



Universidade de Santiago de Compostela
Facultade de Ciencias da Educación
Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais

MODELIZACIÓN Y ARGUMENTACIÓN EN ACTIVIDADES PRÁCTICAS DE GEOLOGÍA EN SECUNDARIA

TESIS de DOCTORADO

Autora: **Paloma Blanco Anaya**

Director: **Dr. Joaquín Díaz de Bustamante**

Programa de Doutoramento de Didáctica das Ciencias Experimentais e da
Matemática

Santiago de Compostela, Enero 2015





Universidade de Santiago de Compostela Facultade de Ciencias da Educación
Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais

El doctor Joaquín Díaz de Bustamante, profesor titular de Didáctica das Ciencias Experimentais de la Universidade de Santiago de Compostela

HACE CONSTAR:

Que el trabajo de investigación que se recoge en la memoria titulada:

Modelización y argumentación en actividades prácticas de geología en secundaria, desarrollado dentro de los proyectos del Ministerio de Educación, Ciencia e Innovación: El desarrollo de las competencias científicas: progresión de los componentes de la práctica y del metacognoscimiento (código EDU2009-13890-C02-01) y del Ministerio de Economía y Competitividad: progresiones de aprendizaje en las competencias y prácticas científicas: contextualización de modelos, uso de pruebas e indagación científica (código EDU2012-38022-C02-01),

Fue realizado bajo mi dirección por la licenciada Paloma Blanco Anaya en el Departamento de Didáctica das Ciencias Experimentais de la Universidade de Santiago de Compostela,

AUTORIZA su presentación como Tesis de Doctorado para la obtención del grado de doctora y poder optar a la mención europea por parte de la interesada

Santiago de Compostela, Enero 2015

Asdo Autora:

Asdo Director:

Paloma Blanco Anaya

Joaquín Díaz de Bustamante



AGRADECIMIENTOS

A mi director, Joaquín Díaz de Bustamante, por saber ser director y compañero, darme ánimos cuando los necesitaba y sabios consejos que me permitieron llevar este trabajo a su fin. Si bien es cierto que la vida del doctorando es dura, el haber realizado este trabajo con él ha roto mis ideas previas acerca de las complicadas relaciones entre doctorandos y directores, pues puedo decir que he aprendido, disfrutando durante el proceso gracias al respeto mutuo y a la empatía que hemos mantenido durante estos años, que estoy segura que tendré siempre como ejemplo para mi profesión.

A Marilar, por haberme dado la oportunidad de iniciarme en mi carrera como investigadora en el proyecto europeo “KidsINNscience (KIS): turning kids on to science” financiado por el séptimo programa marco, código SIS-CT-2010-244265, y en el proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad “Progresiones de aprendizaje en las competencias y prácticas científicas: contextualización de modelos, uso de pruebas e indagación científica” (código EDU2012-38022-C02-01).

A mis compañeras, Blanca, Bea Crujeiras y Bea Bravo, siempre dispuestas a echarme una mano y demostrar que sí se puede trabajar en grupo. A Isabel García-Rodeja por sus conversaciones en contextos distendidos. Así como a los demás compañeros del departamento que de un modo u otro fueron de gran apoyo en este proceso.

A Rosaría Justí, con quien tuve la oportunidad de discutir los resultados en varias ocasiones y poder mejorarlos, así como aprender en el proceso.

A los profesores y profesoras, que por motivos de privacidad mantengo en el anonimato, los cuales me han abierto sus aulas para que realizase en ellas mi investigación. Sin su buena predisposición y ayuda en la elaboración de las tareas esta tesis no tendría los mismos resultados. Para una futura profesora es todo un

lujo llegar a un instituto y que te reciban con los brazos abiertos dispuestos a ayudarte en lo necesario, cuando lo que más te interesa es aprender de su práctica docente y saber cómo mejorar aquello a lo que te dedicas, la investigación educativa. También es de agradecer la actitud de los estudiantes, participantes de este estudio, primero por aceptar ser objeto de estudio, y segundo por prestar atención y empeño en la resolución de las actividades propuestas.

A mis padres, quienes con sus variadas discusiones en la sobremesa sobre educación y las tardes jugando en la escuela unitaria han hecho suficiente mella como para que quiera mantener el oficio familiar, dedicarme a la educación; también a mi hermana, pues su apoyo ha sido importante en la realización de la tesis. Junto a ellos a Cortés, por saber ser paciente ante mis cambios de humor y entender los sacrificios que requiere un trabajo de este tipo.

“Progresamos si administramos dos saberes: ciencia y creencia, y entendemos la educación como crecer en el saber” (Gonzalo Anaya)



INDICE

SUMMARY	11
I FUNDAMENTACIÓN.....	21
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	23
1.1 Antecedentes del estudio.....	23
1.2 Objetivos, preguntas de investigación y relevancia del estudio.....	26
1.3 Organización de la tesis	28
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	31
2.1 Introducción	31
2.2 La competencia científica	32
2.3 Explicación de fenómenos de forma científica y modelización.....	40
2.4 Uso de pruebas y argumentación	52
2.5 La articulación de la modelización y de la argumentación	64
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....	71
3.1 Introducción	71
3.2 Investigación cualitativa y estudio de caso	72
3.3 Análisis del discurso	74
3.4 Contexto, participantes y toma de datos	76
3.5 Análisis de los datos.....	79
3.5.1 Análisis del proceso de modelización.....	82
3.5.2 Análisis de la argumentación	85
3.5.3 Niveles de desempeño de la competencia científica.....	88
3.5.4 Análisis de la modelización y la argumentación.....	94
CAPÍTULO 4. DISEÑO DE LAS UNIDADES DIDÁCTICAS.....	97
4.1 Introducción	97
4.2 La transposición didáctica.....	97
4.3 Dificultades de aprendizaje de la geología.....	99
4.4 Diseño de unidades didácticas	102
4.4.1 Secuencia de actividades para 4º de ESO	104
4.4.2 Secuencia de actividades para 1º de Bachillerato	113

II RESULTADOS	125
CAPÍTULO 5. EL DESEMPEÑO DE LA DIMENSIÓN DE “EXPLICACIÓN DE FENÓMENOS DE FORMA CIENTÍFICA” Y LA MODELIZACIÓN	129
5.1 Introducción.....	129
5.2 El proceso de modelización por el que los estudiantes elaboran y emplean los modelos para generar las explicaciones.	131
5.2.1. El proceso de modelización en la actividad “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?” (4º ESO).....	131
5.2.2. El proceso de modelización en la actividad “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes” (1º Bachillerato).....	146
5.3 La “explicación de fenómenos de forma científica” por los estudiantes...	167
5.3.1. Niveles de desempeño en 4º ESO de la “explicación de fenómenos de forma científica”.....	167
5.3.2. Niveles de desempeño en 1º Bachillerato de la “explicación de fenómenos de forma científica”.....	175
5.4 Discusión y conclusiones parciales sobre la modelización y la explicación de fenómenos.	179
CAPÍTULO 6. EL DESEMPEÑO DE LA DIMENSIÓN “USO DE PRUEBAS” Y LA ARGUMENTACIÓN	185
6.1 Introducción.....	185
6.2 El proceso mediante el cual los estudiantes elaboran y evalúan los argumentos.	188
6.2.1 El proceso de argumentación durante la actividad “Las icnitas de Soria” en 4º de ESO.....	188
6.2.2 La transformación del dato en una prueba durante la resolución de “¿Quiénes fueron los protagonistas?” en 4º ESO.	210
6.2.3 La transformación las pruebas en datos: primera parte de la actividad “Historieta de icnitas” en 1º bachillerato.	217
6.2.4 El proceso de argumentación: segunda parte de la actividad “Historieta de icnitas” en 1º bachillerato.....	228
6.3 El “uso de pruebas” desempeñado por los estudiantes.....	243
6.3.1. Niveles de desempeño en 4º de ESO del “uso de pruebas”.....	243
6.3.2. Niveles de desempeño en 1º de bachillerato del “uso de pruebas” ...	247

6.4 Discusión y conclusiones parciales sobre la argumentación y el uso de pruebas.....	250
CAPÍTULO 7. LA ARTICULACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MODELIZACIÓN Y ARGUMENTACIÓN	259
7.1 Introducción	259
7.2 La integración de modelos en las justificaciones para generar una explicación	262
7.3 La contribución del proceso de argumentación a la modelización	270
7.4 Discusión y conclusiones parciales.....	280
III CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS.....	285
CHAPTER 8. CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS	287
8.1. Introduction.....	287
8.2. Conclusions.....	288
8.3. Educational implications.....	299
8.4. Final considerations	303
8.4.1. Limitations of the thesis.....	303
8.4.2. Future lines of research.....	304
IV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	307
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	309
ANEXOS	331
Anexo I.....	331
Anexo II	332



SUMMARY

The aim of this thesis is to analyse the modelling and argumentation processes developed by students and their achievement on the scientific competence, during the geology problems resolution. In order to do that, three objectives and their related research questions (RQ) have been established:

Objective 1: *To characterize the modelling process used by students and their achievement for the dimension of “explaining phenomena scientifically”.*

1° RQ: How do students develop and use models to generate the explanations required for each problem?

2° RQ: What levels of achievement for the dimension “explaining phenomena scientifically” students have attained?

Objective 2: *To characterize the argumentation process performed by students and their achievement for the dimension of “use of evidence”.*

3° RQ: How do students relate data and evidence on the arguments?

4° RQ: What levels of achievement for the dimension “use of evidence” students have attained?

Objective 3: *To examine how modelling and argumentation practices contribute to each other.*

5° RQ: Which models students use on their justifications to generate an explanation?

6° RQ: How does argumentation process contribute to the model change in students?

Theoretical framework

The framework is grounded on three bodies of knowledge: 1) modelling processes and explanation of scientific phenomena, 2) argumentation and use of evidence in science education, and 3) the relationship between modelling and argumentation.

Related to modelling, we have taken into account previous studies about the nature of models (Johnson-Laird, 1983; Nersessian, 1999; Giere, 1988), the modelling process (Clement, 1989; Justi & Gilbert, 2002) through which models are developed and evaluated, and how this influences in learning (Megalakaki & Tiberghien, 2011; García-Rodeja Gayoso & Lima de Oliveira, 2012).

Regarding argumentation, we consider interesting previous research carried out in this field which concerns the transformation data into evidence (Koslowski et al, 2008; Kerlin et al, 2010), about what counts as evidence in the justifications (Duschl & Ellenbogen, 2009) and the process of argumentation itself (Kelly & Takao, 2002; Jiménez Aleixandre, 2010), which not only takes into account the final argument but also counterarguments and rebuttals (Kuhn, 1991, 2005), which is related to the quality of argumentation (Erduran et al, 2004).

Finally, in order to understand how both practices, modelling and argumentation are articulated, recent studies are useful, especially those about how models influence the process of argumentation (McNeill & Krajcik, 2012; Mendonça & Justi, 2013), as well as how argumentation contributes to modelling (Böttcher & Meisert, 2011; Mendonça & Justi, 2014). The idea of analyzing how modelling articulates with the argument arises from the concern to analyze both aspects simultaneously as occur in practice.

Methodology, educational context and teaching sequence

The methodology is qualitative and is framed in the multiple-case study (Yin, 2003). Moreover, it is also framed in discourse analysis, drawing from Gee's (2005) work about the characterization of the classroom discourse.

The participants are 105 secondary school students and 4 teachers of Biology and Geology in three Galician secondary schools. The name of schools, teachers and students is replaced by pseudonyms. Data collected included audio and video, which is completed with the researcher field notes and students' written responses.

Data analysis was made through different methods depending on the research objective. To examine the modelling process developed by students the model of modelling diagram proposed by Justi and Gilbert (2002) was adapted to the modelling in groups and the task requirements. In the case of argumentation Toulmin's argument pattern (1958) was adapted to comprise subarguments considering the study of Kelly, Druker and Chen (1998). Analysis of the performance of students for the dimensions of scientific literacy "explaining phenomena scientifically" and "use of evidence" took into account the levels established by PISA 2006 (OECD, 2008), elaborating a rubric for each dimension in interaction with the data. Finally, to examine the mutual contribution between argumentation and modelling, Böttcher and Meisert's (2011) scheme for evaluating models in the process of argument was considered.

The design of the teaching sequence is based on the didactic transposition (Verret, 1975; Chevallard, 1991). Two didactic units are developed, one for 10th grade (4^o ESO) and another for 11th grade (1^o bachillerato), taking into consideration: 1) scientific practices that we want students to develop, that is, modelling and argumentation, and 2) the content knowledge, that is, scientific understanding of the stratigraphy and paleontology, appropriate to the content that is established by the curriculum in Galicia.

Results

The performance of the dimension "explaining phenomena scientifically" and the modelling processes

The first research question is: *How do students develop and use models to generate the explanations required for each problem?*, the analysis of the modelling process was analysed for each group. It has been shown the difficulty of analysing whether students move in a 'consensual group model' or 'have adopted the model expressed by a partner'. Mendonça and Justi (2011) provide one answer to this dilemma that we face, who indicate that the models specified by each member are merged in the 'consensual group model', but sometimes this model is very close to the model of one of the members.

In general, the steps involved in the modelling process were developed by groups although in both educational levels, the biggest lack was found at the time of 'convincing peers by specific reasoning', in order to carry out one or the other material planning model. The majority of students showed consistent with the proposals of their peers, which may be due to: 1) to have the same view of the problem or 2) perhaps for some members seeking explanation is quite complicated, preferring to adopt the proposals of their peers, which is a typical attitude of "school culture" (Jiménez-Aleixandre, Díaz de Bustamante & Duschl, 1998).

In the 11th grade, the most important step has been to 'interpret the information provided', in which students presented certain difficulties to apply stratigraphic principles, especially the lateral continuity principle. Although this stage submits certain difficulties, most students were able to understand the meaning of stratigraphic columns, applying the principle of superposition of strata and lateral continuity. The last stage of the modelling process was to assess their material models, when they showed a complacent attitude towards the faults of their model. Therefore, more emphasis should be put into these aspects in order to contribute to the acquisition of a critical attitude, which is part of the scientific competence.

Regarding the second research question: *What levels of achievement for the dimension "explaining phenomena scientifically" students have attained?*, the activities require the level 5 as maximum level of performance considering the items indicated by PISA. For 10th grade, the groups, which have developed the model dedicating enough time to exchange ideas, have been those who attained a higher level of performance. Such as group N, in which the students have questioned every proposal until found a model that satisfies every mental model. While for 11th grade, the best performance of this capacity has been conditioned by applying stratigraphic principles in the stage of 'interpreting the information provided.' The more principles applied the greater their performance was as

students for the group J, whose members dedicated more time on the cognitive part than manipulative one.

Finally, regarding the dimension "explaining phenomena scientifically" it is shown that the higher level of 10th grade corresponds to the lowest level of performance in 11th grade. That gives us an idea of the growing of complexity between tasks. A good example of this relationship between the two activities is given by the group A (11th grade) whose members, instead of representing the sedimentary basin of As Pontes, seem to be solving the activity design for 10th grade, which consisted on depositing materials in a general sedimentary basin.

The performance of the dimension "use of evidence" and argumentation

In response to the third research question, *How do students relate data and evidence on the arguments?*, in a general way, students have related visual data, that is, representations of footprints, with evidence during argumentation.

First, the interpretation of footprints sequences, in both educational levels, has been properly as the main sections of these sequences were identified, which indicates that they drew the most relevant data of these information. The division of the sequences showed greater simplicity in "the Soria's footprints", while in the case of sequence made by students of 11th grade, the division was more complex, perhaps by the fact of being represented by students on a clay plate, rather than printed on paper. In establishing these sections, all groups used the kinematics of the tracks to justify their conclusions, applying the distance among footprints to determine the relative speed of the dinosaurs.

The transformation of data into evidence, which has been performed during argument, has had a fairly high percentage of sufficient and appropriate evidence, ie in 6 of the 8 groups analysed, this percentage was higher than 70%, except for group G with 64% and 33% L, both in 10th grade. One of the reasons is because the discourse called "cumulative" has taking place in group G and the "dispute" one in the group L considering Wegerif and Mercer's study (1997). In both types of discourse students do not question the data used, therefore, although employing

evidences, if these are not judged by their peers do not improve, or what is the same, they won't apply backings, so that a high percentage of their evidence will be insufficient and inadequate. With regard to the evidence in the justifications, it has been appreciated that an increase in the use of evidence is not a synonymous of greater adequacy and appropriateness of them.

