rtf - 3:36 [I: Creus que això té algun sig..] (233:242) (Super)

I: Creus que això té algun significat?

P: Sí, com que l'impuls primer és molt fort després hi ha una baixada forta perquè va amb la gravetat, bueno, gravetat no... amb l'impuls, saps?

I: L'impuls de què?

P: És que no se com explicar-ho...

I: El "subidón" del mercuri?

P: Sí.

I: Però aquí representa que estem mesurant la temperatura, però bé, explica el que anaves a explicar.

P: Que jo crec que com que hi ha una pujada molt ràpida, després baixa i després ja va baixant més a poc a poc.

I: Però explica'm això de "l'impuls", perquè t'he tallat i no ho hauria d'haver fet.

P: Que jo crec que com puja amb molt impuls, baixa... com és queda aquí baixa amb més impuls i llavors ja va parant.

P 3: A_PA3.rtf - 3:37 [I: Què creus que vol dir que d..] (71:78) (Super)

I: Què creus que vol dir que desapareguin?

P: Jo crec que al frotar-lo, alguns s'escapen, s'han anat.

I: I això tu ho connectaries amb alguna cosa que tu ja sàpigues? Quan tu fregues dos llibres realment passa alguna cosa....

P: Amb la fricció.

I: I què passa amb la fricció?

P: Eh... doncs que al fregar dos cossos les partícules van desapareixent.

I: Però això passa en la realitat?

P: Sí que passa però no ho veiem, perquè necessitariem un microscopi.

P 3: A_PA3.rtf - 3:38 [I: I ara què està passant amb ..] (82:85) (Super)

I: I ara què està passant amb aquests àtoms?

P: Que s'estan com mesclant amb els verds.

I: I quan deixes una estona?

P: Es tornen una altra vergada a quedar-se quietes i a posar-se com en fila, en grup.

P 3: A_PA3.rtf - 3:39 [P: Que al moure el llibre els ..] (68:70) (Super)

P: Que al moure el llibre els àtoms es freguen molt més bé i van desapareixent.

I: Vale... Tots desapareixen?

P: No, desapareixen uns quants. Desapareixen del llibre que estàs tocant, no de l'altre.

P 3: A_PA3.rtf - 3:40 [I: Veus alguna cosa en el quad..] (113:118) (Super)

I: Veus alguna cosa en el quadrat gran, a part d'àtoms?

P: Que els verds... la temperatura, els llibres... que no s'han mogut els verds.

I: Els verds no es mouen.

P: No es mouen...

I: Què creus que vols dir?

P: Que només desapareixen els àtoms amb els que estàs fent la fricció. Els altres es mouen perquè puja la temperatura però no desapareixen.

P 4: A_PA4.rtf - 4:16 [La indicació era intentar frot..] (2:2) (Super)

La indicació era intentar frotar els grocs amb els verds per a que així es veu com augmenta la temperatura. I llavors, s'ajunten i ja està.

P 4: A_PA4.rtf - 4:17 [P: I llavors amb el ratolí ho ..] (17:19) (Super)

P: I llavors amb el ratolí ho mous i comencen a moure's totes les boletes.

I: M'has dit que ja s'estaven movent o que no?

P: Sí, però quan mous el ratolí llavors es mou la posició. Abans estaven només vibrant.

P 4: A_PA4.rtf - 4:18 [I: Perquè no m'ho has comentat..] (29:30) (Super)

I: Perquè no m'ho has comentat?

P: Perquè al principi han començat a moure's i s'han anat. M'he fixat ara a la segona ronda.

P 4: A_PA4.rtf - 4:19 [P: Doncs que a més temperatura..] (49:49) (Super)

P: Doncs que a més temperatura més vibren i més es mouen i llavors arriba un moment que és com si s'evaporesin i marxessin. I quan es refreden tornen a la mateixa posició.

P 4: A_PA4.rtf - 4:20 [I: O sigui, quan tu mous el ra..] (54:59) (Super)

I: O sigui, quan tu mous el ratolí que fas? Representa que què estàs fent?

P: Que els estàs ajuntant, no? Que els estàs unint.

I: Que s'estan unint?

P: Sí. Llavors és quan agafa la temperatura.

I: Què vols dir que s'està unint? Què s'està unint?

P: Els àtoms. Uns àtoms i els altres.

P 4: A_PA4.rtf - 4:21 [I quan pares, llavors no s'aju..] (91:91) (Super)

I quan pares, llavors no s'ajunten i la temperatura no augmenta.

P 4: A_PA4.rtf - 4:22 [P: Sí, doncs que... veig que e..] (97:97) (Super)

P: Sí, doncs que... veig que els àtoms grocs, al fregar-los amb els verds llavors augmenta la temperatura. I quan ja no estan junts llavors la temperatura disminueix un altre cop. Llavors, no se... cadascú tindrà una temperatura determinada i al fusionar-ho, llavors, augmenta.

P 4: A_PA4.rtf - 4:23 [I: Va més lentament? P: Sí, va..] (101:106) (Super)

I: Va més lentament?

P: Sí, va una mica més lent.

I: I va tota l'estona igual de lent?

P: A veure... (ho mira). No, a mesura que va baixant va cada cop més lent.

I: Aixó ho has vist ara o ho havies vist abans?

P: No, ara, ara, al fixar-me sí.

P 4: A_PA4.rtf - 4:24 [I: T'ho torno a preguntaP: Per..] (112:113) (Super)

I: T'ho torno a preguntar: Per què creus que baixa la temperatura? O què és el que fa que baixi la temperatura?

P: Doncs perquè no estan junts els cossos, i llavors, al no tocar-se ni res es va refredant (torna a fer un "no se" molt fluixet).

P 4: A_PA4.rtf - 4:25 [P: I canvia l'estat. I: M'esta..] (39:43) (Super)

P: I canvia l'estat.

I: M'estas dient ara "un canvi d'estat"?

P: Sí.

I: Un canvi d'estat entre quins estats?

P: Crec que de sòlid a líquid.

P 4: A_PA4.rtf - 4:26 [P: Sí, es mouen, bueno, vibren..] (22:24) (Super)

P: Sí, es mouen, bueno, vibren més ràpidament i llavors, al moure la pantalla amb el ratolí doncs alguns s'han barrejat i...

I: Molt bé, que més?

P: Quan més ho mous, més es barregen entre ells i quan deixes de donar-li amb el ratolí es torna a la posició on estaven abans, al principi.

P 4: A_PA4.rtf - 4:27 [I: Per què creus que hi ha alg..] (125:126) (Super)

I: Per què creus que hi ha algunes molècules que se'n van?

P: No se, perquè crec que és les que estan més a prop de la superfície i llavors doncs al fregar la temperatura augmenta i s'evaporen, o se'n van.

P 5: A_PA5.rtf - 5:17 [I: Se n'han anat. No és que ha..] (52:55) (Super)

I: Se n'han anat. No és que hagin desaparegut que ja no existeixin, sinó que ja no estan aquí. Que et sembla el nom de desgast?

P: Ah! Si. Com els cotxes de la Fórmula 1.

I: Si, explica, que els passa als cotxes de F1.

P: Que quan corren a molta velocitat, amb l'asfalt de la carretera, fa pujar la temperatura i han de canviar els pneumàtics cada cert temps.

P 5: A_PA5.rtf - 5:18 [I: I la baixada? Com és la bai..] (127:132) (Super)

I: I la baixada? Com és la baixada?

P: La baixada sí és continua

I: Continua i tota l'estona igual? Vale, comprovem la baixada. Fes-ho. Fes que pugui la temperatura i després que torni a baixar. (Ho fa mentre li dono instruccions).

P: Ah, no. Baixa ràpid al principi i després baixa a poc a poc.

I: No ho havies vist això?

P: No.

P 5: A_PA5.rtf - 5:19 [I: Per tant, quines conseqüènc..] (113:114) (Super)

I: Per tant, quines conseqüències té el fregament?

P: Que puja la temperatura, que es desgasten els àtoms, que desapareixen els àtoms.

P 5: A_PA5.rtf - 5:20 [I: Si tu haguessis de fer un r..] (139:140) (Super)

I: Si tu haguessis de fer un resum de la simulació, què diries?

P: Els àtoms quan es freguen, alguns es desgasten, i puja la temperatura.

P 5: A_PA5.rtf - 5:21 [I: Per tant, que és el que fa ..] (90:107) (Super)

I: Per tant, que és el que fa que es moguin?

P: Els altres àtoms, perquè es mouen també els altres àtoms i es com si es desgasten (ho diu amb veu fluixa i poc convençuda)

I: Però si jo ara faig així (sense que els dos blocs toquin) ben fort, ben fort...

P: No, perquè no es toquen.

I: Per tant, la idea clau aquí és que quan hi ha fregament... O sigui, el fregament tu el veus, els àtoms no els veus, però que vol dir que hi hagi fregament? Que li està passant així amb el zoom? Els àtoms...

P: Que no es toquen.

I: I quan hi ha fregament?

P: Que es toquen.

I: I quan un àtom toca un altre àtom, que passa?

P: Que es desgasta.

I: Alguns es desgasten. Bueno... es desgasta cada àtom?

P: Alguns. No desapareixen tots.

I: Vale, alguns desapareixen, i els altres que es queden?

P: Doncs que es queden.

I: I què passa quan toquen els que es queden?

P: Que no desapareixen.

I: I a part de no desaparèixer? Vale, fem-ho. Alguns desapareixen, i ara aquests desapareixen. I els que es queden, què passarà quan es toquin?

P: Que es mouran però no desapareixeran.

P 5: A_PA5.rtf - 5:22 [I: Tu això ho saps que els àto..] (78:83) (Super)

I: Tu això ho saps que els àtoms sempre una mica es mouen? Mou-lo una mica més. Que ha passat?

P: Que ha pujat una mica la temperatura.

I: Què ha passat a cada àtom?

P: Que s'ha mogut més ràpid.

I: Què és el que ha fet que s'hagi mogut més ràpid?

P: La temperatura.

P 5: A_PA5.rtf - 5:23 [I: Però tu com has vist que pu..] (143:168) (Super)

I: Però tu com has vist que puja la temperatura?
 P: Pel termòmetre.
 I: I si el termòmetre no hi fos.
 P: Doncs jo deduiria que la temperatura puja o baixa.
 I: Què és el que veus tu que estigui passant aquí que et faci pensar que la temperatura puja? (Riu) És que sóc molt "quisquilloso", jo.
 P: Doncs quan els àtoms es freguen, ràpidament la temperatura puja ràpidament i si es freguen més a poc a poc, la temperatura puja més a poc a poc.
 I: Jo el que volia que em diguessis és que quan els àtoms es freguen, es mouen. És això el que volies dir?
 P: Bueno, se me ha olvidado. Però també ho se.
 I: Però tu has vist aquí quan fregues, si el termòmetre no hi fos tu que veuries?
 P: A vale, que es mourien més ràpid...
 I: I això té alguna cosa a veure amb la temperatura o no té res a veure. Què té a veure?
 P: Que... suposo que tindrà a veure. Què té a veure no ho se.
 I: per exemple, si es mouen molt, que vol dir?
 P: Que la temperatura és més alta
 I: I si es mouen poc?
 P: Que la temperatura és més baixa.
 I: Estaves pensant en això?
 P: No.
 I: No?
 P: No sabia el que m'estaves preguntant.
 I: Però quan deies "quan freguem puja la temperatura", tu a part de veure-ho amb el termòmetre, ho havies vist amb els àtoms o no ho havies vist?
 P: Sí, sí que ho havia vist.
 I: T'hi havies fixat?
 P: Si.
 I: Molt bé, em pots tornar a dir la frase ja per acabar, amb totes aquestes coses?
 P: Que quan freguem els àtoms la temperatura puja depèn de la velocitat que freguem. Si freguem ràpid la temperatura puja ràpid, i si freguem a poc a poc, la temperatura puja a poc a poc. I els àtoms es mouen, i es desgasten, i desapareixen.

P 5: A_PA5.rtf - 5:24 [I: Què més veus? P: La tempera..] (7:8) (Super)

I: Què més veus?
 P: La temperatura... tinc més àtoms grocs, han desaparegut els demés, no se. És com l'amplificació d'un tros de llibre o algo així.

P 5: A_PA5.rtf - 5:25 [Està amplificat com aquest tro..] (9:11) (Super)

Està amplificat com aquest tros, on estan els dos llibres junts, i quan baixo el llibre groc i el frego amb el verd, puja la temperatura i em desapareixen els àtoms.
 I: Tots et desapareixen?
 P: No, només els grocs, els verds no.

P 5: A_PA5.rtf - 5:26 [I: Alguna cosa nova que no sab..] (32:41) (Super)

I: Alguna cosa nova que no sabessis?
 P: Sí, que els àtoms desapareixen...
 I: Els àtoms?
 P: Alguns àtoms desapareixen.
 I: Això és una cosa important. Parlem d'això ara? Vinga, va. Que creus que vols dir que hi hagi àtoms que desapareixen?
 P: Doncs... és que no se perquè desapareixen. Fregues, però els àtoms de l'altre llibre segueixen igual i no han desaparegut, però en canvi, el llibre que estàs movent... A veure, estàs movent un llibre, o un tros, i l'altre està quiet, i el llibre que mou són els àtoms que desapareixen.
 I: Si haguessis d'inventar-te una explicació per la qual desapareixen, quina explicació donaries?
 P: Que es cremen tant que desapareixen.
 I: Que és cremen? A vale, com la corda.
 P: Sí, que s'escalfen tant que desapareixen.

P 5: A_PA5.rtf - 5:27 [Que creus que vols dir que hi ..] (36:37) (Super)

Que creus que vols dir que hi hagi àtoms que desapareixen?

P: Doncs... és que no se perquè desapareixen. Fregues, però els àtoms de l'altre llibre segueixen igual i no han desaparegut, però en canvi, el llibre que estàs movent... A veure, estàs movent un llibre, o un tros, i l'altre està quiet, i el llibre que mou són els àtoms que desapareixen.

P 5: A_PA5.rtf - 5:28 [I: I que és que creus que fa q..] (72:85) (Super)

I: I que és que creus que fa que pugui la temperatura?
 P: El fregament...
 I: Però això tu ja ho sabies que quan fregues (les mans) se t'escalfen. Però gràcies al dibuix dels àtoms, pots tenir nova informació? Què és el que li està passant a cada àtom per començar a moure's?
 P: Com que què és el que està passant?
 I: Per exemple, ara estan quietes. Es mouen ara?
 P: Sí, però ells, perquè vibren, perquè els àtoms es mouen.
 I: Tu això ho saps que els àtoms sempre una mica es mouen? Mou-lo una mica més. Que ha passat?
 P: Que ha pujat una mica la temperatura.
 I: Què ha passat a cada àtom?
 P: Que s'ha mogut més ràpid.
 I: Què és el que ha fet que s'hagi mogut més ràpid?
 P: La temperatura.
 I: Torna a moure-ho. S'han mogut una mica més ràpid. Què és el que ha fet que es moguin una mica més ràpid.
 P: No se...

P 6: A_PA6.rtf - 6:12 [I: Apareixen més coses per pan..] (4:7) (Super)

I: Apareixen més coses per pantalla?
 P: Surt que és dos llibres que és com si es frotessin els dos llibres.
 I: I els dos llibres que tenen a veure amb els àtoms que m'has dit abans?
 P: Que són de física i química.