We affirm that the use of justifications in subargument was higher in students of 10th grade than in the 11th grade, which makes sense considering that students in 11th grade have previously represented a sequence of footprints, so they had already made explicit in this representation the evidence necessary to interpret whether a dinosaur was walking, running, etc. However, in the case of 10th grade, students were faced for the first time to an interpretation of footprints, which helped them to do explicit justifications to validate their conclusions. This agrees with the results obtained by Kelly, Druker and Chen (1998) in that students complete the task without justifying some of its conclusions; for which they conclude that if a student feels that his partner understands a concept that is being used, they probably do not need to explicitly the justification.

Regarding the presence of counterarguments and rebuttals, we point out the lack of counterarguments, since only 4 groups have been able to establish counterarguments. In fact, although four groups propose counterarguments two of them, G and H of 10th grade, make them once established the main argument, so did not discussed about them. However, the other two groups, N (10th grade) and J (11th grade), proposed two counterarguments for the main argument and discussed them, showing a higher level of complexity and therefore better performance. As for the rebuttals, all groups have been able to establish at least one rebuttal, although some were very weak and was not shown in the overall argument.

The groups that achieve higher quality of argumentation, that is, those who used a greater number of rebuttals and made counterarguments, presented a "exploratory" talk (Wegerif & Mercer, 1997) or "negotiation" talk (Evagorou & Osborne, 2013) which refers to the members being critically but constructively, drawing conclusions supported by justifications. Two groups have expressed this

interaction, N (10th grade) and J (11th grade). Both groups were composed of girls, who questioned continuously justifications and arguments from their partners, which contributed significantly to strengthen their arguments with evidence and backings and to promote the presence of rebuttals and counterarguments. This also agrees with the opinion of Kuhn (2005) that in order to establish an argumentative dialogue there should be a disagreement among participants.

Considering the fourth research question, *What levels of achievement for the dimension "use of evidence" students have attained?*, in the rubrics used for this analysis, we show that no group has achieved the level 6, which required them to be able to identify other information necessary to justify some of their hypotheses. However, two groups have shown a performance of "use of evidence" which puts them at level 5, these were the groups N (10th grade) and J (11th grade) respectively, and that is why those groups have achieved a higher quality argumentation. Most of groups (G and H, 10th grade, and N and A, 11th grade) have attained the level 4, because students demonstrated that they were able to analyse two patterns of data simultaneously. At the level 3 was attained by groups L (10th grade) and N (11th grade), because they did not integrate both data patterns.

The coordination of modelling and argumentation practices

Regarding the fifth research question, *Which models students use on their justifications to generate an explanation?*, it is found that the groups A and B, which have addressed a 'static' explanation of the syncline, that is, without explaining the mechanisms of formation, they have required fewer theoretical models and only applying the geochronological model and the superposition principle of the strata, to characterize each of the layers composing the Courel's syncline. Instead, the explanations made by groups J and N have attained a higher level of complexity because they included an explanation about how the syncline was formed, starting from the previous formation of the strata in the ocean. Thus, in these two groups argumentation has been more complex and they have

introduced an extra model apart from geochronological model and superposition principle of strata, which is the plate tectonics model.

An interesting aspect emerging from the answers to the last question, proposed in this task, is the fact that only two groups have been able to give an acceptable answer to the lack of the strata from the Devonian. These groups were A and N, as both were able to explain that erosion had removed the upper strata, however, in the J group, which provided the most complex explanation for that geological history, this lack of strata was associated with the formation of the syncline itself.

Regarding the sixth research question, *How does argumentation process contribute to the model change in students?*. In the J group, the desire of the students for their ideas to be taken into consideration in the final explanation has conducted them to be trying to persuade each other almost constantly. There has been a model change in four moments along the discussion, caused by the rebuttals and justifications employed, in which the theoretical support and use of the data provided was the key. The same occurred in group N although only in one discussion and with less presence of argumentative elements. In this activity, the quality of arguments improved by the fact that during evaluation and modification of the models there is predominance of counterarguments and rebuttals (Erduran et al., 2004) whose purpose is to put these models in conflict with data that is available.

When examine the students' expressed models we must consider that the model change can occur at a verbal level, which means, the articulation of how ideas are expressed, but that does not entail a model change in a cognitive level, which would be considered as a conceptual change. To represent this, we rely on the change experienced by Juana in the discussion about "how to order the events", in which the Juana's initial model was that "the mountain was preformed and the ocean covered it, that's why fossils were on the mountain" while her final model was that "in the ocean there were fossils and when the syncline was raised the fossils appeared on the mountain". This model change was driven by the data combined with the plate tectonics theory that their partners articulated to promote

that change. However, it should consider whether Juana is able to explain a similar phenomenon in a different context or it is learned in a given context (Brown, Collins & Duguid, 1989).

Conclusions

The results allow us to reach the following conclusions: □

Regarding the first research objective: 1) In the modelling process, students showed some difficulties, which derived on an important interactivity in the process of developing the models. 2) The modelling encourages students to use different models that they own, making them interact to each other to develop the model that requires the task. 3) Four performance levels have been identified for the dimension “explaining phenomena scientifically”.

Regarding the second research objective: 4) The majority of justifications include evidences that are sufficient and appropriate, showing a proper interpretation of the data. 5) The kind of argumentative process is a consequence of the discourse, which is established among the members, determining the quality of argumentation. 6) The students go forward the known to the unknown, as a strategy in the use of data. 7) The students have been coherent with the evidence to data transformation, in the activity, which was required. 8) Three levels of performance have been identified for the dimension of “use of evidence”.

Regarding the third research objective: 9) The better use of models involves an improvement in the argumentative process. 10) The argumentation process in a modelling-based activity contributes to a change of model.

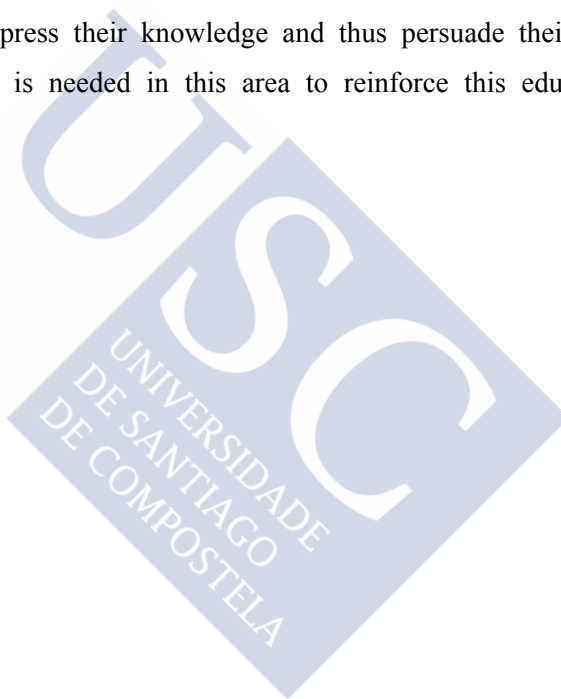
Educational implications

Related to that, this study has shown that modelling activities allow students to activate different models, which leads them to generate both fruitful and increasingly complex explanations about systems explained in science classes.

The use of evidence is itself an operation that integrates: 1) theoretical knowledge of a discipline, since the transformation of data into evidence depends on

knowledge of the person, and 2) the assessment of knowledge, because with the use of evidence students can justify or refute arguments and models. This reinforces the need to apply the use of evidence in science classes, which has been widely reported in previous research.

One finding for this thesis implies that the development of both practices - modelling and argumentation- together promotes that the establishment of learning communities in which knowledge of its members can be improved and even reinforced. That is why, counterarguments and rebuttals should consider different strategies to express their knowledge and thus persuade their peers. However, more research is needed in this area to reinforce this educational commitment.



I FUNDAMENTACIÓN





CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

En esta tesis se aborda el estudio de las prácticas científicas de modelización y argumentación que desarrollan los estudiantes de secundaria y bachillerato. Para lo cual se proponen problemas prácticos de geología centrados en el uso de pruebas y en la elaboración y uso de modelos. Esta investigación pretende contribuir en una mejora del conocimiento de estas prácticas científicas en un contexto real de aula de ciencias.

1.1 Antecedentes del estudio

Como indica Hodson (1993), hay tres propósitos incluidos en la enseñanza de las ciencias que son: 1) aprender ciencias, es decir, conceptos, modelos y teorías; 2) aprender sobre las ciencias, lo que supone comprender la naturaleza de la ciencia y su metodología; y 3) aprender a hacer ciencias, esto es, involucrarse en prácticas de investigación científica. Siendo el primero y el último aspecto, las cuestiones más relevantes para esta investigación, pues se pretende que a medida que los estudiantes ‘hacen ciencias’, deben emplear ciertos modelos y teorías para ‘aprender ciencias’, en particular cuestiones relacionadas con la geología.

En los últimos años, la investigación en didáctica de las ciencias ha puesto de manifiesto que si queremos que los estudiantes aprendan a hacer ciencias, debemos introducirlos en las prácticas propias de la comunidad científica que Kelly (2008) denomina prácticas epistémicas, es decir, construcción, evaluación y comunicación del conocimiento. Existe una correspondencia entre estas prácticas y las dimensiones de la competencia científica establecidas por PISA 2006

(OCDE, 2006), tal y como indica Jiménez Aleixandre (2012). Puesto que la construcción del conocimiento está vinculada a la elaboración, uso y revisión de modelos con los que explicar los fenómenos; y la evaluación del conocimiento se realiza atendiendo a las pruebas disponibles, es decir, mediante la argumentación, con la que se trata de justificar la adecuación de ese conocimiento y de persuadir a la audiencia. Además, esto último está relacionado con la práctica de comunicar el conocimiento, lo cual se realiza a través del discurso, fomentando así que los estudiantes sean capaces de hablar ciencias (Lemke, 1997), es decir, transmitir y defender sus conocimientos mediante el lenguaje y el proceder que requiere la ciencia.

Enmarcado en esta idea se llevó a cabo un estudio previo, englobado en el trabajo fin de máster (2010-2011), en el cual se analizaba la competencia argumentativa de estudiantes de 1º de bachillerato (16-17 años) durante el análisis de una secuencia de icnitas (huellas fósiles). En la siguiente parte de la tarea, tenían que averiguar qué dinosaurios habían causado esas huellas considerando diferentes tipos de datos: temporales, relación trófica, tipo de locomoción y relación de tamaño y peso. Debido al buen funcionamiento del proceso argumentativo en el contexto de geología durante este estudio previo, se decidió tomarlo como punto de partida para la investigación llevada a cabo en esta tesis, ampliando los objetivos de investigación y las actividades a desarrollar, en 4º de ESO y 1º de bachillerato. Al decidir que el contexto disciplinar sería la geología, consideramos que en este cuerpo de conocimiento la modelización tiene un papel importante, pues muchos procesos naturales estudiados por la geología son de difícil apreciación (Reynolds et al., 2005). La elaboración de modelos materiales puede ayudar a solventar esta dificultad, además, la explicación de procesos conlleva la integración de varios modelos teóricos. Por ello, se decidió analizar la modelización, además de la argumentación la cual consideramos necesaria para que los estudiantes, partiendo de un conjunto de datos, sean capaces de establecer hipótesis sobre acontecimientos geológicos que hayan tenido lugar en el pasado.

Así, en la presente tesis las dos prácticas científicas que se analizan son la modelización y la argumentación, las cuales corresponden a las dimensiones de la competencia científica (OCDE, 2006), “explicar fenómenos de forma científica” y “uso de pruebas”, respectivamente.

En el caso de la modelización, a modo de resumen, se han tenido en cuenta los estudios previos sobre la naturaleza de los modelos (Johnson-Laird, 1983; Nersessian, 1999; Giere, 1988), sobre el proceso de modelización (Clement, 1989; Justi y Gilbert, 2002) por el que se elaboran y se evalúan los modelos, y sobre cómo esto influye en el aprendizaje (Megalakaki y Tiberghien, 2011; García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012).

En el caso de la argumentación, como síntesis de los trabajos que resultan interesantes consideramos las investigaciones llevadas a cabo en este ámbito que versan sobre la transformación de los datos en pruebas (Koslowski et al, 2008; Kerlin et al, 2010), sobre qué cuenta como pruebas en las justificaciones (Duschl y Ellenbogen, 2009) y sobre el propio proceso de argumentación (Kelly y Takao, 2002; Jiménez Aleixandre, 2010), en el cual no sólo se tiene en cuenta el argumento final sino las oposiciones a ese argumento mediante la contraargumentación y la refutación (Kuhn, 1991, 2005), y su relación con la calidad de la argumentación (Erduran et al, 2004).

Finalmente, para comprender cómo se articulan ambas prácticas, modelización y argumentación, resultan de gran interés los estudios recientes sobre cómo los modelos influyen en el proceso de argumentación (McNeill y Krajcik, 2012; Mendonça y Justi, 2013b), así como, de qué manera la argumentación contribuye a la modelización (Böttcher y Meisert, 2011; Mendonça y Justi, 2014). La idea de analizar cómo se articula la modelización con la argumentación surge de la inquietud por analizar ambos aspectos de forma simultánea tal y como tienen lugar en la práctica.

En el contexto educativo de Galicia, la competencia científica se denomina ‘competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico’ (Xunta de Galicia, 2007), en la cual se insta a que se aborden estas prácticas científicas, pues

remarca la importancia de que: 1) se obtengan conclusiones basadas en pruebas, con el fin de comprender y tomar decisiones sobre el mundo natural, lo cual manifiesta la necesidad de la argumentación, y 2) se empleen modelos explicativos y predictivos, lo que hace énfasis en la necesidad de llevar a cabo actividades de modelización.

Los últimos informes de PISA, 2009 y 2012, muestran unos resultados para España que resaltan el nivel insuficiente obtenido en comprensión lectora, competencia matemática y competencia científica, alejado del promedio de los países de la OCDE (MECyD, 2013). Por lo cual, consideramos que se hace necesaria la puesta en práctica de actividades con las que se contribuya al logro de la competencia científica.

1.2 Objetivos, preguntas de investigación y relevancia del estudio

El principal propósito de esta tesis es conocer los procesos de modelización y de argumentación que siguen los estudiantes y su desempeño de la competencia científica, durante la resolución de problemas de geología en secundaria y bachillerato.

Este objetivo principal está desglosado en tres objetivos con las consiguientes preguntas de investigación:

Objetivo 1: *Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes y su desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”.*

El cual se concreta con las dos preguntas de investigación (PI) siguientes:

1º PI *¿Cómo elaboran y emplean los estudiantes los modelos para generar las explicaciones que requiere cada problema?*

2º PI *¿Qué niveles de desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica” son desarrollados por los estudiantes?,*

Objetivo 2: *Caracterizar el proceso de argumentación de los estudiantes y su desempeño de la dimensión “uso de pruebas”.* Este objetivo se desglosa en las preguntas de investigación siguientes:

3° PI *¿Cómo relacionan los datos y las pruebas que emplean en los argumentos?*

4° PI *¿Qué niveles de desempeño de la dimensión “uso de pruebas” son desarrollados por los estudiantes?.*

Objetivo 3: *Examinar cómo se articulan las prácticas de modelización y argumentación.* Este objetivo se desglosa en las preguntas de investigación siguientes:

5° PI *¿Qué modelos emplean los estudiantes en sus justificaciones?*

6° PI *¿Cómo contribuye el proceso de argumentación a que los estudiantes cambien su modelo?*

La relevancia de este estudio, en el ámbito de la investigación en didáctica de las ciencias, viene determinada por los siguientes aspectos:

a) Profundizar en el conocimiento sobre cómo tienen lugar los procesos de modelización y de argumentación en el aula y cómo se relacionan con una mejora en el nivel de desempeño de la competencia científica. En este estudio no sólo se examina cómo los estudiantes elaboran y usan los modelos, sino también cómo esto se relaciona con el nivel de desempeño de la competencia científica, en particular, de la “explicación de fenómenos de forma científica”. Además se analiza el proceso de argumentación, desde el uso de los datos hasta la co-construcción de los argumentos, y el cómo el que los estudiantes desarrollen este proceso, de un modo u otro, favorece el desempeño de “uso de pruebas”.

b) Analizar la contribución mutua de la modelización y de la argumentación. El hecho de que la modelización y la argumentación son prácticas que están altamente relacionadas está recogido en la literatura. No obstante, consideramos que el análisis de cómo se relacionan en la práctica sí es innovador, pues este tipo

de análisis es emergente, en el sentido de que ha sido abordado por muy pocos los estudios (Mendonça y Justi, 2013b; Mendonça y Justi, 2014; Evagorou, Nicolau y Lymbouridou (en revisión)).

c) Emplear como conocimiento disciplinar la geología, para analizar la modelización y la argumentación. En la literatura se apenas se han encontrado estudios en los que se analiza el cómo los estudiantes modelan y argumentan sobre cuestiones de geología. Destacamos, para la modelización, el estudio de Vosniadou y Brewer (1994) en el que se analizan los modelos mentales de los estudiantes sobre el ciclo día/noche; el de Pluta, Chinn y Ducan (2011), en el que se usan varios modelos de volcanes de para conocer qué criterios emplean los estudiantes para determinar cuál es un buen modelo científico. En cuanto al análisis de la argumentación en contextos de geología, diferentes estudios llevados a cabo por Kelly y Takao están centrados en oceanografía, proporcionando un conjunto de datos geológicos con los que caracterizar áreas geográficas y aplicar sus conocimientos de la tectónica de placas.

1.3 Organización de la tesis

Esta tesis comprende tres partes, por un lado la fundamentación teórica, que incluye los capítulos del 1 al 4, los resultados, divididos desde el capítulo 5 al 7, y las conclusiones, que conforman un único capítulo final.

En este primero, *Introducción*, se indican los antecedentes y la relevancia del estudio, así como los objetivos y preguntas de investigación.

En el segundo, *Marco teórico*, se discuten los cuatro cuerpos de conocimiento necesarios para este estudio: a) la competencia científica, b) la modelización, c) la argumentación y d) la articulación de la modelización y de la argumentación.

En el tercero, *Metodología*, se describe el tipo de investigación llevado a cabo, es decir, cualitativa y estudio de caso. Después se aborda el análisis de discurso, el contexto, los participantes y la toma de datos y, por último, los diferentes

procedimientos llevados a cabo para el análisis de los datos, con los que dar respuesta a las preguntas de investigación.

En el cuarto, *Diseño de las unidades didácticas*, se presenta en cómo es el proceso de la transposición didáctica que se ha llevado a cabo, luego se destacan las dificultades asociadas al aprendizaje de la geología y se presentan los principios de diseño y las dos unidades didácticas que se ponen en práctica en las aulas.

Los siguientes capítulos, del quinto al séptimo, corresponden a los resultados:

En el quinto, *El desempeño de la dimensión de “explicación de fenómenos de forma científica” y la modelización*, se incluyen los resultados obtenidos tras el análisis del proceso de modelización llevado a cabo por los grupos de ambos niveles educativos, para después conocer cómo el desarrollo de la modelización contribuye al desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”.

En el sexto, *El desempeño de la dimensión “uso de pruebas” y la argumentación*, se abordan los resultados del proceso de argumentación, desde el uso de pruebas a la elaboración de argumentos, por los grupos de ambos niveles educativos. A continuación, se comenta el desempeño de cada grupo en cuanto a la dimensión “uso de pruebas”.

En el séptimo, *La articulación de las prácticas de modelización y argumentación*, se analizan ambas prácticas científicas de forma conjunta, en primer lugar considerando cómo la modelización contribuye a la argumentación y, en segundo lugar, cómo la argumentación favorece a la modelización.

Por último, en el octavo, *Conclusiones e implicaciones educativas*, se indican y discuten las conclusiones que derivan de este estudio junto con las implicaciones educativas, tanto para la investigación como para la práctica educativa. Finalmente, el último apartado de la tesis se ha destinado a comentar las limitaciones del estudio y las futuras líneas de investigación que emanan del presente estudio.



CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El marco teórico sobre el que se fundamenta este estudio tiene como punto de partida el desarrollo de la competencia científica por parte de los estudiantes, a través de actividades que así lo promuevan. Por ello, comenzamos estableciendo qué se entiende por competencia científica y qué supone en el currículum, así como su interrelación con las demás competencias básicas establecidas en la Ley Orgánica, 2/2006, de Educación (LOE), (apartado 2.2), para después tratar con más detalle dos de las tres dimensiones de la competencia científica que se abordan este estudio. La primera dimensión es la explicación de fenómenos científicamente que se relaciona con la modelización por el hecho de que las explicaciones se realizan atendiendo a un modelo teórico (apartado 2.3). La segunda dimensión es el uso de pruebas y su importancia en la argumentación (apartado 2.4). Para finalizar, se aborda cómo ambas dimensiones se articulan en la práctica educativa -consideramos que esta es la parte más novedosa de este estudio- sobre lo cual existen pocos trabajos que analicen ambas dimensiones de forma conjunta (apartado 2.5).

2.2 La competencia científica

Al hablar de competencias tenemos que considerar que, pese a que su introducción en los currículos es relativamente reciente, la idea en sí puede no resultar tan novedosa. Esto se pone de manifiesto en la cita de un trabajo de 1924 de Le Boterf hecha por Perrenoud (2008, p. 3, negrita añadida) en la que ya se avanza esta terminología:

“Poseer conocimientos o capacidades no significa ser competente. [...] Cada día, la experiencia muestra que las personas que están en posesión de conocimientos o de capacidades no las saben movilizar de forma pertinente y en el momento oportuno, en una situación de trabajo. La actualización de lo que se sabe en un contexto singular es reveladora del “paso (pasaje)” a la competencia. Ella se realiza en la acción”(p.16)

Hemos querido resaltar en negrita lo más significativo a tener en cuenta de esta cita, pues presenta ciertas coincidencias, tal vez antecedentes de las definiciones de *competencia* actuales, que se presentan a continuación.

El concepto de *competencia* podría ser definido de diversas formas en función del contexto en que se aplique, como indican Cañas, Martín-Díaz y Niedo (2007) es conocido que este concepto se desarrolló vinculado al mundo laboral, haciendo referencia a las características necesarias para desempeñar una profesión. Sin embargo, aplicado al ámbito educativo debemos entenderlo como un término cuya finalidad educativa se centra en obtener una formación integral para la vida (Perrenoud, 2012), lo que requiere el desarrollo de un conjunto de *habilidades* o *destrezas* y *capacidades* necesarias para el desempeño de una tarea.

Con mayor detalle, la definición propuesta por la OCDE¹ (2002), en el informe DeSeCo (Definición y Selección de Competencias), indica que la competencia es:

“La capacidad de responder a demandas complejas y llevar a cabo tareas diversas de forma adecuada. Supone una combinación de habilidades prácticas, conocimientos, motivación, valores éticos, actitudes, emociones y

¹ Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

otros componentes sociales y de comportamiento que se movilizan conjuntamente para lograr una acción eficaz.” (p. 4)

De una forma resumida, lo que se deduce de esta definición sería lo que afirman las autoras Cañas Martín-Díaz y Niedo (2007), al indicar que una persona es competente cuando “*sabe utilizar en el lugar y momento adecuado el saber, el saber hacer, el saber ser y el saber estar*” (p. 30).

Existe una amplia gama de definiciones para competencia, no obstante, como sintetiza Pedrinaci (2012), de todas ellas se pueden extraer las siguientes características comunes:

- 1) Incluye conocimientos teóricos, prácticos (destrezas) y actitudes, de una forma integrada.
- 2) Supone la capacidad de utilizar los conocimientos anteriores en diferentes contextos, lo que exige la integración y reorganización de los aprendizajes adquiridos.
- 3) Se desarrolla a lo largo de la vida.

Esta nueva perspectiva introduce en el sistema educativo dos novedades (Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre, 2012) que son: a) reforzar la necesidad de aplicar lo aprendido a contextos y situaciones nuevas, así como, b) integrar los saberes conceptuales, las destrezas y las actitudes. De este modo, la transferencia de conocimientos requiere de su puesta en práctica en situaciones que propicien la movilización de dichos conocimientos (Perrenoud, 2008) y, así hacer un intento para minimizar lo que Brown y Palincsar (1989) denominan *conocimiento inerte*, es decir, conocimientos que los estudiantes no son capaces de emplear en contextos diferentes a aquellos en el que lo han adquirido.

La introducción de este término en el currículum español (MEC, 2007) y gallego (Xunta de Galicia, 2007) ha tenido lugar como consecuencia de la recomendación efectuada por parte de la Unión Europea en el 2006. Esto se recoge en la Ley Orgánica 2/2006 de Educación, vigente en el momento de llevar a cabo este estudio, en la que a los objetivos, contenidos, procedimientos y actitudes,

considerados hasta entonces, se suma una nueva dimensión de la competencia básica.

Las competencias básicas

La importancia de las competencias básicas se debe a que, como indica la Unión Europea (2006), contribuyen a la: 1) realización y desarrollo personal a lo largo de la vida, 2) inclusión en una ciudadanía activa y 3) aptitud para el empleo. En este sentido, en el Real Decreto 1631/2006, del 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria (MEC, 2007) se definen las competencias básicas como “*aquellas que permiten a los jóvenes lograr su realización personal, ejercer la ciudadanía activa, incorporarse a la vida adulta de manera satisfactoria y ser capaces de desarrollar un aprendizaje permanente durante toda su vida*” (p. 678).

La Unión Europea en su resolución del 18 de diciembre de 2006, sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente, detalla 8 competencias clave que deben ser incorporadas a los currículos europeos: 1) comunicación en la lengua materna, 2) comunicación en lenguas extranjeras, 3) competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, 4) competencia digital, 5) aprender a aprender, 6) competencia social y ciudadana, 7) sentido de la iniciativa y del espíritu empresarial y 8) conciencia cultural y expresión. En el caso de España, y consecuentemente en Galicia, estas ocho competencias son incorporadas en el sistema educativo español (MEC, 2007) de forma inmediata, aunque con algunas variaciones que se pueden apreciar en la tabla 2.1. La primera variación consiste en unificar las dos competencias en comunicación en lenguas materna y extranjeras en una única competencia denominada competencia lingüística en el currículum español; la segunda variación es la división de la competencia matemática y competencia básica en ciencia y tecnología, en competencia matemática y competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico. A partir de este momento nos referiremos a la competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico como *competencia científica*, puesto que es el término empleado en este ámbito de estudio y porque además de

esta forma se engloba tanto el conocimiento científico como las habilidades científicas.

Tabla 2.1. *Comparación de las competencias básicas establecidas en las recomendaciones de la UE (2006) con las adoptadas por el MEC (2006).*

Competencias básicas UE (2006)	Competencias básicas MEC (2006)
1) Comunicación en la lengua materna	1) Competencia lingüística
2) Comunicación en lenguas extranjeras	
3) Competencia matemática y competencias básica en ciencia y tecnología	2) Competencia Matemática
	3) Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico
4) Competencia digital	4) Competencia en el tratamiento de la información y competencia digital
5) Aprender a aprender	5) Aprender a aprender
6) Competencia social y ciudadana	6) Competencia social y ciudadana
7) Sentido de la iniciativa y del espíritu empresarial	7) Autonomía e iniciativa personal
8) Conciencia cultural y expresión	8) Competencia cultural y artística

Existe una relación entre las ocho competencias básicas con la competencia científica, por ejemplo, es importante que los estudiantes posean destrezas lingüísticas tanto a la hora de resolver un problema de ciencias, en el que los estudiantes deben comprender el enunciado para entender cuál es el objetivo del mismo (Sánchez Jiménez, 1995), como para comunicar y debatir las posibles respuestas entre compañeros. Otro ejemplo sería la contribución al desarrollo de la competencia social y ciudadana al proponer problemas de índole ambiental o éticos en los que se buscan soluciones de carácter social, como es el caso del estudio realizado por Agraso et al. (2007) en el que los estudiantes tenían que escoger un sistema de calefacción más idóneo para la ‘nueva facultad de ciencias de la salud (USC)’.

La competencia científica

Como se ha venido comentando y acorde con los objetivos de nuestra investigación, la competencia de mayor relevancia para este estudio es la *competencia científica*, denominada en el currículum español y gallego como *competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico*.

Actualmente, el programa de evaluación de competencias PISA², desarrollado por la OCDE, es un marco de referencia internacional en cuanto al desarrollo de las competencias en los estudiantes de la educación secundaria. La competencia científica, la matemática y la lectora son las tres competencias que abarca PISA, de modo que la definición que proporciona para la competencia científica, así como las directrices que emplean para su desarrollo, adquiere relevancia en este estudio.

La primera definición de PISA para el término *competencia científica* se incluye en el informe del 2003 y dice:

“la capacidad para utilizar el conocimiento científico, identificar preguntas y extraer conclusiones basadas en pruebas con el fin de comprender y ayudar a tomar decisiones sobre el mundo natural y los cambios que ha producido en él la actividad humana.” (OCDE, 2004, p.290)

En el siguiente informe, PISA 2006 (OCDE, 2006), esta definición se ha visto ampliada en el sentido de que se describen con mayor detalle los *contenidos* y las *dimensiones* de dicha competencia en que una persona competente en ciencias debe ser capaz de aplicar en *contextos* reales y *situaciones* que nos afectan tanto a nivel global como individual. Como se muestra en la figura 2.1, los contenidos comprenden dos tipos de conocimiento: el propio conocimiento científico y el conocimiento acerca de cómo de genera ese conocimiento. Además, se divide en tres dimensiones, las cuales detallan más adelante, que son: 1) identificar cuestiones científicas, 2) explicar fenómenos de forma científica y 3) uso de

² Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes

pruebas. Estas tres dimensiones ya aparecían esbozadas en la definición de competencia del 2003, pero es en el PISA 2006 cuando se hacen más evidentes.

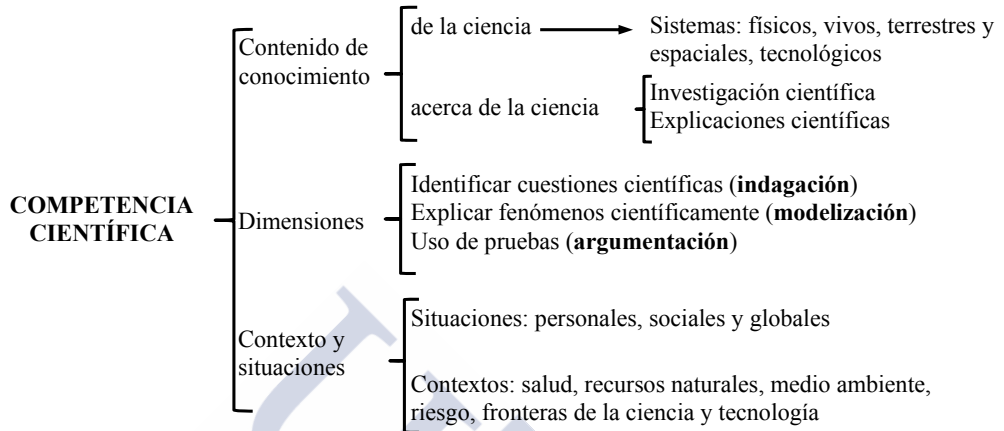


Figura 2.1. Esquema de desarrollo de la competencia científica, elaborado a partir del informe PISA 2006 (OCDE, 2006). Paréntesis en negrita añadidos.

Finalmente, en el Decreto 133/2007, por el que se regula la enseñanza secundaria obligatoria en la comunidad autónoma de Galicia (Xunta de Galicia, 2007), marco en el que se incluyen las actividades de este estudio, la definición para la *competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico* es:

“la habilidad para interactuar con el mundo físico, tanto en los aspectos naturales como en los generados por la propia acción humana, de tal modo que se posibilita la comprensión de sucesos, la predicción de consecuencias y la actividad dirigida a la mejora y preservación de las condiciones de vida propia, de las demás personas y del resto de seres vivos” (p. 12.044)

Tras la revisión de las definiciones de competencia científica relevantes para este estudio, cabría indicar que las dos características más importantes de este concepto son: 1) aplicar los conocimientos científicos a contextos cercanos a las inquietudes de los estudiantes y 2) emplear una metodología científica en la resolución de problemas. No obstante, esta perspectiva no es novedosa, pues Duschl y Gitomer (1991) ya indicaron la importancia del contexto y de la autenticidad de los problemas para favorecer un cambio conceptual en los

estudiantes, especialmente en lo que se refiere a cómo se desarrolla en conocimiento científico. Estos autores afirman que la construcción del conocimiento científico empieza por identificar un contexto apropiado en el que se plantee una situación en la que los estudiantes tengan que hacer uso de una metodología, conceptos científicos, pruebas y explicaciones para construir una solución significativa al problema propuesto.