P 6: A_PA6.rtf - 6:13 [I: A part d'àtoms, es veuen al..] (12:17) (Super)

I: A part d'àtoms, es veuen altres coses?
 P: Bueno, es veu això que suposo que són els llibres o...
 I: El què és "això"?
 P: Hi ha una superfície de color, però no sé que és.
 I: No saps que és la superfície de color?
 P: No

P 6: A_PA6.rtf - 6:14 [I: Llavors, quina diferència h..] (32:39) (Super)

I: Llavors, quina diferència hi ha?
 P: Doncs que abans es movien més, i a més, hi ha menys àtoms.
 I: Quina explicació li donaries a que hi hagi menys àtoms?
 P: No se, perquè només hi ha menys de grocs.
 I: I això creus que té algun significat?
 P: Sí, però no se quin.
 I: No saps quin.... Ni idea?
 P: No.

P 6: A_PA6.rtf - 6:15 [I: I amb el fons que em deies ..] (48:53) (Super)

I: I amb el fons que em deies abans?
 P: No, el fons no, no se que és...
 I: I si t'haguessis d'inventar què pot voler dir el fons?
 P: Diria que és on es situen els àtoms, com [no se l'entén]
 I: Anaves a dir una paraula
 P: Si, anava a dir "com la membrana".

P 6: A_PA6.rtf - 6:16 [P: Doncs que [al reiniciar la ..] (55:55) (Super)

P: Doncs que [al reiniciar la simulació] es mouen més, s'han separat els dos fons i baixa la temperatura i mentre baixa la temperatura es mou més lent.

P 6: A_PA6.rtf - 6:17 [I: Explica'm què ha passat. P:..] (58:59) (Super)

I: Explica'm què ha passat.

P: Que als àtoms, alguns s'han anat i s'han aproximat més.

P 6: A_PA6.rtf - 6:18 [P: És que és com si el groc de..] (63:69) (Super)

P: És que és com si el groc de dalt sigui el llibre de dalt i el verd el de baix, i al mig hi hagi uns àtoms que al frotar-se, se'n vagin.

I: Quan dius "aquests àtoms en mig dels dos llibres", me'ls pots senyalar?

P: Aquests, els grocs.

I: I aquests grocs, tu creus que són àtoms del llibre groc o que són àtoms en mig dels dos llibres?

P: En mig.

I: Creus que realment aquests àtoms entre dos llibres hi són?

P: Sí, els àtoms de l'aire, del que hi ha. I al frotar-se se'n van anant, i al final no hi ha tants.

P 6: A_PA6.rtf - 6:19 [I: Això d'aquí, per exemple, c..] (90:95) (Super)

I: Això d'aquí, per exemple, com ho defiries amb paraules?

P: Doncs que cada llibre té uns bonys, però no se que son. Sembla com si els àtoms es possessin allà, el lloc on han d'anar els àtoms.

I: I, per tant, si jo et pregunto què volen dir aquests bonys, la teva resposta seria...

P: Sí, com una espècie de... (dubta) forats, on es situen cada àtom.

I: I per què creus que no hi ha àtoms allà?

P: Perquè.. no se. També s'han anat molts i llavors també alguns anirien allà i com s'han anat, doncs queden [els forats].

P 6: A_PA6.rtf - 6:20 [I: A part d'aquestes superfícies..] (98:109) (Super)

I: A part d'aquestes superfícies verdes i grogues, hi ha més coses?

P: Els àtoms amb el nucli, el termòmetre...

I: El nucli? [em sorprèn perquè no m'espero aquesta resposta]

P: Sí, no?

I: Què és el nucli?

P: Perquè dins de cada àtom hi ha un puntet que m'imagino que serà el nucli.

I: Quin puntet?

P: El puntet rosa.

I: Ah! El puntet rosa? Rosa o blanc...

P: Sí, blanc.

I: Tu creus que això és com el nucli, no?

P: Sí...

P 6: A_PA6.rtf - 6:21 [Però el concepte físic que has..] (128:129) (Super)

Però el concepte físic que has après, quin seria?

P: Que quan augmenta la temperatura, hi ha varis àtoms que se'n van, es desfan.

P 6: A_PA6.rtf - 6:22 [I: Perquè a tu et sonava la id..] (142:145) (Super)

I: Perquè a tu et sonava la idea aquesta que en realitat la temperatura vol dir que les partícules, els àtoms nostres, es mouen més?

P: No. Jo també m'ho imaginava una mica al revés, que quan pujava la temperatura es movien més.

I: Es movien més?

P: Però en veritat és al revés, que quan es mouen més, puja la temperatura.

P13: A_PA7.rtf - 13:11 [I: Digues que és el que veus p..] (4:9) (Super)

I: Digues que és el que veus per pantalla?

P: Doncs són com boles grogues i voles verdes. I un termòmetre. Ara mateix està baixant la temperatura. I diu de fregar els àtoms que són les boles aquestes.

I: Jo m'ho he d'imaginar. Creus que amb la informació aquesta jo ja m'ho puc imaginar tot?

P: No. Els àtoms grocs estan a la part de dalt i els àtoms verds a la part de baix. Estan separats.

I: Més coses?

P: No.

P13: A_PA7.rtf - 13:12 [I: Doncs ara explica'm què creus.] (12:27) (Super)

I: Doncs ara explica'm què creus que aquesta simulació ens està explicant. Què representa? Si tu a l'escola fessis això i et preguntessin "què has après avui?", tu què diries?
(Es queda callat perquè sembla que no està entenent res).

I: Tu entens alguna cosa del que hi ha aquí?
P: (després d'estar una estona callat) No.

I: Fixa't bé en tota la imatge.
P: A vale, sí. (És en aquest moment en que identifica els llibres, ja que és quan comença a mirar cap allà).

I: I quan vulguis, m'expliques. Si vols fregar, frega.
P: Jo crec que és la temperatura que hi ha entre el llibre de física i el llibre de química, i el de física són els àtoms grocs i el de química els verds.

I: Ara m'has parlat dels àtoms "dels llibres" i abans no me n'havies parlat.
P: Sí...

I: Per què abans no me n'havies parlat?
P: Perquè no m'havia fixat que hi havia els llibres.

I: Vale, o sigui que tu només t'havies fixat en... senyala'm en la pantalla el que tu havies vist.
P: (Assenyala) La imatge gran.

I: Vale. I l'altra?
P: I no m'havia fixat en... (assenyala els llibres).

P13: A_PA7.rtf - 13:13 [P: El termòmetre puja de cop c..] (45:47) (Super)

P: El termòmetre puja de cop cap al màxim i uns àtoms del llibre de química s'han anat.
I: I això que s'hagin anat té alguna cosa a veure o és independent? Què deu voler dir que s'hagin anat?
P: (Es queda callat) No se...

P13: A_PA7.rtf - 13:14 [I: Aquesta part perfecte. Ens ..] (56:65) (Super)

I: Aquesta part perfecte. Ens quedaria el dubte de...
P: De perquè els àtoms se'n van.
I: Tu has vist que marxen, oi?
P: Sí.

I: Li dones alguna explicació a que marxin?
P: Mmm...

I: Llavors jo et pregunto, en la vida quotidiana també marxen àtoms. Bé, els àtoms són super-petits i no ens veiem... Però alguna cosa així tu creus que podria passar? Igual com abans amb la temperatura m'has dit "quan fregues les mans s'escalfen", això de què marxin...
P: (Es queda callat)

I: Ni idea, no?
P: No.

P13: A_PA7.rtf - 13:15 [I: Més coseP: Passen més coses..] (68:71) (Super)

I: Més coseP: Passen més coses a part de que alguns àtoms marxin i pugi la temperatura?
P: Puc tornar a fregar?
I: Sí, sí.

P: (Frega i observa) Els àtoms verds es dispersen però quan la temperatura baixa es tornen a posar al seu estat original.