En este sentido, para utilizar el conocimiento en contexto, Jiménez Aleixandre (1998) define los *problemas auténticos* como aquellos que implican una situación (real o simulada) con la complejidad de la realidad y contextualizada en la vida cotidiana. Siguiendo a Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre (1999) este tipo de problemas presentan dos rasgos muy vinculados a la competencia científica, por un lado, deben ser problemas enmarcados en contextos realistas y relevantes para el alumnado y, por otro lado, el análisis de los datos y pruebas se haría de forma análoga a la metodología de la comunidad científica, en sentido amplio.

Mientras que, para que empleen una metodología científica, lo que la investigación educativa propone actualmente es involucrar a los estudiantes en las prácticas científicas de construcción de conocimiento o prácticas epistémicas (Jiménez Aleixandre, 2012). Kelly (2008) emplea el término prácticas epistémicas y las define como “*las formas específicas en que miembros de una comunidad proponen, justifica, evalúan y legitimen enunciados de conocimiento en un marco disciplinar*” (pp. 99-100). Según Osborne (2011) estas prácticas se engloban en tres grandes grupos que son: a) investigar, es decir, diseñar experimentos, toma y análisis de datos, etc.; b) desarrollar explicaciones y soluciones, lo que requiere el uso de modelos y teorías; y c) evaluar, lo que conlleva realizar un análisis argumentado y crítico de los dos pasos anteriores. En sentido general, estas tres prácticas epistémicas guardan relación con las tres dimensiones de la competencia científica (ver figura 2.1) propuestas por PISA 2006 (OCDE, 2006) y que a continuación comentamos con mayor detalle.

La primera de las tres dimensiones, *identificar cuestiones científicas*, se relaciona con la capacidad para decidir si un interrogante puede ser respondido por la

ciencia, reconocer los factores y variables que influyen en una investigación científica o bien diseñar experiencias para dar una solución a un interrogante (Cañas, Martín-Díaz y Nieda, 2007, pág 35). Una forma de desarrollar esta competencia es poniendo en práctica actividades de indagación en el laboratorio, tal y como indican Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre (2012), es decir, actividades en las que los estudiantes deban aplicar sus conocimientos teóricos y sus destrezas experimentales para dar respuesta a una pregunta, como es el caso de la investigación llevada a cabo por estas autoras en la que los estudiantes debían analizar qué pasta de dientes era la más adecuada para evitar la caries. De esta forma, empleando actividades de indagación, se puede contribuir a mejorar el razonamiento científico del estudiantado, como señalan Chinn y Malhotra (2002). Dicho de otra manera, la indagación puede entenderse como una transposición didáctica de la investigación científica, sin que ello implique que el alumnado reproduzca los descubrimientos de la comunidad científica, pero sí que los problemas planteados constituyan un nuevo interrogante para ellos, como indican Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre (1999).

La segunda dimensión, *explicación de fenómenos de forma científica*, corresponde al hecho de dar una explicación, describiendo e interpretando la realidad atendiendo a un modelo científico, como indica Bravo (2012). En este sentido, una forma de favorecer al desarrollo de esta competencia es plantear al alumnado problemas que requieran una explicación, como es el caso de la investigación llevada a cabo por Grozter y Basca (2003) en el que analizaban las explicaciones causales proporcionadas por los estudiantes acerca de la estructura de los ecosistemas.

Por último, la tercera dimensión, *el uso de pruebas científicas*, es un requisito necesario para poder diferenciar una opinión, fundamentada en teorías propias, de un argumento apoyado en datos o pruebas científicas (Jiménez Aleixandre, 2010), por lo que las pruebas, entendidas como datos que fundamentan una conclusión, constituyen una parte fundamental de la argumentación (Puig, 2013). Ejemplo de ello es el caso de la investigación llevada a cabo por Sónora, García-Rodeja y

Brañas (2001), en la que los estudiantes deben argumentar a favor o en contra de edificar en terrenos cultivables.

Cabe destacar que aunque las tres destrezas se definan por separado debemos tener en cuenta que están interconectadas en la práctica, como señalan Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig (2009) al identificar cuestiones científicas se determina si un fenómeno puede ser o no explicado a través de un modelo científico y, a su vez, para evaluar el modelo se requiere el uso de pruebas científicas.

Como afirman Braaten y Windschilt (2011) la literatura que concierne a la didáctica de las ciencias hace una llamada a elaborar ambientes de aprendizaje en los que se priorice la elaboración de las explicaciones y argumentos, ambos aspectos están relacionados con las dos últimas dimensiones de la competencia científica (2ª y 3ª) las cuales serán abordadas con mayor profundidad en los siguientes apartados de este capítulo por ser nuestro objeto de estudio.

2.3 Explicación de fenómenos de forma científica y modelización

La segunda dimensión de la competencia científica, la explicación de fenómenos de forma científica, se define en el informe PISA 2006 (OCDE, 2006) como la aplicación de conocimiento en una situación dada, para describir, interpretar y realizar predicciones sobre un fenómeno. Siguiendo con PISA 2006, las explicaciones científicas pueden generarse a partir de una hipótesis, de una teoría, modelo o ley; además deben ser consistentes y basarse en pruebas. A nuestro modo de entender y coincidiendo con autores como Grosslight, Unger, Jay y Smith (1991) y Bravo (2012) la explicación de fenómenos de forma científica está directamente relacionada con los procesos de modelización, así como con la argumentación. Es por ello que en este apartado, comenzaremos estableciendo la relación entre las explicaciones y el uso de modelos científicos, para terminar haciendo mayor hincapié en el uso y la elaboración de modelos en el aula de ciencias.

Las explicaciones científicas buscan interpretaciones de fenómenos que tienen lugar en el mundo natural. En palabras de Salmon (1989), ya en tiempos de Aristóteles, los filósofos clasificaban el conocimiento científico en dos principales tipos: el conocimiento del *qué* y el conocimiento del *por qué*. Como indica Salmon, el primer tipo de conocimiento hace referencia a un conocimiento descriptivo en el que se detalla cómo son los fenómenos, mientras que, en el segundo tipo el conocimiento se considera explicativo, ya que trata de responder al por qué suceden los fenómenos, buscando los mecanismos que subyacen en él. Este conocimiento explicativo es el que más ha contribuido a comprender el mundo natural, desde los filósofos griegos hasta la actualidad.

De este modo, como indica Nagel (1961) las explicaciones científicas responden a la pregunta 'por qué', sin embargo, la diversidad de contextos hace que se puedan generar diferentes tipos de contestaciones o explicaciones (deductivas, probabilísticas, funcionales/teológicas y genéticas). No obstante, Salmon (1989) dice que conviene diferenciar dos situaciones en las que una pregunta puede ser iniciada con un *por qué* pero cuyas intenciones pueden ser diferentes: a) la intención es la búsqueda de una explicación, por ejemplo, ¿por qué se dividió Pangea? o bien, b) se pregunta para indagar sobre las pruebas de esa explicación, así el ejemplo correspondiente sería ¿por qué sabemos que existió una Pangea? Ambos tipos de preguntas buscan una explicación, pero se diferencian en el propósito. Por ello, en el contexto del aula de ciencias si la intención es buscar una explicación, la pregunta contribuye al *uso de modelos teóricos* para proporcionar una explicación coherente, aspecto en el que profundizaremos más adelante en este apartado. Mientras que, si la pregunta se dirige a la búsqueda de pruebas, entonces favorecemos la capacidad del alumnado de *justificar sus argumentos* acerca del por qué esa explicación es la más adecuada en un contexto determinado. Este segundo tipo de explicaciones será abordado en el apartado 2.4.

Nuestro propósito es destacar que las explicaciones son una parte fundamental de la construcción del conocimiento científico y, consecuentemente, de las prácticas científicas. De este modo, como indican Reiser, Berland y Kenyon (2012) la

explicación como práctica científica consiste en definir o describir un fenómeno y en unir una cadena de razonamientos para el fenómeno explicado. De ahí el interés en que los estudiantes sean capaces de desarrollar explicaciones ante cuestiones científicas planteadas en las clases de ciencias.

Los tres grandes tipos de explicaciones científicas relevantes para la didáctica de las ciencias, según Braaten y Windschitl (2011), son:

- a) Aclaración de un significado o de un razonamiento: es frecuente pedir a los estudiantes que expliquen sus razonamientos o indicar a qué se refieren con un término en particular. Ésta es una forma de comunicar el conocimiento y construir así explicaciones científicas, lo cual contribuye a dar oportunidad a los estudiantes para que hablen ciencias, lo que defienden autores como Lemke (1997) o bien Mortimer y Scott (2003).
- b) Identificar mecanismos causales: es decir, identificar las causas que podrían haber dado origen al fenómeno a explicar. De forma que, desarrollar explicaciones causales es una práctica que da sentido a los fenómenos, para lo cual se pueden realizar una recogida de datos o identificando pautas con las que averiguar las causas que lo originaron (Jiménez Aleixandre, 2010).
- c) Justificar la explicación: como afirman estos autores la explicación científica y la argumentación están interconectadas epistémicamente, por ello resulta difícil separarlas. De hecho, autores como McNeill y Krajcik (2008) definen la explicación científica como enunciados compuestos por un razonamiento, conclusión y pruebas, aspectos sobre los que se profundiza en el apartado 2.4.

Sea cual sea el tipo de explicación científica, todas comparten el hecho de que, en palabras de Giere (1988), están respaldadas por un modelo teórico:

*“las **explicaciones científicas** que ofrece la ciencia son un recurso que consiste en un conjunto de **modelos** auténticos. Cómo las personas empleen esos modelos en el proceso de construcción o entendimiento de explicaciones depende del contexto extracientífico. Así, estudiar las explicaciones científicas es la mejor forma para estudiar ciencias”* (p.105, negrita añadida).

De esta forma, entendemos que las explicaciones científicas se realizan basándose en un modelo científico y coincidimos con Ziman (2003) en que las observaciones del mundo natural se realizan a través de un modelo, que puede ser el modelo establecido por la comunidad científica (modelo científico o teórico) o el modelo propio del individuo. Es por ello que, si entre la comunidad científica hay diversas formas de explicar los fenómenos, es esperable que los estudiantes presenten sus propias ideas acerca de cómo funciona el mundo y que, a su vez, difieran notablemente de las científicas, como así lo han demostrado los estudios de los años 80 acerca de las ideas alternativas de los estudiantes (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985, entre otros), las cuales es necesario tener en cuenta puesto que pueden suponer un obstáculo para la adquisición del conocimiento científico (Bachelard, 1938; Pedrinaci, 2001; Megalakaki y Tiberghien, 2011). No obstante, mientras que las ideas alternativas se pueden considerar más o menos estáticas y aisladas, los modelos explicativos que emplean los estudiantes estarían constituidos por una estructura de creencias e imágenes que es generativa, es decir, les permite integrar nueva información, hacer predicciones, actuar y generar nuevos conocimientos al pensar con dichos modelos (García-Rodeja Gayoso y Lima de Oliveira, 2012).

Así pues, los estudiantes mantienen teorías propias acerca de cómo tiene lugar los fenómenos o ideas preconcebidas sobre cómo se construye el conocimiento científico (Grosslight, Unger, Jay y Smith, 1991). En el aula, los estudiantes se enfrentan a nuevos conocimientos (modelos conceptuales) y entonces pueden realizar tres acciones (Hewson, 1981): 1) memorizar la información nueva en función de su conocimiento previo, 2) intercambiar la información previa por la nueva y 3) capturar la nueva información integrándola con su conocimiento previo. Estas dos últimas son las que contribuyen a que el estudiante adquiera un aprendizaje significativo. De esta forma, como indican tanto Nersessian (1999), desde la filosofía, como Megalakaki y Tiberghien (2011), desde la epistemología, la modelización constituye una actividad fundamental para aprender y utilizar conceptos científicos, y un método clave para conseguir el cambio conceptual. Esto se puso de manifiesto en las investigaciones realizadas por Vosniadou y

Brewer (1994), quienes analizaron los modelos del ciclo día/noche de los estudiantes, y percibieron un cambio en los modelos mentales iniciales de los alumnos a medida que éstos adquirían conocimiento acerca del tema, lo que supuso que algunos de los alumnos se acercasen al modelo científico. Asimismo, Romero y Pietrocola (2005) indican que los estudiantes, al pedirles explicaciones “científicas” ante situaciones cotidianas, es frecuente que lo hagan empleando concepciones simples y espontáneas. Lo cual refuerza la idea de que el alumnado explica el mundo empleando los modelos mentales previos que presenta (Greca y Moreira, 1998; Gilbert, Pietrocola, Zylbersztajn y Franco, 2000).

Al hablar de modelos en ciencias debemos detallar qué entendemos por este término, puesto que en sí puede significar evento, un objeto, un proceso o un sistema (Gilbert y Boulter, 1998). En el campo de la didáctica de las ciencias, los modelos científicos se conciben como representaciones abstractas que simplifican un sistema centrándose en características para explicar y predecir un fenómeno científico (Schwarz et al., 2009). Otra concepción de modelo, más simple que la anterior, aunque con un enfoque similar, es la de Megalakaki y Tiberghien (2011) quienes establecen un modelo como “*una representación conceptual de un sistema real*” (pp.162). En este estudio adoptamos la definición propuesta de Gilbert, Boulter y Elmer (2000), en la que establecen que un *modelo* es una representación de un fenómeno inicialmente producida con un propósito específico. En donde el *fenómeno* debe ser entendido como parte del “todo” y el *propósito específico* como la explicación de algo en “particular”. En definitiva, como indican los mismos autores, el modelo sería la representación parcial de un fenómeno natural.

Existen varias clasificaciones de modelos, sin embargo, para nosotros la más útil es la realizada por Gilbert et al. (2000) quienes realizaron una clasificación del estado ontológico de los modelos en el que el primer modelo que establecen es el *modelo mental*, entendido como una representación individual de un proceso. Cuando este modelo pasa a ser del dominio público se considera un *modelo expresado*, que puede estar representado de diversas formas que se comentarán a

continuación. Los modelos expresados al discutirse entre grupos constituyen un *modelo consensuado*, que en el marco de la comunidad científica se denominan modelos *científicos*. A su vez, debemos tener en cuenta que estos modelos se han desarrollado en un contexto histórico y que han sido reemplazados por nuevas investigaciones, a estos modelos les llaman *históricos*. Cuando los modelos se trasladan a los currículums formales se denominan *curriculares* que, a su vez si se combinan con los otros dos anteriores se denominan *híbridos*. Y, por último, sitúan a los modelos *pedagógicos*, que son aquellos empleados por los docentes en el aula. De esta clasificación de modelos, a nosotros los que más nos interesan son los tres primeros: el modelo mental, el expresado y el consensuado del grupo.

Los modelos mentales han sido descritos por Johnson-Laird (1983) como estructuras analógicas de cómo percibimos y cómo conceptualizamos el mundo. Norman (1983) considera que al referirnos a los modelos mentales tenemos que distinguir cuatro aspectos diferentes: el sistema objetivo (fenómeno, suceso, proceso, etc.), el modelo conceptual del sistema objetivo, el modelo mental del individuo para ese sistema objetivo y la conceptualización científica para ese modelo mental. El modelo conceptual es inventado para proporcionar una representación apropiada del sistema objetivo, es decir, debe ser preciso, consistente y completo. De forma simplificada, Justi y Gilbert (2006) indican que los modelos presentan una estructura triangular (ver figura 2.2) en la que en el vértice superior se sitúa el modelo el cual presenta dos dominios (situados en los vértices inferiores): el origen y el objetivo los cuales comparten ciertos atributos entre sí. La idea inicial de esta estructura proviene de Duit y Glynn (1996), quienes denominan al ‘modelo’ como ‘representación’, la cual muestra esos atributos compartidos entre el origen y el objetivo.

Siguiendo esta representación, Justi y Gilbert (2006) explican los tres elementos indicando que el *objetivo* es el aspecto de la realidad que está siendo modelado, mientras que el origen es una entidad familiar empleada para representar el objetivo. Y, finalmente, el *modelo* es el resultado de dicha representación.