P13: A_PA7.rtf - 13:16 [I: Quan es dispersen -que dius..] (76:80) (Super)

I: Quan es dispersen -que dius tu-?
P: Quan fregues i la temperatura augmenta.
I: Per tant, series capaç de relacionar-ho?
P: Doncs que quan els àtoms estan junts la temperatura és més baixa i quan es dispersen és més alta.
I: Bé, de fet més que dispersar-se aquí el que diem és que vibren.

P13: A_PA7.rtf - 13:17 [P: (Frega i observa) Els àtoms..] (71:71) (Super)

P: (Frega i observa) Els àtoms verds es dispersen però quan la temperatura baixa es tornen a posar al seu estat original.

P13: A_PA7.rtf - 13:18 [I: Torna a fer-ho. Quins àtoms..] (89:98) (Super)

I: Torna a fer-ho. Quins àtoms vibren més? (Li faig aquesta pregunta perquè m'acaba de dir "els verds es dispersen").

P: Els verds.

I: I els grocs?

P: També, però no tant.

I: Quins es mouen més ara?

P: Ara? (En aquest moment els àtoms pràcticament han deixat de fregar).

I: Mou-los molt. Quins es mouen més?

P: Els verds.

I: Vale, tu veus que els verds es mouen més que els grocs.

(Assenteix)

P13: A_PA7.rtf - 13:19 [P: A la part de l'esquerra hi ..] (102:116) (Super)

P: A la part de l'esquerra hi ha dos llibres. Un de física que és groc i un de química que és verd i després hi ha el zoom d'un tros dels dos llibres que són els àtoms grocs i els àtoms verds. I hi ha un termòmetre que indica la temperatura entre els dos llibres.

I: La temperatura que hi ha entre els dos llibres?

P: Bueno...

I: Què vols dir amb "la temperatura que hi ha entre els dos llibres"?

P: Del tros que queda entre els dos llibres.

I: I aquest tros de què està fet?

P: Com que de què està fet?

I: Entre els dos llibres que hi ha?

P: Els àtoms?

I: No se, pregunto. Tu m'has dit que mesura "la temperatura que hi ha ENTRE els dos llibres". Què vols dir amb això? És que no t'estic entenent...

P: (Es queda mirant-s'ho callat)

I: O sigui la temperatura de què? Tu pots dir "la temperatura del cafè", "la temperatura de l'aigua"... aquí és la temperatura de què?

P: Dels àtoms que hi ha entre el tros dels dos llibres.

I: Assenyala'm a quins àtoms et refereixes.

P: (Selecciona tots els àtoms) A aquests.

P13: A_PA7.rtf - 13:20 [I: I a dalt, explica'm el mateix.] (137:145) (Super)

I: I a dalt, explica'm el mateix. ON estarien els àtoms?

P: AL tros blanc.

I: I al tros groc?

P: No, no hi ha àtoms.

I: I perquè creus que no hi ha àtoms?

P: No se...

I: Pot ser més simple del que et penses... Quina és la resposta més simple que se t'acut?

P: Que s'atrauen?

I: Perquè s'atrauen entre ells? Més simple encara, té a veure amb el dibuix. No amb el concepte científic, sinó amb el dibuix simplement.

P13: A_PA7.rtf - 13:21 [Més simple encara, té a veure ..] (145:147) (Super)

Més simple encara, té a veure amb el dibuix. No amb el concepte científic, sinó amb el dibuix simplement.

P: Doncs que el llibre està a sobre i els àtoms estan a baix.

I: Vale, t'ho explico jo: perquè no els han dibuixat tots.

P13: A_PA7.rtf - 13:22 [I: Llavors, a baix, si et fixe..] (123:136) (Super)

I: Llavors, a baix, si et fixes en el llibre de baix en la part del zoom hi ha àtoms. I a part d'àtoms hi ha més coses?

P: Buit.

I: Senyala'm el buit.

P: (Senyala el fons verd) És això, no hi ha àtoms.

I: Què pot voler dir que no hi hagi res aquí?

P: Que no hi ha àtoms, que estan tots agrupats.

I: On estan tots agrupats?

P: Aquí.

I: I als altres llocs què hi hauria si no hi ha àtoms?

P: Res?

I: Buit?

P: Sí, buit.

I: I si és buit perquè creus que està pintat de verd i no de blanc?

P: Perquè forma part del llibre de física.

P13: A_PA7.rtf - 13:23 [Quin concepte creus que estan ..] (150:151) (Super)

I: Quin concepte creus que estan intentant ensenyar?

P: Al fregar els àtoms augmenta la temperatura.

P13: A_PA7.rtf - 13:24 [I: Perfecte. I a més a més, pa..] (152:153) (Super)

I: Perfecte. I a més a més, passa una altra cosa.

P: Sí, que es dispersaven i que vibraven més.

P13: A_PA7.rtf - 13:25 [P: Quan... A mesura que baixa ..] (164:166) (Super)

P: Quan... A mesura que baixa el termòmetre disminueix la vibració dels àtoms. Quan vibren com al començament la temperatura torna a estar com al principi.

I: I baixa tota l'estona igual la temperatura?

P: No, al principi va més ràpida i després cada vegada més lent.

P13: A_PA7.rtf - 13:26 [I: No hem parlat dels bonys aq..] (169:172) (Super)

I: No hem parlat dels bonys aquests que es veuen. Hi ha com uns bonys, què creus que volen dir?

P: Són els àtoms. Aquí hi hauria un àtom, aquí un altre...

I: I perquè no hi és?

P: Perquè només han dibuixat uns quants.

P15: B_PB1.rtf - 15:9 [I: Perquè totes les coses aque..] (21:28) (Super)

I: Perquè totes les coses aquestes que m'has dit de bombeta, bobina, aparell que mesura el voltatge, estan relacionades entre elles?

P: Sí, perquè si no hi ha bobina no es podria encendre la bombeta.

I: Però estan relacionades físicament d'alguna manera, la bombeta i la bobina?

P: Físicament?

I: Si. Hi ha alguna cosa que les relaciona en el dibuix?

P: Cables...

I: Hi ha un cable? I tot aquest cable, te algun sentit tot junt? Com li diries al "pack" cables, bobina, bombeta...

P: Seria com una mena d'interruptor.

P15: B_PB1.rtf - 15:10 [I tot aquest cable, te algun s..] (27:30) (Super)

I tot aquest cable, te algun sentit tot junt? Com li diries al "pack" cables, bobina, bombeta...

P: Seria com una mena d'interruptor.

I: Com una mena d'interruptor?

P: Sí.

P15: B_PB1.rtf - 15:11 [I: Anem a veure què ens està e..] (33:34) (Super)

I: Anem a veure què ens està explicant.

P: Depen on posis el pol positiu o negatiu de l'imant, la bombeta s'il·lumina o no.

P15: B_PB1.rtf - 15:12 [P: Depen on posis el pol posit..] (34:42) (Super)

P: Depen on posis el pol positiu o negatiu de l'imant, la bombeta s'il·lumina o no.

I: Ara mateix on tens el pol... El tens aquí dalt. I la bombeta s'il·lumina o no?

P: No. Si està al mig si que s'il·lumina però si està tocant la bobina no.

I: Vale, diga'm un lloc on s'il·lumina.

P: (Ho prova). Bueno, tiene que tocar.

I: A veure, a veure... Primer m'has dit que havia d'estar al mig, ara que havia de tocar. És una mica més complicat...

P: Bueno, si està en moviment.

I: Ara! Això t'has adonat ara? Abans no t'havies adonat, no?

P: No.

P15: B_PB1.rtf - 15:13 [Quan està en el (bobina) gran ..] (59:59) (Super)

Quan està en el (bobina) gran (l'agulla) es mou més i quan està en la bobina petita es mou menys.

P15: B_PB1.rtf - 15:14 [I: L'agulla. I la agulla que m..] (62:65) (Super)

I: L'agulla. I la agulla que m'has dit sempre es mou positiu?

P: O negatiu...

I: I de què depèn això?

P: Depèn de... (ho prova) de la posició de l'imant.

P15: B_PB1.rtf - 15:15 [P: Depèn de... (ho prova) de l..] (65:71) (Super)

P: Depèn de... (ho prova) de la posició de l'imant.

I: I com està relacionat el positiu / negatiu amb la bombeta. O sigui, per exemple, si surt positiu la bombeta s'il·lumina. I si la fletxa és negativa?

P: No s'il·lumina. (ho prova). S'il·lumina... no se. Quan està en el positiu sí que s'il·lumina però quan està en el negatiu no.

I: O sigui, quan està en negatiu... a veure, prova-ho.

P: En positiu sí, en negatiu també.

I: En negatiu també. O sigui, conclusió?

P: Dona igual si està en positiu o negatiu. La bombeta s'il·lumina igualment.

P15: B_PB1.rtf - 15:16 [I: L'electricitat, per dir-ho ..] (90:91) (Super)

I: L'electricitat, per dir-ho d'alguna manera, on m'estàs dient que es forma?

P: Es forma amb les línies del camp de l'imant quan xoquen amb la bobina.

P16: B_PB2.rtf - 16:11 [P: O sigui quan... Quan passa ..] (49:49) (Super)

P: O sigui quan... Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge que ho controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta.

P16: B_PB2.rtf - 16:12 [I: Per tant això (el voltímetr..) (52:55) (Super)

I: Per tant això (el voltímetre) seria com... com li podríem dir?

P: No se... Controlador o així.

I: I aquest controlador que ens està dient en cada moment?

P: Pues si el voltatge és positiu o negatiu. I quanta electricitat passa.

P16: B_PB2.rtf - 16:13 [I: I series capaç de relaciona..] (70:73) (Super)

I: I series capaç de relacionar aquestes línies amb la resta del dibuix, amb les coses que estan passant?

P: Pues aquestes línies marquen l'energia que té l'imant. Si hi ha molt grans representa que té molta energia. Si té línies molt grans, cada cop més grans, representa que té més energia. I com més energia més voltatge i més llum.

I: No he acabat d'entendre això de que "més gran més energia". Per exemple, aquesta d'aquí és més gran, i aquesta d'aquí més petita.

P: No, o sigui que si fos un imant amb menys potència, hi hauria menys línies, estarien menys concentrades. Com que té més, arriba fins aquí (al final de la pantalla).

P16: B_PB2.rtf - 16:14 [I: Pots dir alguna cosa de les..] (77:78) (Super)

I: Pots dir alguna cosa de les dos bobines? O sigui, que hi hagi dos bobines en comptes d'una?

P: Perquè si hi ha més d'una bobina, si només tens una (bobina) i tens que encendre les dos amb aquesta doncs faràs menys llum. I si tens dos imants doncs faràs més llum.

P16: B_PB2.rtf - 16:15 [P: Aquesta com que és més curt..] (82:88) (Super)

P: Aquesta com que és més curta fa menys llum, i aquesta com que és més llarga fa més llum.

I: Això si jo no t'ho hagués preguntat, tu ho haguessis vist?

(Fa amb el cap que no ho sap)

I: O sigui no ho havies vist, no?

P: No.

I: Però un cop t'ho he dit és fàcil de veure, no?

P: Sí.

P16: B_PB2.rtf - 16:16 [Aquesta com que és més curta f..] (82:82) (Super)

Aquesta com que és més curta fa menys llum, i aquesta com que és més llarga fa més llum.

P16: B_PB2.rtf - 16:17 [I: Per tant, quina conclusió p..] (89:90) (Super)

I: Per tant, quina conclusió podries arribar d'aquí?

P: Que com més llarga és la bobina, més electricitat passa perquè més estona està l'imant passant per dintre la bobina. I si és més curt, no fa tanta llum.

P16: B_PB2.rtf - 16:18 [I: Què més influeix en que s'i..] (94:95) (Super)

I: Què més influeix en que s'il·lumini molt o s'il·lumini poc?

P: La llargada de la bobina.

P16: B_PB2.rtf - 16:19 [I: Què més influeix en que s'i..] (94:111) (Super)

I: Què més influeix en que s'il·lumini molt o s'il·lumini poc?

P: La llargada de la bobina.

I: Sí, ja hem dit "la llargada de la bobina", "la potència de l'imant", alguna cosa més creus que influeix?

P: El voltatge?

I: Com influeix el voltatge?

P: Doncs si hi ha més voltatge més llum, i si hi ha menys voltatge, menys llum.

I: Clar, però el voltatge, d'on prové?

P: De la electricitat que fem al passar l'imant per la bobina.

I: Per tant, sí que es veritat que la llum depèn del voltatge, però perquè estan relacionats. És a dir, si tu passes de manera que hi hagi molta llum també hi haurà molt voltatge. Però quines causes fan que la llum sigui més gran o més petita? Hi ha alguna altra cosa? La potència de l'imant, el nombre d'espines...

Se t'acut alguna cosa més.

(Fa que no amb el cap)

I: Quan tu has passat l'imant per la bobina... (Li dono instruccions) Passa de diferents maneres l'imant per l'interior de la bobina, a veure si sempre passa el mateix.

(Va canviant de polaritat de l'imant, però no de fer-ho més ràpid o més lent).

P: Jo ho veig tot igual.

I: Sempre ho veus igual? Vale. Passa'l molt a poc a poc.

(Ho fa).

P: Fa menys llum.

I: I ara més ràpid. (Ho fa). Podries treure alguna conclusió?

P: Que depèn de com passi l'imant per dintre la bobina, si passa més lent fa menys, i si passa més ràpid...

P16: B_PB2.rtf - 16:20 [I: Amb això que has après avui..] (137:138) (Super)

I: Amb això que has après avui, tu podries resum o frase? Si hagessis d'explicar què has après, tu que diries?

P: Com funciona un circuit elèctric a partir de la bobina, l'imant, la bombeta i el voltatge. . .

P16: B_PB2.rtf - 16:21 [I: El generador equival a algu..] (145:146) (Super)

I: El generador equival a alguna cosa d'aquí?

P: Sí, seria l'imant i la bobina. I l'interruptor seria el voltatge, que va canviant...

P16: B_PB2.rtf - 16:22 [I: Aquest circuit d'aquí és co..] (139:146) (Super)

I: Aquest circuit d'aquí és com els que as estudiat a classe?

P: No.

I: Per què?

P: Perquè els que jo feia hi havia com un generador, una bombeta i un interruptor.

I: I de les tres coses que m'has dit, hi ha una peça que està, no?

P: La bombeta.

I: El generador equival a alguna cosa d'aquí?

P: Sí, seria l'imant i la bobina. I l'interruptor seria el voltatge, que va canviant...

P16: B_PB2.rtf - 16:23 [P: O sigui quan... Quan passa ..] (49:51) (Super)

P: O sigui quan... Quan passa l'imant per les bobines, abans d'anar a la bombeta passa pel voltatge que ho controla per a que no hi hagi massa electricitat i peti la bombeta.

I: Ah, vale. Perfecte.

P: I llavors sí que va a la bombeta.

P17: B_PB5.rtf - 17:9 [P: Crec que és el mateix perqu..] (36:36) (Super)

P: Crec que és el mateix perquè com a la bobina que no poses l'imant, és com un circuit, és com un cable normal i...

P17: B_PB5.rtf - 17:10 [I: I quina és la funció que cr..] (37:38) (Super)

I: I quina és la funció que creus que té posar la segona bobina?

P: No se... bé, si tinguéssim dos imants, suposo que hi hauria més voltatge.

P17: B_PB5.rtf - 17:11 [P: La bobina és més petita i h..] (40:42) (Super)

P: La bobina és més petita i hi ha menys voltatge.

I: Però això no t'haguessis fixat si no t'ho hagués dit?

P: No, perquè... Bueno, m'he fixat que la primera era més petita, però no m'he fixat en el voltatge.