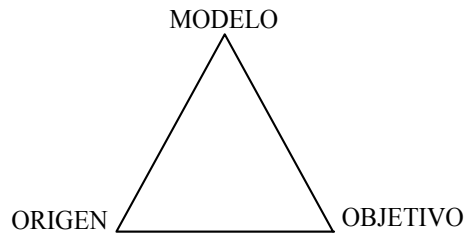


Figura 2.2. Estructura de modelo (adaptada de Duit y Glynn, 1996)

Desde la didáctica de las ciencias, se supone que los modelos mentales son representaciones internas de cómo tiene lugar un fenómeno y, por lo tanto, son personales (Glynn y Duit, 1995). Que el estudiante sea capaz de desarrollar un modelo mental es importante ya que, como indica Gilbert (2005), este tipo de modelos juega un papel importante en el proceso de aprendizaje, puesto que facilita el compromiso cognitivo del aprendiz con lo que le está siendo enseñado y además le ayuda a interactuar con la información nueva.

El análisis de los modelos mentales resulta complicado por ser un proceso individual, de modo que el análisis se realiza a través de los modelos expresados, lo que supone que los investigadores obtengan un modelo del supuesto 'modelo', como señalan Franco y Colinvaux (2000). A la hora de realizar este tipo de análisis debemos tener en cuenta ciertas características de los modelos mentales, algunas de ellas ya comentadas anteriormente, que remarcan estos autores:

- Son generativos, es decir, producen predicciones y nuevas ideas.
- Incluyen conocimiento tácito: de esta forma los poseedores del modelo mental no son conscientes de cada uno de los aspectos que constituyen su modelo mental.
- Son sintéticos, es decir, son representaciones simplificadas.
- Están limitados por las visiones del mundo y creencias de las personas.

Entendemos, por todo lo señalado, que la función principal de los modelos mentales es la de permitirle al sujeto explicar y realizar predicciones sobre el sistema representado por dicho modelo, tal como señalan Greca y Moreira (2000).

Debido a que el modelo mental es inaccesible para nosotros, nos centraremos en el modelo expresado que no es más que una forma de representación externa del

modelo mental (o representación interna). De los diversos modos de representación, destacamos los siguientes por guardar relación con las actividades de modelización propuestas: concreto o material (modelos materiales, maquetas), verbal (descripción, explicación, argumento, analogía y metáfora), visual (diagramas, animaciones, simulaciones) y gestual (son movimientos del cuerpo o sus partes), como han clasificado Boulter y Buckley (2000).

Un tipo de modelos muy empleados en ciencias son los *modelos analógicos* (o análogos) los cuales se elaboran partiendo de un conjunto de analogías. Hay dos tipos de modelos analógicos que son importantes en las actividades propuestas en este estudio que son, empleando la terminología propuesta por Harrison y Treagust (2000), los *modelos a escala*, que intentan representar los elementos del sistema real manteniendo la proporción entre ellos, y los *modelos análogos pedagógicos*, los cuales pueden ser modelos a escala o ser modelos verbales; a estos modelos se les denomina analógicos porque comparten información con el objetivo a representar (Glynn, 1991).

El uso de analogías está ampliamente extendido en las clases de ciencias cuando los docentes se sirven de objetos familiares para los estudiantes con los que explicar conceptos o fenómenos que no son conocidos por los mismos. De esta forma, nosotros coincidimos con Justí y Gilbert (2006) en que una analogía es el proceso a través del cual un objeto (análogo) se emplea para representar un elemento (objetivo) por el hecho de que comparten funciones o características. Por ejemplo, como se realizó en el estudio de Blanco Anaya y Díaz de Bustamante (2012) en la representación del modelo de cuenca sedimentaria, se realizó un modelo análogo en el cual el recipiente de plástico (análogo) se emplea para representar la cuenca sedimentaria (objetivo).

El uso de analogías presenta una serie de ventajas, como que facilitan la comprensión de lo abstracto al buscar similitudes con el mundo real y pueden mejorar la visualización de lo abstracto (Duit y Glynn, 1996). Sin embargo, debemos tener en cuenta las desventajas ya que según Glynn, Britton, Semrud-Clikeman y Muth (1989), las analogías pueden resultar un arma de doble filo ya

que hay características del análogo que difieren notablemente de las características del objetivo, o lo que Harrison (2008) denomina las relaciones positivas y las negativas en una analogía. De este modo, como indican Glynn et al. (1989), para que exista un razonamiento analógico la relación entre ambos elementos (análogo y objetivo) debe estar clara para el alumnado y el docente, así como que los estudiantes estén familiarizados con el objeto análogo. No obstante, el hecho de que no exista un análogo “perfecto” no nos debe preocupar ya que analizar con los estudiantes las imperfecciones es una excelente herramienta de aprendizaje, pues se manifiestan las dificultades que pueden surgir en el momento de explicar las ideas abstractas (Aubusson y Fogwill, 2006).

Al proceso de construcción, revisión y evaluación de modelos se le conoce como modelización (del término anglosajón, *modelling*). En sí la modelización es un proceso mental y personal (Duit y Glynn, 1996) pero que puede manifestarse a través del lenguaje en el *modelo expresado*.

Desde nuestro punto de vista, la modelización consiste en la construcción de modelos nuevos, ya sean expresados o materiales, y la revisión y evaluación de los modelos ya adquiridos o aprendidos. Este proceso de modelización es complejo y requiere de la repetición del ciclo de generación de hipótesis, evaluación y modificación, como indica Clement (1989) quien propone un esquema en el que se representa este proceso (ver figura 2.3). Con este esquema el autor busca reflejar las interacciones que se producen entre las etapas de la elaboración de modelos, pues si prestamos atención a la flecha de doble sentido que une “hacer observaciones iniciales” con “construir el modelo inicial” lo que pretende indicar es que el hecho de que la persona tenga un modelo inicial previo, va a condicionar las observaciones iniciales que realice, lo cual sigue la idea de Kuhn (1962), de que todo fenómeno será observado según el paradigma a través del cual se observe. Una vez se presente ese modelo inicial lo siguiente sería evaluarlo. Clement (1989) sugiere dos modos de evaluación, una evaluación racional, que se realiza según la consistencia o inconsistencia con otras teorías relacionadas, y otra evaluación empírica, que aporten pruebas a favor o en contra

del modelo. A partir de la evaluación, el modelo puede ser completamente rechazado, parcialmente rechazado o aceptado.

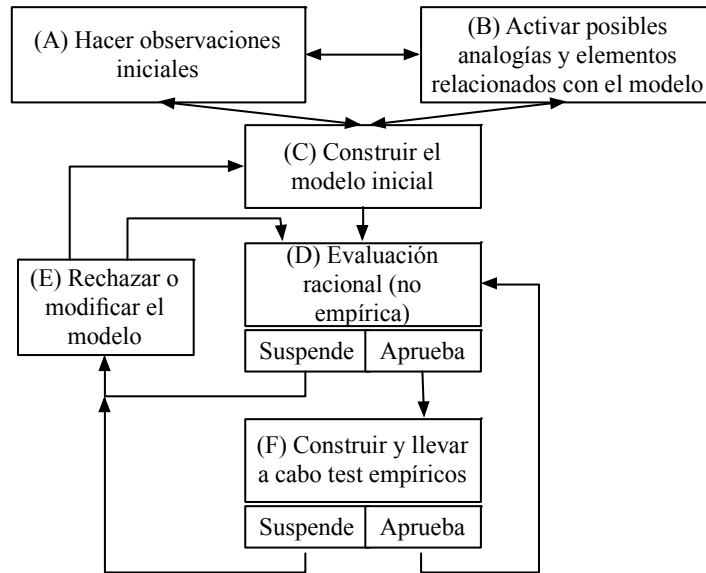


Figura 2.3. Ciclo de construcción de modelo propuesto por Clement (1989)

En sí, este esquema busca dar forma a la secuencia de etapas con la que la comunidad científica trata de generar teorías o explicaciones a los fenómenos naturales. Sin embargo, Justi y Gilbert (2002) han reelaborado este diagrama adaptándolo a lo que sería el proceso de construcción de modelos para aplicar en el aula de ciencias. Estos autores diferencian una serie de etapas en el ‘modelo para el proceso de construcción de modelos’ (*Model of Modelling Diagram, MMD*), las cuales son cíclicas y están unidas mediante relaciones doble sentido lo que representa la gran interactividad que hay entre las etapas que lo componen. A grandes rasgos, como se puede ver en el diagrama de la figura 2.4, este proceso de elaboración de modelos comenzaría por tener claro el objetivo por el que el modelo va a ser construido (Justi, 2006). A partir de aquí, se buscan las experiencias previas que tengan los individuos con el “objeto” a modelar, o lo que es lo mismo, se pretende la activación del modelo mental inicial que cada estudiante tiene sobre el fenómeno a modelar. Esto corresponde a la realización de ‘observaciones iniciales’ que Clement incluía en su esquema (fig. 2.3). Asimismo,

para dar forma a un modelo mental inicial, en ocasiones se hace necesario tomar elementos del mundo natural para dar forma a ese modelo, lo que comprende la etapa de ‘seleccionar el origen del modelo’, la cual según Justi (2006), podría corresponder al uso de analogías, recursos matemáticos, etc. Establecido el modelo mental concreto, que puede ser individual o el consensuado por el grupo, se cierra el primer ciclo del proceso de modelización, dando comienzo a la ‘expresión del modelo mental mediante alguna forma de representación’. Esta etapa es muy importante, pues en ella el estudiante debe ser capaz de comunicar a los demás su modelo mental, realizar dibujos para representarlo, etc. Lo cual favorece que la propia persona reflexione sobre su modelo mental y pueda modificarlo, de ahí que entre estas dos etapas exista también una relación de doble sentido. Al igual que en el esquema de Clement (1989), en el diagrama establecido por Justi y Gilbert (2002), existen dos tipos de evaluación del modelo, una de ellas es a nivel cognitivo, es decir, que los estudiantes se hagan preguntas sobre el modelo con la finalidad de comprender si cumple el objetivo para el que fue elaborado. Una de las formas de llevar estos ‘experimentos mentales’ a cabo es planteándose “¿qué pasaría si...?” con el fin de comprobar si las hipótesis incluidas en su modelo son aceptadas o rechazadas (Justi, 2006). Con esta primera comprobación del modelo se completa el segundo ciclo del proceso, ya que si tras los experimentos mentales el modelo no cumple sus expectativas habría que reformularlo, mientras que si las cumple se continúa el siguiente tipo de evaluación, que es de tipo experimental, pues consiste en ‘planificar y llevar a cabo pruebas experimentales’. Esta segunda evaluación correspondería a las ‘pruebas experimentales’ que Clement proponía. De este modo se evalúa el modelo mediante actividades prácticas, toma y análisis de datos, etc. (Justi, 2006), en aquellos modelos que así lo permitan. Finalmente, con esta última comprobación se determina si el modelo es válido, teniendo en cuenta el propósito para el cual fue elaborado, o si por el contrario ha de ser modificado o completamente rechazado, dando lugar así al tercer ciclo de este proceso de elaboración del modelo.

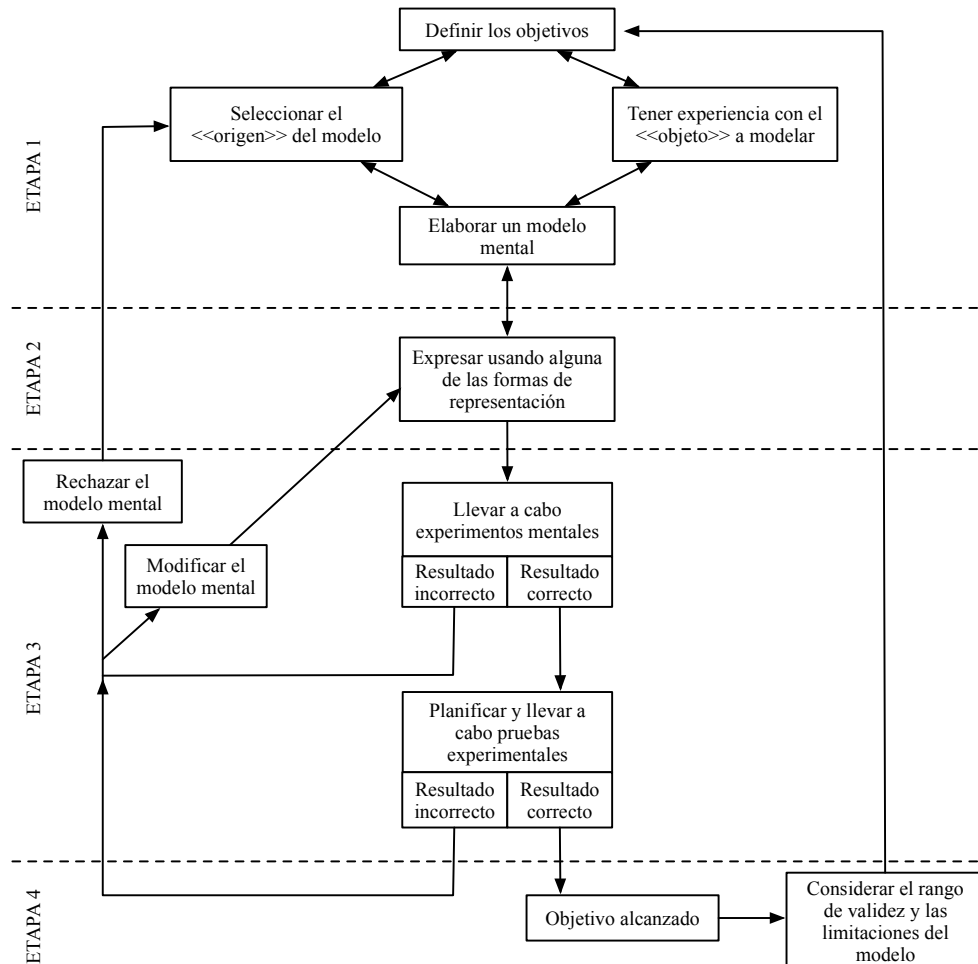


Figura 2.4. Diagrama del Modelo de Modelización (Justi y Gilbert, 2002, tomado de Justi, 2006). División en etapas añadido.

Una vez establecido el modelo, es importante analizar con los estudiantes las limitaciones del mismo con lo que se favorezca el desarrollo de su pensamiento crítico y científico. La aplicación de este diagrama en la elaboración de modelos en el aula de ciencias tiene como principal ventaja que ayuda a los estudiantes a comprender que el proceso de generar explicaciones científicas tiene una componente subjetiva y que es variable, no es un conocimiento estático. Además haciendo uso de los modelos se contribuye a que los estudiantes organicen su conocimiento para facilitar su aplicación en la resolución de los problemas (Nersessian, 2002).

En resumen, la explicación de los fenómenos se basa en el modelo mental que presentan las personas, que puede ser más o menos próximo al modelo aceptado por la comunidad científica. Por ello, en el aula de ciencias se debe apostar por acercar el modelo del estudiante hacia ese modelo científico, para que sean capaces de desarrollar la capacidad de explicar los fenómenos de una forma científica. No obstante, en la discusión de por qué un modelo es más apto que otro entra en juego otra dimensión: el uso de pruebas con las que justificar y argumentar la validez de un modelo explicativo ante otro, que será abordada en el siguiente apartado.

2.4 Uso de pruebas y argumentación

El uso de pruebas es la tercera capacidad que se engloba dentro de la competencia científica (PISA, OCDE, 2009). Esta capacidad incluye destrezas tales como: seleccionar conclusiones alternativas a la vista de las pruebas, generar razones a favor y en contra de una conclusión según los datos proporcionados, e identificar las razones que conducen a una conclusión (OCDE, 2009). Lo cual se podría resumir como: el uso de pruebas consiste en que el alumnado sea capaz de aportar información o datos para proporcionar validez a un enunciado o conclusión. Esto guarda una estrecha relación con la *argumentación*, como ya se ha comentado previamente, entendiéndola como la capacidad relacionar los datos con las conclusiones (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003).

Este apartado empieza discutiendo cómo se obtienen las pruebas y las dificultades que tienen los estudiantes para usarlas, ya que es una parte fundamental de la argumentación. A continuación, se aborda con detalle el discurso argumentativo y la elaboración de argumentos, entendidas como herramientas didácticas que contribuyen al aprendizaje de las ciencias.