P17: B_PB5.rtf - 17:12 [Com relacionaries el que has v..] (78:81) (Super)

Com relacionaries el que has vist ara de les línies del camp magnètic amb la il·luminació de la bombeta?

P: Com totes estan aquí, acaben al mateix lloc, llavors s'il·lumina això...

I: Acaben, dius?

P: Sí, és el centre l'imant.

P17: B_PB5.rtf - 17:13 [I: Són les línies del camp mag..] (60:61) (Super)

I: Són les línies del camp magnètic, exactament. I que creus que representen aquestes línies?

P: Quan estan a prop de l'imant estan més juntes i llavors hi ha més camp magnètic, i quan estan més lluny doncs n'hi ha menys.

P18: B_PB3.rtf - 18:12 [Pots, pots, si vols més coses...] (8:10) (Super)

Pots, pots, si vols més coses... Quan creguis que ja ho has vist tot, m'avises.

P: (L'imant se li encalla a sota de la bobina inferior). Es que no poc moure-ho bé, es que no puc pujar cap a dalt.

I: Clar, perquè només pots ho ficar-ho per dintre

P18: B_PB3.rtf - 18:13 [P: És una connexió elèctrica o..] (15:15) (Super)

P: És una connexió elèctrica o "algo" així, i hi ha una bombeta, connectada a deuen ser cables i hi ha una bobina i jo tinc un iman.

P18: B_PB3.rtf - 18:14 [P: La... quan ho passo per la ..] (25:25) (Super)

P: La... quan ho passo per la bobina, la bombeta, quan passa el color blau, s'encén, i el vermell, té com poca il·luminació i és com si s'apagués.

P18: B_PB3.rtf - 18:15 [I: Vale. Perquè tu què és el q..] (28:29) (Super)

I: Vale. Perquè tu què és el que veus quan s'encén? O sigui, com saps que s'encén? Que passa.

P: Doncs que augmenta el voltatge i llavors la bombeta s'encén.

P18: B_PB3.rtf - 18:16 [P: I amb el color blau la bomb..] (33:33) (Super)

P: I amb el color blau la bombeta s'encén, però quan passa el vermell no.

P18: B_PB3.rtf - 18:17 [I les línies de camp, però ben..] (39:45) (Super)

I les línies de camp, però ben bé no se que són les línies de camp.

I: No saps que són. Vale. Ho havies vist alguna vegada això?

P: No, les línies de camp no.

I: Mai?

P: No.

I: Vale. I et recorden a alguna altra cosa que hakis vist alguna vegada?

P: (Mig rient) És que em recorda a les línies que surt lo del temps.

P18: B_PB3.rtf - 18:18 [I: Què és això del marcador de..] (61:68) (Super)

I: Què és això del marcador del voltatge?

P: Doncs que t'indica... Primer està al zero i quan jo començo a passar l'imant, quan la bombeta s'encén indica que hi ha més voltatge del que hi havia al principi.

I: Més que zero.

P: Sí, més que zero. I quan passo el vermell el voltatge disminueix.

I: Disminueix vol dir que arriba a zero o que es fa negatiu?

P: No me'n recordo...

I: Però prova-ho, tia, si ho tens aquí! Clar, pots anar provant, tota l'estona, coses.

P: Es fica negatiu de vegades.

P18: B_PB3.rtf - 18:19 [què creus que ens haurien expl..] (73:90) (Super)

què creus que ens haurien explicat en aquesta simulació?

P: La... la conducció de l'electricitat.

I: Vale, desenvolupa-ho!

P: Doncs que, a partir de l'imant, que... o sigui, és com si s'unís amb... O sigui, el circuit no està tancat.

I: No està tancat?

P: No.

I: Per on està obert?

P: Per les bobines.

I: Vale

P: I a la que jo hi connectés l'imant.

I: El circuit vols dir que falta o sigui que no està tancat...

P: Si, que no està acabat de tancar del tot, i quan jo hi connecto l'imant si que per una part, perquè al haver-hi les dues bobines per una bobina si que està tancat.

I: Vale.

P: I llavors és com si jo comencés a passar l'electricitat.
 I: Vale. O sigui l'electricitat abans no passava...
 P: No, així sol així sense estar connectat no. No hi ha electricitat ni res.
 I: No hi ha electricitat. En canvi quan passes l'imant hi ha electricitat.
 P: Si que hi ha.

P18: B_PB3.rtf - 18:20 [P: I a la que jo hi connectés ..] (82:84) (Super)

P: I a la que jo hi connectés l'imant.
 I: El circuit vols dir que falta o sigui que no està tancat...
 P: Sí, que no està acabat de tancar del tot, i quan jo hi connecto l'imant si que per una part, perquè al haver-hi les dues bobines per una bobina si que està tancat.

P18: B_PB3.rtf - 18:21 [Tu dius que si fiques l'imant ..] (103:110) (Super)

Tu dius que si fiques l'imant a la bobina, quanta estona es manté encesa la bombeta?
 P: Infinit, no? Fins que jo no el trec?
 I: Si? Mira-ho.
 P: No ho se... Ah! No. Dura com una estona, però pocs segons.
 I: Per tant, intenta mirar bé exactament quan la bombeta està encesa. O sigui, què ha de passar per a que la bombeta estigui encesa?
 P: (Ho mira detingudament) Ha de passar la part blava de l'imant. Però ja... es que no...
 I: Si no trobes cap lògica digues-m'ho. Digues... jo que sé! No tinc ni idea. No passa res, ho pots dir.
 P: No se... jo, quan passo l'imant, quan passa la part blava s'engega però després s'apaga. Però si la deixo una estona dura com uns segons només la part blava, i ja està.

P18: B_PB3.rtf - 18:22 [què ha de passar per a que la ..] (107:108) (Super)

què ha de passar per a que la bombeta estigui encesa?
 P: (Ho mira detingudament) Ha de passar la part blava de l'imant. Però ja... es que no...

P18: B_PB3.rtf - 18:23 [P: No se... jo, quan passo l'i..] (110:110) (Super)

P: No se... jo, quan passo l'imant, quan passa la part blava s'engega però després s'apaga. Però si la deixo una estona dura com uns segons només la part blava, i ja està.

P18: B_PB3.rtf - 18:24 [Que ens diu de nou aquesta seg..] (117:118) (Super)

Que ens diu de nou aquesta segona bobina? Quina informació extra ens dóna?
 P: O que en el circuit se li podrien afegir més bombetes o dos imans o com reduir el voltatge, saps?

P18: B_PB3.rtf - 18:25 [I: La primera vols dir... La q..] (121:128) (Super)

I: La primera vols dir... La que té més espiras o la que té menys espiras.
 P: La que té menys espiras, que no pas amb la segona.
 I: I creus que això pot voler dir alguna cosa?
 P: Que una deu donar més energia.
 I: Quina?
 P: La que té més espiras.
 I: Per tant, se t'acudiria alguna conclusió així... Relacionant el nombre d'espiras amb la il·luminació?
 P: Que amb més espiras tingui la bobina més il·luminació dóna la bombeta.

P: Espera... Em sembla que es canvien els colors... No, no, espera. Que amb el vermell també hi ha electricitat. Sí, amb el vermell també... I amb l'altre no. L'altre quan li passa el vermell no fa res.

I: Per tant quin és el canvi?

P: (Silenci)

I: O sigui, com acabaries la frase: Si gires l'imant...

P: Si gires l'imant la part blava de l'imant només funciona quan... o sigui, la part blava de l'imant quan el gires només dona il·luminació i quan està cap amunt, les dos.

P18: B_PB3.rtf - 18:27 [P: A veure, pel pol és per on ..] (167:168) (Super)

P: A veure, pel pol és per on es connecta, per on passa l'electricitat. O sigui que a lo millor aquí, en els pols deu haver-hi més que no pas al centre. És on no hi ha... on no té contacte.
Vale. Perfecte. Molt bé, genial!

P18: B_PB3.rtf - 18:28 [P: La conducció de l'electrici..] (182:186) (Super)

P: La conducció de l'electricitat feta per un iman.
I: Per tant, "un iman fa que es condueixi l'electricitat"
P: Sí...
I: ... quan...
P: ... quan el connectes a una bobina.

P18: B_PB3.rtf - 18:29 [Que fas amb la bobina o l'iman..] (208:209) (Super)

Que fas amb la bobina o l'iman?
P: Aprofites aquella energia i quan connectes l'iman a la bobina aquella energia es transforma en electricitat.

P19: B_PB4.rtf - 19:12 [P: Dificil... Bueno, doncs... ..] (5:5) (Super)

P: Dificil... Bueno, doncs... surt un iman i hi ha una petita màquina que detecta el voltatge de l'iman. I el pots acostar o el pots allunyar a una bobina que està connectada a una bombeta, i depèn de com estigui apropiada i tot, de....

P19: B_PB4.rtf - 19:13 [P: Ah... Pues depende de la ce..] (7:7) (Super)

P: Ah... Pues depende de la cercanía que esté a la bobina pues la bobina se enciende, se apaga, tiene más luz o menos.

P19: B_PB4.rtf - 19:14 [Es poden veure més coses? P: L..] (12:17) (Super)

Es poden veure més coses?
P: La bombeta, les bobines, la màquina aquesta que he dit del voltatge, i lo que estan unides les bombetes i les bobines.
I: Què és això que dius "lo" que estan unides?
P: Les bobines. Estan unides amb la bombeta...
I: Mitjançant què?
P: Cables.

P19: B_PB4.rtf - 19:15 [P: Depenent de... Dependiendo ..] (45:45) (Super)

P: Depenent de... Dependiendo de la cercania, a bueno así no... dependiendo de la posición del iman, el campo magnético es uno o es otro.

P19: B_PB4.rtf - 19:16 [P: Dependiendo de la bobina. E..] (47:47) (Super)

P: Dependiendo de la bobina. Entonces.... Cada bobina está en un campo, porque las dos estan en posiciones diferentes. Entonces dependiendo de que campo esté la bobina, la bombilla varia la luz o no se enciende.

P19: B_PB4.rtf - 19:17 [surt un iman i hi ha una peti..] (5:5) (Super)

P : Surt un iman i hi ha una petita màquina que detecta el voltatge de l'iman

P19: B_PB4.rtf - 19:18 [I: I aquí s'encén? P: No. Ah! ..] (58:61) (Super)

I: I aquí s'encén?
P: No. Ah! Ahora se mueve un poquito pero... No lo se.
I: Quan s'encèn? Què ha de passar per a que s'encengui?

P: Que estiguin totes les línies en el mateix camp.

P19: B_PB4.rtf - 19:19 [P: Vale. Osea, que lo acerco y..] (75:77) (Super)

P: Vale. Osea, que lo acerco y se enciende al momento pero se apaga al momento.

I: Vale. Però això poster vol dir alguna cosa...

P: Ai! Mira... si lo muevo más se enciende. Pero... Ah! Porque quizás es por el rozamiento.

P19: B_PB4.rtf - 19:20 [I: Si, no? Però ara per exempl..] (106:109) (Super)

I: Si, no? Però ara per exemple la bombeta està apagada.

P: Clar, però és quan està en moviment.

I: Per tant, ara si que em podries dir un titular?

P: Que quan l'imant està en moviment, i passa per dintre de la bobina, s'encen la bombeta.

P19: B_PB4.rtf - 19:21 [I: Aha. I pot ser positiu, neg..] (140:145) (Super)

I: Aha. I pot ser positiu, negatiu... ho has vist?

P: Sí.

I: Per què tu creus que pot ser positiu o negatiu? Que vol voler dir?

P: Pot ser la part de l'imant. Nord i sud, una que sigui positiva i l'altre negativa.

I: A veure, prova-ho.

P: Aquesta força és positiva. I si girem l'imant... La fletxa... Bueno, ahí ha cambiado, pero normalmente va cap a aquest costat.

P19: B_PB4.rtf - 19:22 [I: Té alguna cosa veure el que..] (148:153) (Super)

I: Té alguna cosa veure el que estigui passant amb la màquina, que de fet es diu sensor de voltatge, o voltímetre, o tester... té molts noms, és igual. Té alguna cosa a veure amb la bombeta?

P: Sí. És que clar, la força de l'imant depèn del pol en el que estigui, doncs potser és més forta o més fluixa.

I: No, però jo et pregunto: L'agulla amb la bombeta.

P: Ah! No, l'agulla i la bombeta no crec que tingui molt. Perquè això només et mostra la força que fa el imant sobre la bobina, que fa que després la bombeta s'encengui o no, però l'agulla no.

I: Però no té res a veure?

P: Bueno, és la força de l'imant, però amb la bombeta no.

P19: B_PB4.rtf - 19:23 [I: Vale. Em... Em sabries dir..] (84:89) (Super)

I: Vale. Em... Em sabries dir alguna frase així de "conclusión", d'això d'aquí?

P: De conclusión?

I: Bueno, de fet hi ha una cosa que has dit. Diu P: Si ho deixo quiet...

P: No s'encen.

I: Per tant, com acabaries la frase?

P: Pos que si l'imant es mou, la bombeta s'encen.

P25: B_PB6.rtf - 25:10 [I: I quan hi ha un imant que p..] (24:29) (Super)

I: I quan hi ha un imant que passa?

P: Doncs que al entrar en contacte amb una bobina hi ha com un petit xocs amb electrons o algo i genera electricitat.

I: Però ara mateix la bombeta està apagada...

P: Però quan la fico més cap a dintre s'encén, saps?

I: Però que ha de passar per que s'encengui la bombeta?

P: Que l'imant entri en contacte amb la bobina però no una mica, sinó molt, saps? No se, és que això és el que no se encara.

P25: B_PB6.rtf - 25:11 [I: Per tant, te a veure amb el..] (50:55) (Super)

I: Per tant, te a veure amb els pols. I això ho pots relacionar amb aquelles línies i aquelles fletxes?
 P: Això no se si és el camí que fan els electrons...
 I: Això?
 P: Sí perquè... No se... tenen diferents direccions depenent de...
 I: Diferentes direccions? Sí, aquestes van cap aquí i aquestes cap aquí... En tot cas, tu això ho relacionaries amb els electrons?
 P: Amb el moviment de l'electricitat.

P25: B_PB6.rtf - 25:12 [I: Vale, hi ha com tres coses ..] (64:71) (Super)

I: Vale, hi ha com tres coses connectades en el circuit. Però en el circuit, quan la bombeta s'està encenent, què està passant?
 P: Em sembla que ja ho entenc.
 I: Vinga.
 P: Perquè el circuit elèctric no està tancat, saps? Aleshores, quan fiques l'imant el tanques completament i aleshores
 I: A tu et sona alguna cosa de circuit obert / circuit tancat i aleshores suposes que
 P: Per aquí està obert i quan passes ... permetes passar l'electricitat.
 I: D'alguna manera, quan acostes un imant, què li passa al circuit?
 P: Que es tanca i aleshores permet el pas d'electricitat.

P25: B_PB6.rtf - 25:13 [Però si fico l'imant hi ha un ..] (78:78) (Super)

Però si fico l'imant hi ha un moment que tanco el circuit i aleshores pugen els electrons per encendre la bombeta. I segons on la fiqui, on s'encén més la bombeta hi ha més voltatge.

P25: B_PB6.rtf - 25:14 [I: Per tant, si m'haguessis de..] (87:94) (Super)

I: Per tant, si m'haguessis de dir què has après amb aquesta simulació?
 P: Doncs he repassat el circuit elèctric i he après què és un circuit tancat, i que el circuit estava obert i que l'havia de tancar per a que pogués funcionar la bombeta.
 I: Però per funcionar la bombeta què ha d'haver-hi?
 P: Algun element que tanqui el circuit.
 I: I en aquest cas, quin és aquest element?
 P: L'imant.
 I: I on està el generador aquell famós que dèiem abans?
 P: Ahí me he liao...