El concepto de *prueba* empleada en este trabajo es la de cualquier información o hecho empleado para mostrar que un enunciado es cierto o falso (Jiménez Aleixandre, 2010). En el marco de la argumentación se le denomina *datos* al

conjunto de información de la que se dispone, la cual puede estar en diferentes formatos: tablas, texto, imágenes, etc., y que se caracteriza por el hecho de que deben ser interpretados para que lleguen a tener la validez de prueba. Coincidimos con Koslowski, Marasia, Chelenza y Dublin (2008) en considerar que una información *-dato-* se convierte en una *'prueba'* cuando es incorporada en una justificación. Por lo tanto, la principal diferencia entre el dato y la prueba se debe a su papel durante el discurso, de modo que cuando el dato está integrado en una justificación adquiere la consideración de prueba (Jiménez Aleixandre y Puig, 2011) o, dicho de otro modo, una prueba es un dato científico que apoya una conclusión (Zemal-Saul, McNeill y Hershberger, 2013).

Los datos de los que dispone el alumnado, con los que justificar sus argumentos, pueden ser de dos tipos, siguiendo a Hug y McNeill (2008): a) datos primarios (*first-hand data*) o b) datos secundarios (*second-hand data*). La diferencia entre ambos se debe a su proceso de obtención. Los datos primarios son aquellos que los alumnos obtienen mediante un proceso empírico, esto es, cuando realizan actividades de indagación con las que obtener la información que les permitiría establecer una conclusión. En el caso de los datos secundarios, son datos que se proporcionan a los estudiantes y cuya procedencia viene de otras investigaciones (Magnusson, Palincsar, Hapgood y Lomangino, 2004), o de otras fuentes como textos, tablas de datos, etc., no obtenidos por los estudiantes. A la hora de pedirle al alumnado que maneje datos, como es el caso de este estudio, son importantes los resultados obtenidos en las investigaciones de Hug y McNeill (2008) en las que se analizaban las actuaciones de los estudiantes ante datos primarios y secundarios. En este trabajo, las autoras concluyeron que tanto el alumnado como el profesorado actúa de forma más crítica con los datos obtenidos por los propios estudiantes, ya que cuestionan el procedimiento empleado y son capaces de percatarse de los posibles fallos en el proceso de obtención de los mismos. No obstante, con los datos secundarios no presentaron esa actitud tan crítica, pues les atribuyen un status de validez superior. Como indican estas autoras, es necesario que los estudiantes trabajen con ambos tipos de datos para tener una concepción de la naturaleza de la ciencia más adecuada. Así, el hecho de comenzar

interpretando los datos secundarios mejora la capacidad de los estudiantes para trabajar con los datos primarios, en el sentido de que les proporcionan un modelo de cómo organizar y representar los datos obtenidos en una indagación, realizada por ellos mismos.

Asimismo, el empleo de las pruebas en las justificaciones es una característica contexto-dependiente, como afirman Zohar y Nemet (2002) y Schwarz, Neumen, Gil e Ilya (2003) entre otros, ya que los estudiantes presentan dificultades para usar pruebas sin el conocimiento teórico relacionado. De ahí que sea interesante

sociocientíficos (sobre lo cual existen numerosos estudios, como los recogidos en Sadler, 2011), en los que se les plantea al alumnado una controversia en la cual han de tomar parte como ciudadanos (uso de energías, discriminación...), y b) contextos , es decir, aquellos en los que los estudiantes han de aplicar sus conocimientos científicos en las justificaciones que construyan, como es el caso de las actividades propuestas en este trabajo. La principal diferencia entre el uso de pruebas en ambos contextos está en que los contextos científicos requieren de un conocimiento en profundidad sobre el tema que se está a tratar (Osborne et al., 2004), mientras que en los sociocientíficos deben valorar otros problemas y dimensiones (Puig, 2013), que se alejan de lo meramente teórico.

En relación a los datos y las pruebas, existen varias líneas de investigación centradas en cómo un dato pasa a ser considerado una prueba (Aikenhead, 2004; Sadler, 2004; Kerlin, McDonald y Kelly, 2010). Para nosotros estos aspectos adquieren gran relevancia para el análisis de las tareas realizadas, en las que los estudiantes han de identificar los datos y ser capaces de emplearlos como pruebas en sus justificaciones, durante el discurso argumentativo. No obstante, las operaciones englobadas en el análisis de los datos presentan ciertas dificultades para los estudiantes, como así lo ha puesto de manifiesto la investigación educativa. Algunas de ellas se recogen en el artículo de Hug y McNeill (2008) entre las que destacamos las dificultades a la hora de identificar datos apropiados e inapropiados para construir las conclusiones, y que a menudo emplean sus

experiencias personales en la interpretación de los datos, de modo que proporcionan una perspectiva personal del fenómeno en cuestión.

Un modo de solventar estas dificultades es la propuesta de Duschl y Ellenbogen (2009) quienes enfatizan que se debe abordar con los estudiantes ‘qué cuenta como prueba’, de tal manera que mejore la destreza del alumnado para conectar las pruebas con las conclusiones (o explicaciones). Estos autores establecen un modelo pedagógico en el que establecen un *continuum*

Evidence-Explanation E, figura 2.5).

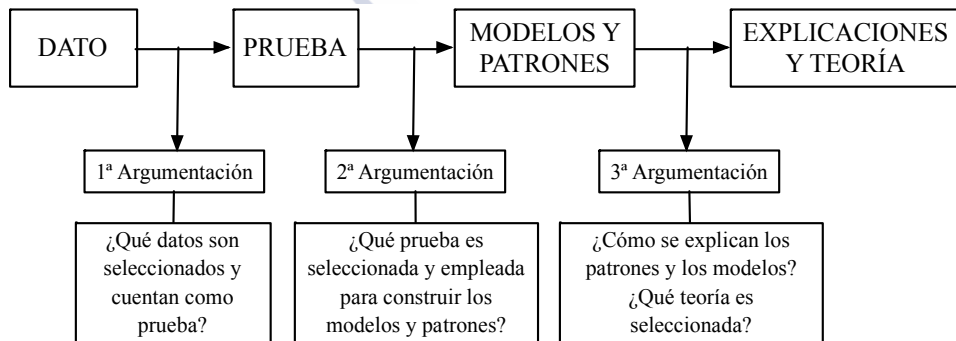


Figura 2.5. Transformación de los datos y proceso de argumentación (Duschl, 2003, en Duschl y Ellenbogen, 2009).

Como se puede ver en este proceso, hay tres momentos en que se hace necesaria la argumentación para transformar la información, que son: 1) paso del dato a prueba, 2) uso de la prueba para determinar los patrones y modelos, y 3) empleo de los patrones y modelos en las explicaciones. Este esquema tiene sus orígenes en una propuesta previa realizada por Duschl (1990, en Duschl y Erduran, 1996) en la que para elaborar las explicaciones científicas debe procesarse la información desde los datos suministrados (*hard data*), transformándolos en datos concretos (*patterns*).

Este esquema resalta la relación entre el uso de pruebas y la argumentación, pues el propio proceso de interpretar la información para emplearla como prueba requiere de un proceso argumentativo.

La argumentación ha sido definida desde varios campos de estudio como la filosofía, la psicología y la didáctica de las ciencias (Puig, 2013), este trabajo adopta la concepción de Jiménez Aleixandre (2010):

“La argumentación consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a pruebas, reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, es decir, sustentados en pruebas” (pp.17).

En este punto y dando continuidad a la relación que existe entre las explicaciones y la argumentación iniciada en el apartado 2.3, hay que recordar que una componente de las explicaciones científicas consiste en el uso de pruebas, que proporcionen veracidad a las mismas. En este punto resulta complejo el separar el uso de pruebas de la explicación de fenómenos de forma científica, pues ambos se articulan en la práctica de lo que podríamos considerar ‘hablar o hacer ciencias’ (Lemke, 1997). Desde nuestro punto de vista, con una explicación científica lo que tratamos es de describir qué sabemos y por qué eso ocurre, no obstante en un diálogo entra en juego otra componente: por qué lo sabemos, esto es, en qué apoyo la explicación del suceso para darle validez. De modo que el discurso deja de ser explicativo para ser argumentativo, en el que las pruebas y las justificaciones adquieren especial relevancia. Es común pedirles a los estudiantes que, tras dar una explicación a un fenómeno, justifiquen su respuesta y en ese momento la prioridad no está en el uso del modelo, sino en el empleo de pruebas que justifiquen por qué esa explicación es adecuada.

Somos conscientes de que realizar esta distinción entre explicaciones y argumentos es en cierta medida confusa, lo cual no es de extrañar teniendo en cuenta la existencia de una ligera controversia sobre el uso que se le otorga a los términos *argumentación* y *explicación*. Algunos autores como Osborne y Patterson (2011) han manifestado la necesidad de realizar una distinción en el uso de ambas nociones, pues su confusión podría tener consecuencias para el alumnado, el profesorado, así como, para los responsables de los currículos educativos. Según estos autores, las explicaciones no surgen ante la necesidad de

justificar una conclusión sino de la necesidad de conocer qué y cómo ocurre un fenómeno natural. En la otra vertiente se sitúan autores como McNeill, Krajcik, Berland y Reiser, quienes han realizado varios estudios (McNeill y Krajcik, 2008; Berland y Reiser, 2009; Zembal-Saul, McNeill y Hershberger, 2013, entre otros) en los que integran la explicación científica y la argumentación en una única estructura, considerando que pese a que existan diferencias entre ambas nociones, existe una relación de sinergia entre estas prácticas científicas lo que facilita su aplicación conjunta, con el fin de construir el conocimiento científico (Berland y McNeill, 2012). Aún así, tanto unos como otros coinciden en que estas prácticas científicas –argumentación y explicación- son diferentes.

En nuestra opinión, la explicación requiere ser capaz de aplicar unos conocimientos ‘teóricos’ a una situación concreta, mientras que la argumentación requiere usar pruebas del por qué ese conocimiento tiene cabida en la explicación del fenómeno. Visto así, la argumentación es más compleja que la explicación o que la modelización, no obstante queremos resaltar que, como se comenta en el siguiente apartado 2.5, entre ambos procesos existen vínculos que favorecen que tengan lugar simultáneamente en la práctica, aunque para su estudio los describamos y analicemos de forma independiente.

La importancia en abordar el uso de pruebas en el aula está determinada por la actual tendencia de que los estudiantes desarrollen las habilidades propias de la práctica científica. Así, en el proceso de investigación científica una de las metas consiste en la obtención de datos que sirvan como pruebas para apoyar o refutar las hipótesis de partida. Hay dos razones fundamentales para integrar la argumentación en el aula, que se recogen de los trabajos de Jiménez Aleixandre (2010, 2012):

1. La argumentación es un proceso social, que tiene lugar en las conversaciones cotidianas sobre temas presentes en la sociedad, los cuales pueden estar relacionados directamente con disciplinas científicas o no, pero igualmente en ambos casos el diálogo argumentativo requiere que las personas empleen pruebas con las que justificar sus conclusiones. En el

caso específico de los contextos científicos, que son los que nos interesan para este estudio, las pruebas empleadas deben estar apoyadas en fundamentos teóricos científicos que le otorguen validez.

2. La argumentación forma parte del proceso de construcción, evaluación y revisión del conocimiento científico. Esto es, las nuevas investigaciones aportan nuevos datos que permiten formular nuevas teorías o bien revisar las existentes, como es el conocido caso de la teoría de la deriva continental de Wegener que se ve modificada con la Teoría de la Tectónica de Placas gracias a los avances tecnológicos que permitieron conocer el fondo oceánico. Por lo tanto, la argumentación contribuye a que los estudiantes pierdan esa noción de que la ciencia sólo genera verdades absolutas y la perciban como dinámica.

La investigación que versa sobre la aplicación de la argumentación en el aprendizaje de las ciencias ha tenido sus inicios a finales de los noventa (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003). Desde entonces se han analizado diferentes aspectos relacionados sobre cómo el alumnado elabora argumentos (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Kelly y Takao, 2002), el papel de pruebas en las justificaciones y conclusiones (Zohar y Nemet, 2002; Jiménez-Aleixandre y Puig, 2011), la calidad de los argumentos elaborados por los estudiantes (Erduran et al., 2004; Sandoval y Millwood, 2005) y diferentes metodologías para el análisis de la argumentación (Duschl et al. 1999; Schwarz et al., 2003). Éstas son sólo una breve muestra de las investigaciones que numerosos autores están realizando en este campo. La línea de investigación en la que se enmarca este estudio corresponde a cómo los estudiantes son capaces de identificar datos y emplearlos como pruebas en sus justificaciones durante el discurso argumentativo. Para lo cual se ha tomado como referencia el modelo de argumentación de Toulmin (1958), el cual ha tenido un gran impacto en análisis de la argumentación en la investigación educativa. Este autor realiza una propuesta de estructura de *argumento*, con el que trata de ampliar los esquemas establecidos en el campo de la lógica hasta tal fecha, como el conocido de Aristóteles formado por ‘premisa mayor’, ‘premisa menor’ y la ‘conclusión’. En

consecuencia, Toulmin propone un modelo de argumento (Toulmin's Argument Pattern, TAP, figura 2.6) que presenta los siguientes elementos: datos (*data*), justificaciones (*warrant*), conclusiones (*claim*), conocimientos básicos (*backing*), calificadores modales (*qualifier*) y las condiciones de excepción o de refutación (*exception or rebuttal*).

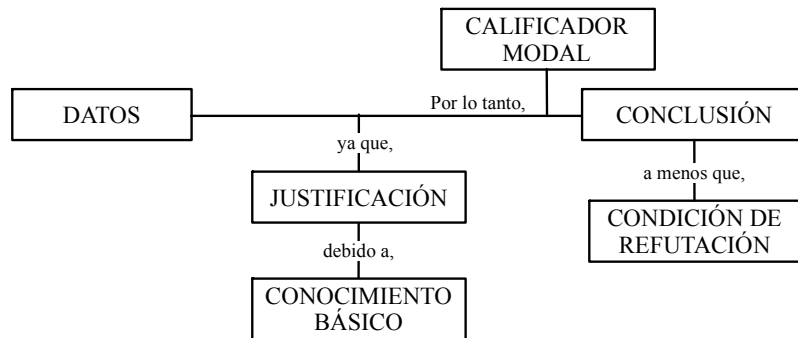


Figura 2.6. Esquema del modelo de argumentación (Toulmin's Argument Pattern, TAP) (Toulmin, 1958).

Una de las ventajas más resaltables del esquema propuesto por Toulmin es que permite visualizar y comprender mejor qué es un argumento y qué elementos debe contener, con intención de trabajar con los estudiantes o con el profesorado. No obstante, aunque proporciona una estructura para analizar si el argumento es o no completo, no sirve para juzgar su precisión o adecuación (Driver, Newton y Osborne, 2000) al contexto en que está siendo empleado. Este modelo es adecuado para argumentos con pocos elementos pero no tanto para argumentos con diferentes niveles de complejidad, en los que se sucede una cadena de razonamientos (Kelly y Takao, 2002). Además a la hora de aplicarlo en el análisis del discurso argumentativo puede ser complejo el tener claro qué corresponde al dato, a la conclusión, a la justificación y al conocimiento básico (Erduran et al., 2004).

Éstas son algunas de las razones que llevan a otros autores a proponer nuevas metodologías de análisis de la argumentación, que han sido recogidas en el trabajo de Sampson y Clark (2008), como son las desarrolladas por Schwarz, Neumen, Gil e Ilya (2003), en el cual la estructura del argumento es mucho más simple,

pues se centran en la naturaleza del razonamiento que conduce al argumento. O bien por Lawson (2003) quien tiene la visión de un argumento como estructura hipotética-predictiva. Ambas estructuras se muestran en la figura 2.7.

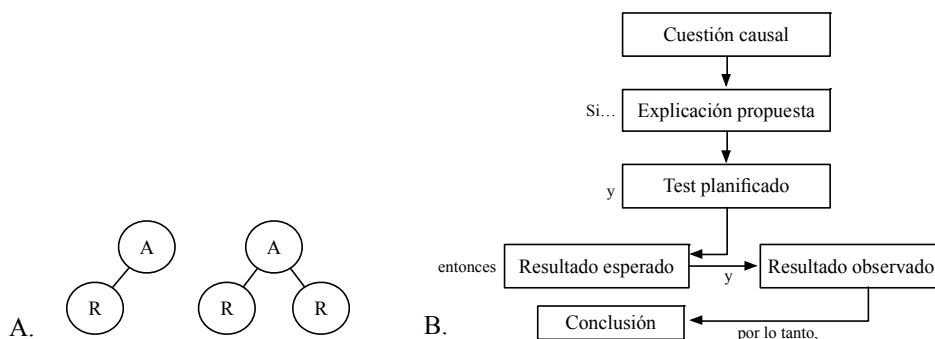


Figura 2.7. El esquema A corresponde a la estructura propuesta por Schwarz et al. (2003) para un argumento compuesto, en el que A se refiere a una afirmación y la R es el razonamiento. El esquema B es el indicado por Lawson (2003).

Para nuestro estudio, el esquema de argumentación de Toulmin nos resulta útil en la medida que es una base para identificar los elementos de los argumentos co-elaborados por los estudiantes. No obstante, lo hemos empleado de otra manera para dar respuesta a la cadena de razonamientos que tienen lugar durante la resolución de los problemas, como se verá en el apartado 3.5.2, de la metodología.

En el proceso de argumentación llevado a cabo por los estudiantes, los argumentos que elaboran son, al mismo tiempo, reelaborados o evaluados. Esto es así porque, como indica Kuhn (2005), ante un discurso argumentativo los estudiantes necesitan habilidades cognitivas para juzgar y seleccionar la conclusión más adecuada o apropiada, lo que promueve la aparición de dos figuras argumentativas, el *contraargumento* y la *refutación*. Así, según esta autora (1991), los contraargumentos son argumentos alternativos al propio y al argumento del oponente, es decir, con los mismos datos se llega a una conclusión diferente; mientras que las refutaciones son críticas a los datos o a las pruebas que apoyan un argumento. Ambas figuras están muy ligadas a los estudios sobre la calidad de la argumentación, los cuales surgen como respuesta a conocer si, además de que los argumentos estén apoyados en pruebas, tienen en cuenta los

argumentos opuestos (Jiménez Aleixandre, 2010). Un trabajo de referencia en este ámbito es el de Erduran, Simon y Osborne (2004), quienes examinan la calidad de la argumentación según la cantidad y la complejidad de las refutaciones que aparecen en un discurso argumentativo. Como se ha indicado y como opinan estos autores, los contraargumentos no cuestionan el argumento principal de forma importante, simplemente es un argumento paralelo. Sin embargo, las refutaciones ponen en cuestión a las pruebas con las que se sostiene un argumento, por ello las consideran como una medida de mayor calidad en la argumentación. La rúbrica, creada por estos autores (tabla 2.2), muestra el creciente nivel en la calidad (del nivel 1 al 5), a medida que en el proceso de argumentación se emplean justificaciones, conocimientos básicos y las refutaciones.

Tabla 2.2. *Rúbrica para el análisis de la calidad de la argumentación elaborada por Erduran et al. (2004).*

El proceso de argumentación consiste en...	
Nivel 1	Argumentos que son una simple conclusión en contra de un contraargumento o una conclusión contra otra conclusión
Nivel 2	Argumentos que consisten en una conclusión en contra de otra conclusión con datos, justificaciones o conocimientos básicos pero sin refutaciones
Nivel 3	Argumentos con una serie de conclusiones o contraargumentos con datos, justificaciones o conocimientos básicos con alguna refutación débil ocasional.
Nivel 4	Argumentos con una conclusión que incluye una refutación claramente identificables. Este argumento podría tener varias conclusiones y contraargumentos
Nivel 5	Un argumento muy completo con más de una refutación

Con el fin de potenciar el uso de la argumentación y, además, una argumentación de calidad es preciso desarrollar ambientes que así lo promuevan, como indica Jiménez-Aleixandre (2008). Siguiendo a esta autora, los contextos argumentativos son aquellos en los que los estudiantes deben: a) generar productos o respuestas, como es el caso de la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?”, en el que han de desarrollar una historia aportando pruebas sobre cómo

se originó dicho sinclinal; b) elegir entre varias explicaciones o teorías, lo cual deben realizar los estudiantes para dar respuesta a qué ocurrió en el conjunto de pisadas que se les plantea en la actividad “Las icnitas de Soria”; c) respaldar sus justificaciones con pruebas; la actividad “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes” requiere que los estudiantes interpreten los datos proporcionados como pruebas para justificar la elaboración del modelo material de dicha cuenta; d) evaluar los argumentos empleando criterios, e) hablar y escribir ciencia y f) tratar de persuadir a sus compañeros para llegar a un acuerdo. Consideramos que las tres últimas acciones se desarrollan de forma integrada en las actividades ya mencionadas, por el hecho de que la resolución de las mismas tiene lugar en pequeños grupos, cuyos integrantes hablan ciencias y deben persuadirse para llegar a una conclusión común que deberán poner por escrito (escribir ciencias).

Es por ello que consideramos que el proceso de argumentación puede desarrollarse de forma oral o también escrita. La investigación se centra principalmente en la argumentación oral, la cual ocurre a través de un discurso argumentativo en el que hay, al menos, dos personas y entre las cuales no hay un punto de acuerdo inicial, lo que hace que deban emplear argumentos para tratar de exponer sus visiones (Van Eemeren, 2012). Aun así existen varias razones para abordar la argumentación de un modo escrito, algunas de ellas son expuestas por Kelly, Regev y Prothero (2008), indicando que la argumentación escrita favorece: a) escribir textos que sirvan para una reflexión personal sobre lo escrito, b) que los estudiantes puedan aprender ciencia escribiendo trabajos y leyendo textos de los demás, c) el tener que emplear un conocimiento conceptual específico y unas herramientas de escritura específicas para la argumentación y d) el desarrollo de una práctica científica que consiste en comunicar las conclusiones a los demás, empleando pruebas en ello.

En el caso que nos ocupa, las actividades propuestas (capítulo 4), están diseñadas para que los estudiantes las resuelvan en pequeño grupo y que, finalmente, recojan sus argumentos en un documento escrito que deberán entregar al docente. Somos conscientes de que esto presenta una limitación y es que el proceso de discurso

argumentativo tiene lugar de forma oral y en la argumentación escrita únicamente indican el argumento final acordado. El motivo por el que optamos por el trabajo en grupo es porque coincidimos con Jiménez Aleixandre (2010) en que una de las metas de la argumentación es la evaluación del conocimiento, que consiste en valorar cuál de las diferentes hipótesis, propuestas por los integrantes de los grupos, se adecúa mejor a las pruebas. Aunque para evaluar el conocimiento no sea requisito indispensable el trabajo en grupos, nosotros sí lo consideramos oportuno para lograr, en primer lugar, la co-construcción de los argumentos, en los que, según esta autora, predomina el intento de persuasión entre los componentes. En segundo lugar, establecer un debate argumentado que favorece el que los estudiantes tengan en cuenta los argumentos opuestos, refutando las pruebas si lo consideran oportuno y planteando contraargumentos, lo cual constituye parte del pensamiento crítico, formando a personas activas socialmente. Por último, la argumentación en grupos favorece que se desarrollen los tres tipos de argumentación: a) *racional*, en los que se busca una conclusión lógica considerando las pruebas disponibles, b) *dialogica*, la cual se establece en los debates cuando se valoran las diferentes alternativas y c) *retórica*, la cual hace referencia al intento de persuasión mediante el uso de argumentos (Driver, Newton y Osborne, 2000).

En resumen, el uso de pruebas constituye un pilar clave en el proceso de la argumentación. No es de extrañar que exista una amplia bibliografía y numerosas investigaciones enmarcadas en la argumentación, pues abordar las ciencias desde esta perspectiva ayuda a los estudiantes a percibir las ciencias como cambiantes y como fruto de un proceso de construcción social.

2.5 La articulación de la modelización y de la argumentación

En la presente fundamentación teórica se han comentado en detalle los aspectos más relevantes sobre la modelización, o explicación de fenómenos, y argumentación, o uso de pruebas, pues constituyen los pilares fundamentales de este trabajo. Sin embargo, el mero hecho de haberlos tratado de forma separada se debe a que cada una tiene sus características propias y son, en sí mismas, líneas de investigación diferentes, aunque actualmente se estén llevando a cabo estudios en que se analizan ambas dimensiones de forma conjunta (Mendonça y Justi, 2013a; Evagorou, Lymbouridou y Nicolaou, 2013, entre otros). Ambos trabajos han promovido el interés en analizar de forma integrada la argumentación y la modelización en la presente tesis.

El análisis acerca de cómo las prácticas de argumentación y de modelización se contribuyen mutuamente es reciente, en cambio, el hecho de que estén estrechamente ligadas se encuentra ampliamente recogido en la literatura. De modo general, como indican Berland y Reiser (2009), las prácticas científicas de argumentación y explicación de fenómenos, o modelización, son complementarias por dos aspectos principales: a) las explicaciones científicas de fenómenos tienen lugar entorno a la argumentación y b) la argumentación crea un contexto en la que las explicaciones son evaluadas.

Desde la perspectiva del proceso de modelización, existe una evaluación continua del modelo, la cual ha de realizarse a través de la argumentación, mediante el uso de pruebas, con las que se pueda determinar si el modelo se ajusta a los datos de los que se dispone (Böttcher y Meisert, 2011). Además, en el caso de que los estudiantes tengan que elaborar una explicación ante un fenómeno en concreto, deberán apoyarse en los modelos teóricos que posean, así como de ser capaces de determinar qué explicación es la más adecuada según el contexto y la información disponible (Reiser, Berland y Kenyon, 2012; Osborne, 2011).

Passmore y Svoboda (2012), quienes aplican el *'Practice framework'*, (Passmore, Stewart y Cartier, 2009) fundamentado en que los modelos presentan un papel central en la elaboración de explicaciones mediante el uso de patrones de datos,

indican que en este proceso existen al menos cuatro aspectos en el proceso de modelización en los que la argumentación tiene lugar: 1) al determinar qué investigar, 2) al elaborar el diseño de la investigación, 3) al emplear un modelo para explicar un fenómeno y 4) al juzgar los modelos e ideas que se están comparando.

Así, desde la perspectiva de la argumentación, la necesidad de los modelos aflora cuando los estudiantes tienen que conectar los datos con las conclusiones mediante una justificación, en la cual subyace un modelo teórico que forma parte del ‘conocimiento básico’. O dicho de otro modo, los estudiantes serán capaces de unir los datos con las conclusiones, es decir, de transformarlos en prueba, si poseen los conocimientos teóricos relacionados con los contenidos que se estén abordando en el problema propuesto. Por lo tanto, coincidimos con Mendonça y Justi (2014) en que un argumento (*argumento científico curricular*, SCA) es aquel en el que las conclusiones proceden de la conexión entre estructuras teóricas y pruebas relevantes.

Esta inclusión de los modelos en la estructura del argumento ha sido propuesta por McNeill y Krajcik (2012), quienes han integrado la construcción de explicaciones, la argumentación y el modelo de argumentación de Toulmin para generar lo que denominan *Explicación científica*. Este término engloba la conclusión, las pruebas y las refutaciones de un modo similar a lo comentado en el apartado 2.4, sin embargo, añaden otro elemento: el razonamiento. Según estos autores el razonamiento permite la unión de las pruebas con la conclusión, al explicar por qué la prueba apoya a la conclusión (figura 2.8). Es decir, el “razonamiento es una justificación que conecta las pruebas con la conclusión” (Zemal-Saul, McNeill y Hershberger, 2013, pp.24). Así cada conexión entre una prueba y la conclusión correspondería a lo que Kelly, Regev y Prothero (2008) denominan ‘líneas de razonamiento’, con las que los estudiantes establecen nexos entre los datos que presentan para llegar a una conclusión final.

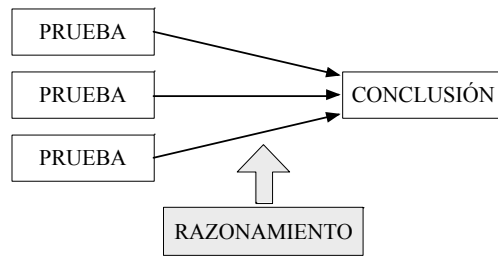


Figura 2.8. *Relación entre las conclusiones y las pruebas a través del razonamiento, según McNeill y Krajcik (2012).*

Lo importante del razonamiento es que debe estar apoyado en modelos científicos (Clement, 1989), o cual concuerda con la rúbrica elaborada por McNeill y Krajcik (2008) en la que se evalúan las explicaciones científicas según los principios científicos que integra, la cual se puede ver en la tabla 2.3. Para entender la articulación entre la modelización y la argumentación, consideramos relevante la progresión que establecen en los *razonamientos*, pues como se ve, la evolución de una explicación se debe al empleo de principios científicos o, en nuestra opinión, modelos con los que se apoya una conclusión.

Tabla 2.3. *Rúbrica para el análisis de las explicaciones científicas McNeill y Krajcik (2008).*

Componente	Nivel		
	0	1	2
Conclusión	No elabora una conclusión	Realiza una conclusión precisa pero incompleta	Realiza una conclusión precisa y completa
Prueba	No proporciona pruebas, o solo pruebas inapropiadas	Proporciona pruebas apropiadas pero insuficientes para apoyar la conclusión. O bien incluye pruebas inapropiadas	Proporciona pruebas apropiadas y suficientes para apoyar la conclusión
Razonamiento	No proporciona razonamientos, o solo proporciona un razonamiento que no une la prueba con la conclusión	Proporciona un razonamiento que une la conclusión y la prueba. Repite la prueba o incluye principios científicos que no son suficientes.	Proporciona un razonamiento que une la prueba con la conclusión. Incluye principios científicos apropiados y suficientes.

De una forma similar, McNeill y Krajcik (2012) proponen una progresión de aprendizaje para las explicaciones científicas en la que el nivel más simple de una explicación estaría compuesto únicamente por una conclusión, una prueba y un razonamiento, mientras que el nivel superior comprendería la conclusión, el uso de pruebas (apropiadas y suficientes), un razonamiento con varios componentes (principios científicos) y refutaciones. A nuestro entender se trata de la progresión científica en la que se integran la argumentación y la modelización (figura 2.9). Por lo que, se extrae que estos autores entienden que un nivel de explicaciones elevado implica que los elementos argumentativos, así como los modelos científicos, deben interactuar entre ellos.

Aunque estos estudios hayan puesto de manifiesto la relación entre la argumentación y la modelización, actualmente se han encontrado escasos trabajos que se centren en el análisis de ambas prácticas, simultáneamente. El primero de ellos es el llevado a cabo por Böttcher y Meisert (2011) los cuales han desarrollado una herramienta de análisis para conocer cómo se desarrolla la argumentación en las fases de la construcción del modelo, tomando para ello la propuesta de Clement (2008). Así, estos autores analizan la presencia de la argumentación durante el proceso de evolución desde el ‘modelo inicial’ hasta el ‘modelo objetivo’, es decir, *target model*, que según Clement (2008) y siguiendo la terminología de Gilbert, Boulter y Elmer (2000) constituiría el ‘modelo curricular’, o lo que es lo mismo, el modelo que se espera que los estudiantes dominen después de la instrucción.

En el estudio llevado a cabo por Mendonça y Justi (2013b) se analizó cómo los estudiantes llevaban a cabo ambas prácticas mientras modelaban los enlaces iónicos y las interacciones moleculares, llegando a la conclusión de que la argumentación había tenido lugar en todas las fases de la modelización (tomando como base el MMD de Justi y Gilbert, 2002), desde la producción de un modelo inicial hasta su evaluación, así como en la consideración de las limitaciones del modelo. Esto aporta una nueva perspectiva, pues estudios previos como el de Clement (2008) y Böttcher y Meisert (2011) indicaban que la argumentación era

importante sobre todo en la fase de evaluación del modelo. En un artículo posterior, Mendonça y Justi (2014) analizaron qué tipos de argumentos eran propuestos por los estudiantes durante la modelización, así establecieron tres niveles para clasificar los argumentos: 1) justificaciones aisladas, 2) conexiones complejas entre la justificación y la prueba, y 3) conexiones complejas entre la justificación y la prueba pero con una finalidad persuasiva. De este último estudio han obtenido que los argumentos del nivel 1 se encontraron en las fases iniciales del proceso de modelización, producción y expresión, mientras que los niveles los niveles 2 y 3 han sido más recurrentes durante la comprobación y la evaluación de los modelos.

Evagorou, Nicolaou y Lymbouridou (en revisión) examinan cómo los estudiantes usan los modelos mientras argumentan en un contexto sociocientífico, en particular, sobre posibles vías para la eliminación de los mosquitos en su área. Para ello han establecido relaciones entre las operaciones de modelización (creación, uso y evaluación del modelo) y las de argumentación (pruebas, razonamiento y refutaciones), encontrando que los estudiantes elaboran un mayor número de refutaciones durante la fase de evaluación del modelo, lo que podría suponer una mejora en la calidad de la argumentación en esa fase, siguiendo a Erduran et al. (2004). Además, Evagorou et al. (en revisión) analizan cómo los procesos cognitivos de la modelización se relacionan con aspectos epistémicos de la argumentación, lo que les lleva a concluir que hay una relación directa entre los procesos cognitivos de alto nivel en la modelización y el uso de operaciones epistémicas argumentativas de alto nivel, pues mientras usan un razonamiento inductivo o evalúan sus modelos, los estudiantes defienden sus conclusiones empleando su conocimiento.