P25: B_PB6.rtf - 25:15 [I: Pots veure més coses? P: I ..] (12:17) (Super)

I: Pots veure més coses?
 P: I això que són les ones, no? És la intensitat de l'imant, per on transmet les senyals elèctriques. Per on van.
 I: Ho havies vist alguna vegada això d'aquí?
 P: No. L'esquema elèctric sí però això (les línies de camp) no.
 I: Li posaries algun nom a aquesta cosa?
 P: El camp d'expansió, o alguna cosa així.

P27: B_PB7.rtf - 27:9 [I: Per tant, quina conclusió p..] (14:15) (Super)

I: Per tant, quina conclusió pots treure de la bombeta?
 P: Que la bombeta s'encén quan l'imant entra i surt, no?

P27: B_PB7.rtf - 27:10 [I: T'atreveixes a explicar-me ..] (8:9) (Super)

I: T'atreveixes a explicar-me què representa això?
 P: (Només va ficant i traient mig imant per la bobina, no ho travessa). Que al apropar l'imant a l'espiral la bombeta s'encén i a mesura que ho treus... Ho fiques... Al posar-ho la bombeta s'encén només una estona i al treure-ho un altre cop igual. Al entrar és positiu i al sortir és negatiu.

P27: B_PB7.rtf - 27:11 [I: Per començar, aquesta espiral.] (26:35) (Super)

I: Per començar, aquesta espiral té algun nom?

P: Una bobina.

I: I de què et sona aquest nom?

P: De que sigui un electroimant això tot junt?

I: Explica, explica.

P: Bueno... Es que no se....

I: Això d'electroimant...

P: Ho hem fet una mica només...

I: Et sona?

P: Sí, em sona.

P27: B_PB7.rtf - 27:12 [I: Per tant, tu què creus que ..] (44:53) (Super)

I: Per tant, tu què creus que està passant aquí?

P: Que l'imant fa que giri la bobina i que s'encengui la bombeta.

I: Cap a on gira la bobina?

P: Depèn, si és nord cap a la dreta i si és sud cap a l'esquerra.

I: A veure com gira?

P: (Ho prova). No gira.

I: Jo havia entès que tu m'havies dit que gira la bobina.

P: Sí, però aquí no gira.

I: I no gira? És que no t'estic entenent. Tu m'has dit que... Ens hem fet un lio, no?

P: (Riem els dos) Sí, sí.

P27: B_PB7.rtf - 27:13 [I: Vale... I si és per fora ta..] (65:68) (Super)

I: Vale... I si és per fora també?

P: Com "per fora"?

I: Mou l'imant per fora de la bobina.

P: (Ho fa i la bombeta s'encen molt poquet) No, ha d'estar tocant a la bobina.

P27: B_PB7.rtf - 27:14 [I: Mou-lo fora. Mou-lo per aqua..] (71:80) (Super)

I: Mou-lo fora. Mou-lo per aquí.

P: Només es mou el voltímetre. Lo del voltatge.

I: Fixa't bé en la bombeta.

P: S'encén una mica.

I: Ah! Això t'havies fixat?

P: No.

I: Perquè suposo que és molt...

P: S'encén molt poc.

I: Quan és poquet és més fàcil de veure el voltímetre segurament.

P: Sí.

P27: B_PB7.rtf - 27:15 [I: Què passa ara? Fes coses. Q..] (96:105) (Super)

I: Què passa ara? Fes coses. Què pots dir.

P: Que dona igual la bobina per la que passi l'imant. S'encén igual la bombeta.

I: S'encén igual? Fixa't bé!

P: Bé, s'encén més per la que té més espirals.

I: Però això ho has dit ara. Però quan fa 15 segons m'has dit que s'encén igual...

P: Doncs que s'encén, no amb la intensitat, sinó que s'encén. Dóna igual la bobina, però amb la que té més espirals té més intensitat.

I: Però això ho havies vist des del principi?

P: No.

I: Això ho has vist ara?

P: Sí.

P27: B_PB7.rtf - 27:16 [I: I ho relacionaries d'alguna..] (123:133) (Super)

I: I ho relacionaries d'alguna manera amb tot el que hem dit fins ara, de la bombeta si s'encén més o si s'encén menys?

P: Com, amb les línies?

I: Sí. Aquestes línies t'ajuden a explicar alguna cosa de si s'encén més o si s'encén menys?

P: Quan passa per el camp magnètic més petit és quan s'encén més.

I: Què vols dir amb "el camp magnètic més petit"?

P: Quan passa per aquí (per la línia de camp més pròxima a l'imant) és quan s'encén, pels altres no.

I: Però quan has dit el camp magnètic més petit a que et referies?

P: Quan passa per aquest tros, s'encén més crec... (Ho prova durant una estona però no ho veu clar). No se...

I: Les línies aquestes t'ajuden o et dificulten a entendre-ho?

P: Em dificulten.

I: Doncs treu-les.

ANNEX 7. Intervencions d'estudiants al REVIR

Inclou el recull dels comentaris fets per estudiants i obtinguts en la fase final de recollida de dades.

Participant PA8. Comentari 29:01.

P: O sea, se van si se evaporan, pero solo juntándolos así no se evaporan... I mira, se mueve el libro, no me había dado cuenta. ...

Participant PA8. Comentari 29:02.

P: Marxen els de dalt perquè és amb el llibre que fregues. L'altre [llibre] està quiet.

Participant PA8. Comentari 29:03.

P: Si, [la temperatura] es manté i després baixa, si, va baixant, i els àtoms...

Participant PA9. Comentari 29:04.

P: Pero es que se van, pero no entiendo porque se van...

Participant PA9. Comentari 29:05.

P: Doncs que quan puja la temperatura, es trenca, com era, les forces d'atracció, i per això estan més separats perquè s'estan derretint... no llega pero...

Participant PA10. Comentari 29:06.

P: Los libros son diferentes, solo se rompen los átomos de arriba.

Participant PA11. Comentari 29:07.

P: Quan hi ha molt fregament es separa i és líquid.

Participant PA12. Comentari 29:08.

P: Però hi ha una cosa que no entenc. Com pot ser que hi hagi un espai en mig si els llibres es toquen?

Participant PAB8. Comentari 30:01

P: Ah, ja ho entenc, per fer electricitat, això [l'imant], ha d'anar per aquí, en forma de cercle.

Participant PAB9. Comentari 30:02

I: I això que és?

P: Les línies de camp és per on passa el corrent elèctric.

Participant PAB10. Comentari 30:03

I: Així, quina és la relació entre el que has vist abans i les línies de camp? [Anteriorment havien fet l'experiment real de moure un imant entorn d'una bobina connectada a un sensor de voltatge].

P: Que per a que s'encengui la bombeta ha d'estar dins del camp magnètic.

I: El què ha d'estar "dins del camp magnètic"?

P: La bombeta.

I: Voldràs dir la bobina?

P: No, la bombeta.

I: A veure, no t'entenc.

P: La bombeta aquesta ha d'estar a dins del camp magnètic.

I: [Aleshores vaig interpretar que s'estava referint a les línies de camp amb el nom "el camp magnètic"] Ah, dins les línies de camp! Dins d'alguna línia de camp en concret?

P: No, de qualsevol.

I: I què passa quan està aquí on dius?

P: No se, és al passar, que s'il·lumina.

Participant PAB11. Comentari 30:04

P: L'imant, quan toca la bobina, fa que s'encengui la bombeta perquè li dona energia que pot ser positiva o negativa.

I: Prova de passar-la sense que toqui. Què passa?

P: Que s'il·lumina igual.

I: Per tant...

P: No cal que toqui.