El llevar a cabo actividades en las que se trabaje de forma integrada la modelización y la argumentación presenta ciertos beneficios para los estudiantes. Favorece tanto el que sean capaces de crear y apoyar sus conclusiones, lo cual contribuye a que desarrollen explicaciones más consistentes, como la adquisición de un conocimiento profundo sobre los contenidos a tratar, por el hecho de que

tienen que emplear los principios, o los modelos, científicos que poseen para explicar los fenómenos, como indican McNeill y Krajcik (2008). Asimismo, como se deduce del trabajo de Evagorou, Nicolaou y Lymbouridou (en revisión), desarrollar ambas prácticas, modelización y argumentación, sirve de andamiaje para que el alumnado desarrolle mejores argumentos, pues se ven forzados a apoyar sus modelos con justificaciones.

En nuestra opinión, el desarrollar propuestas didácticas en las que se trabajen ambas prácticas conjuntamente favorece que los estudiantes, por un lado, adquieran y apliquen el conocimiento científico mediante la explicación de los fenómenos y, por otro, lo refinen siendo capaces de justificarlo y de persuadir a sus compañeros a través de la argumentación.

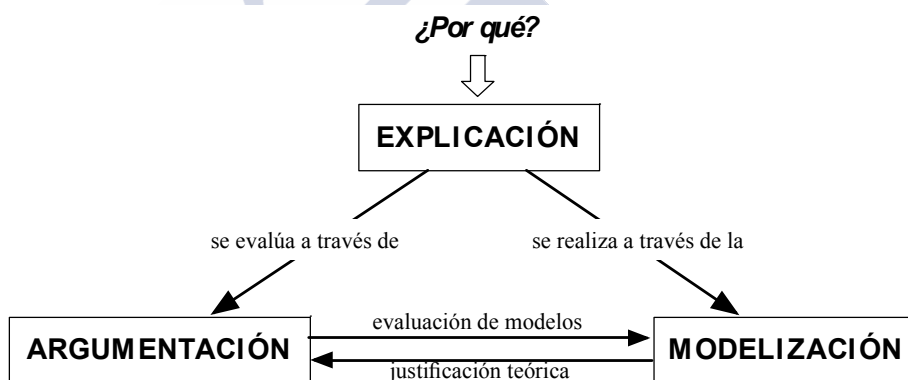


Figura 2.9. Relaciones entre las prácticas de Argumentación, Modelización y Explicación.

A modo de síntesis, el vínculo entre la modelización y la argumentación y, a su vez, con la generación de explicaciones, se ha venido comentando a lo largo de este capítulo y, el hecho de que en este apartado lo consideremos de forma integrada, realza la necesidad de sintetizar cómo estas tres prácticas científicas convergen durante la construcción del conocimiento científico por los estudiantes. Así, desde nuestro punto de vista los nexos entre estas prácticas se pueden resumir gráficamente como se muestra en la figura 2.9. Recordemos que las explicaciones científicas provenían de un *por qué* (Nagel, 1961), y que la respuesta a esta cuestión podría tener como propósito el explicar un fenómeno a través de los

conocimientos, es decir, mediante el uso de modelos (modelización); o bien, podría pretender encontrar pruebas con las que corroborar la adecuación de ese conocimiento (argumentación) (Salmon, 1989). A su vez, y como se ha ido desgranando en este apartado, el aporte de la modelización a la argumentación se debe a que los modelos sirven para guiar y apoyar las justificaciones de los argumentos, así como que la argumentación contribuye a evaluar la adecuación de los modelos al contexto o a los datos disponibles. Finalmente, ambas prácticas (argumentación y modelización) confluyen generando una explicación final, elaborada al amparo de los modelos teóricos y evaluada a la luz de las pruebas.



CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

3.1 Introducción

En este capítulo se abordan los aspectos metodológicos que guían este estudio, basados en la investigación cualitativa, en particular de los estudios de caso, lo que nos permite dar respuesta a los objetivos de investigación, en los que el objetivo de análisis son los procesos de modelización y argumentación, así como la caracterización de sus productos (modelos y argumentos), que los estudiantes emplean durante su discurso en el aula de ciencias.

Este apartado se divide en cuatro secciones. En la primera se describen la investigación cualitativa y los estudios de caso. En la segunda se aborda el análisis del discurso. A continuación, tercera sección, se describe la muestra de la investigación, esto es, el contexto, los participantes y la toma de datos. Para finalizar, se describe cómo se desarrolló el proceso de análisis, detallando los métodos de análisis llevados a cabo con el fin de dar respuesta a los objetivos y a las preguntas de investigación planteadas en la introducción. Estos métodos se aplicaron para obtener los resultados que se presentaran en los capítulos siguientes.

3.2 Investigación cualitativa y estudio de caso

El objetivo principal de esta tesis es conocer la competencia científica que poseen los estudiantes durante la resolución de problemas de geología. Para ello, lo que nos interesa es analizar en detalle las habilidades que los estudiantes demuestran durante el trabajo en grupo, en cuanto a la modelización y la argumentación. De modo que nuestro enfoque de análisis consiste en conocer qué tipo de interacciones se producen entre los estudiantes en el contexto del trabajo en grupo en el aula de ciencias. Por ello, la investigación que aquí se aplica es de tipo cualitativo ya que tratamos de analizar experiencias de individuos o grupos, las interacciones y los textos que escriben, con el fin de comprender cual es su conocimiento y sus destrezas (Gibbs, 2007) en un ámbito científico, en concreto en la disciplina de geología.

La investigación cualitativa, en palabras de Stake (1998), se caracteriza por:

“el énfasis en la interpretación [...]. Destaca la presencia de un intérprete que observe y recoja lo que ocurre, examinando los significados y reorientando la observación para precisar o sustanciar los significados”
(pp. 20-21)

Como indica Stake, en la interpretación de lo que ocurre es donde comienza el análisis de esta investigación, lo cual se hace a través de varias perspectivas: categorización de las competencias científicas, examen de los procesos de modelización y de la argumentación que se comentan en el último apartado de este capítulo.

Debido a que este estudio se centra en procesos de elaboración del conocimiento como parte de un proceso social que ocurre en grupos, precisamos de una metodología elegida que haga posible la comprensión de las diferencias y similitudes que tienen lugar entre los casos particulares que se analizan, por lo que nos centramos en los estudios de caso.

En particular, la metodología consiste en los estudios de caso, que han sido definidos por Yin (2003) indicando que son situaciones que tienen lugar en la vida

real, en nuestro caso un contexto de aula, y en los que las variables no pueden ser controladas en su totalidad. Este autor establece que hay dos grandes tipos de estudios de caso: 1) caso único, se aplica principalmente en estudios longitudinales o en casos representativos; 2) caso múltiple, se analizan varios casos para establecer comparativas. En el caso que nos ocupa, el estudio de caso se caracteriza por ser múltiple, por el hecho de que se analizan varios casos que comparten contextos, y los grupos comparten características de mismo currículum educativo, nivel educativo, actividades a resolver y tiempo destinado a las mismas. Además se han negociado una serie de directrices con los docentes implicados sobre cómo llevar a cabo las actividades diseñadas, con el fin de minimizar las diferencias en el desarrollo de las actividades entre grupos y de poder dar respuesta a los objetivos de investigación.

Al llevar a cabo estudios de caso debemos tener en cuenta que las generalizaciones no son siempre posibles, así, como indica Cohen, Manion y Morrison (2011), dentro de un estudio de caso la generalización puede tener lugar en un pequeño número de estudio de casos que representan el problema completo. La intención de este trabajo no es establecer generalizaciones, sino tratar de conocer qué y cómo se desarrollan los procesos de modelización y argumentación en la resolución de problemas en esos grupos. Otra consideración que debemos hacer es tener en cuenta la fiabilidad y validez del estudio, esto es, la posibilidad de realizar una réplica de los estudios obteniendo unos resultados similares y la demostración de que las herramientas de análisis están realmente discriminando los procesos implicados. La fiabilidad se logra al llevar a cabo un estudio de caso múltiple que es considerado como una forma de replicación de los resultados en un estudio de caso (Yin, 2003), como es nuestro estudio. Un mecanismo para comprobar la validez del estudio es mediante la triangulación de los datos (Stake, 2003), lo cual se consigue al comparar dos o tres métodos de recolección de datos para ver si de ellos se obtienen los mismos resultados, lo que en el presente trabajo se realizó recogiendo datos en tres fuentes: audiovisual, escrita y notas de campo procedentes de la observación en el aula realizada por la autora. A mayores, el análisis de los datos ha sido discutido en detalle entre los dos

investigadores (autora y director del trabajo) con el fin de proporcionar validez interna a las inferencias realizadas, asegurándonos que procedían de un modo fidedigno de los datos recogidos (Cohen, Manion y Morrison, 2011).

3.3 Análisis del discurso

El análisis del discurso es parte importante de la presente tesis por el hecho de que los datos recogidos proceden de la comunicación que se dentro de un grupo de trabajo y de los componentes del grupo con el docente. Este análisis consiste en el estudio del uso del lenguaje en contextos específicos (Gee y Handford, 2012), que en nuestro caso corresponde al contexto de aula de ciencias.

Cazden (2001) señala que el discurso tiene un papel central en la forma que las comunidades desarrollan normas y expectativas, definen los conocimientos comunes, etc., lo que en nuestro caso es imprescindible para que los estudiantes actúen como comunidades de aprendizaje del conocimiento científico. Con el fin de crear esas pequeñas comunidades de aprendizaje, dividimos a los estudiantes en pequeños grupos, lo que se comenta en el siguiente apartado, lo cual está motivado por el hecho de que el trabajo en grupos proporciona un contexto en el que se favorece el intercambio de ideas entre iguales, lo que nos da acceso a sus razonamientos (Kelly, Druker y Chen, 1998). Además, el trabajo en grupos favorece que tengan que decidir juntos qué solución, o combinación de soluciones, proporcionan al problema planteado (Baker, 2009).

Debido a que la ciencia es hablada y escrita, el aprender ciencias implica conocer una nueva forma de comunicarse (Erickson, 1998), por lo que el papel del discurso en ciencias adquiere importancia en la construcción del conocimiento científico. En el aula de ciencias, la expresión oral es importante porque el docente transmite conocimientos y los estudiantes los demuestran a través del lenguaje oral (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003), lo cual es denominado por Lemke (1997) como “hablar ciencias”, pues como indica este autor, el lenguaje no es sólo vocabulario, sino que es un sistema de recursos para

construir significados, sirviéndose de la semántica; es decir, las palabras adquieren sentido en términos de las relaciones que tiene con otros conceptos o ideas. En el caso que nos ocupa, los significados que queremos que los estudiantes construyan están relacionados con la geología, y para ello se han elaborado actividades abiertas que favorecen el diálogo y la discusión entre los estudiantes.

De sus estudios previos sobre el análisis del discurso, Wegerif y Mercer (1997) definen tres tipos de habla, o discurso, que se pueden dar cuando los estudiantes trabajan en grupos: a) de disputa, que se caracteriza por un desacuerdo y una toma de decisiones individual; b) acumulativo, los estudiantes construyen el conocimiento por acumulación de ideas, sin un análisis crítico de las mismas; y c) exploratorio; en el que los miembros del grupo actúan de forma crítica con las ideas propuestas pero de forma constructiva, estableciendo sugerencias y consideraciones. A este último tipo de discurso Evagorou y Osborne (2013) le denominan de negociación de conocimientos compartidos.

Así, el análisis del discurso es importante en este estudio porque buscamos acceder al conocimiento y a las capacidades que presentan los estudiantes durante la resolución de problemas de geología, así como, comprender su capacidad para desarrollar los procesos de modelización y argumentación, a través de su discurso. Como indica Van Dijk (2012), los modelos mentales de los individuos juegan un papel central en su discurso y, a su vez, a través del discurso las personas van interaccionando con otras, estableciendo comunidades de aprendizaje lo que supone una reconstrucción de aquellos modelos mentales. En el caso de la argumentación, las afirmaciones serán consideradas justificaciones según su papel en el discurso (Jiménez Aleixandre y Díaz de Bustamante, 2003), es decir, si su propósito es dotar de firmeza a la conclusión.

El procedimiento que se ha seguido en este estudio para analizar el discurso consiste en una recogida de los informes escritos y de las intervenciones de los estudiantes (en audio y video), que después se han transcrito, este proceso se detalla en el apartado 3.5.

3.4 Contexto, participantes y toma de datos

Esta investigación se llevó a cabo en el curso escolar 2011-12, momento en el que está vigente la LOE, (Ley Orgánica 2/2006 del 3 de mayo de Educación), en tres Institutos de Educación Secundaria (IES) de Galicia, repartidos en diferentes localidades de la comunidad, los cuales pertenecían a un entorno semiurbano, es decir, situados en poblaciones pequeñas. La elección de los centros escolares fue consecuencia de la búsqueda de profesorado de la especialidad de Biología y Geología, dado el contenido disciplinar que se aborda en las propuestas didácticas. Además, deberían impartir clase en los niveles de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (4º ESO) y en 1º de Bachillerato, y además estuviese interesado en participar en este estudio. Para ello nos pusimos en contacto con docentes que presentaban algún tipo de vínculo con la Universidad de Santiago de Compostela: tutores del prácticum del Máster de formación de profesorado y alumnado del Máster de investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales y de la Matemática, en los que imparte docencia el departamento en el que se desarrolló este trabajo. Resultaron cuatro docentes que decidieron participar en el estudio (una mujer y tres hombres), con un total de 6 aulas y 110 estudiantes, como se puede ver en la siguiente tabla 3.1.

A partir de ahí, se enviaron unas cartas a los Directores de sus respectivos IES para solicitar el permiso para tomar los datos de la investigación, así como cartas de autorización destinadas a los padres y a las madres en las que se les informaba del tipo de investigación que se llevaría a cabo en el aula y se les pedía permiso para tomar grabaciones de los menores, asegurando en todo momento la protección de los datos de los participantes.

Por lo tanto, los participantes fueron estudiantes de dos niveles educativos: 4º ESO, de 15-16 años que corresponde al final de la educación obligatoria en España, y 1º de bachillerato, de 16-17 años, que es el primer año de la educación postobligatoria, dos cursos previos a los estudios universitarios.

Estos estudiantes han sido agrupados para la resolución de las actividades, de modo que los grupos se han denominado con las letras mayúsculas, comenzando

en 4º de ESO por la letra E, para evitar confusiones con los grupos analizados en la investigación anterior, comentada en el apartado 1.1.. Se omitieron en ambos niveles las letras K y la Ñ, pues resulta complicado encontrar nombres que comiencen por esas letras, ya que, con el fin de mantener el anonimato de los centros, docentes y alumnado, se emplean pseudónimos, que comienzan por la letra del grupo al que pertenecen, conservando el género. El nombre de los centros ha sido sustituido por el de ríos.

Tabla 3.1. Contextos y participantes del estudio. CmC= Ciencias para el Mundo Contemporáneo.

	4º ESO		1º Bachillerato		Total
Centros	IES Tambre	IES Deza	IES Deza	IES Verdugo	3
Clases	2	1	1	2	6
Grupos	I, J, L, M, N, O, P	E, F, G, H	J, L, M, N, O	A, B, C, D, E, F, G, H, I,	25
Alumnado	25	12	20	48	105
Materia	Biología y Geología		Biología y Geología	CmC	2

En el IES Tambre se tomaron datos en las dos aulas de 4º de ESO que recibían clases de Biología y Geología por la misma profesora, el número de estudiantes en cada aula era de 14 y 11, condicionado por el hecho de que en ese nivel esa materia es optativa, y es elegida por aquellos estudiantes que continuarán estudios post-obligatorios.

En el IES Deza se tomaron datos en dos aulas de Biología y Geología en un aula de 4º de ESO, con un total de 12 estudiantes, y en 1º de bachillerato, en un aula con 20 estudiantes, cuyos docentes eran diferentes.

En cuanto al IES Verdugo, las dos aulas de 1º de bachillerato que participaron cursaban la materia Ciencias del Mundo Contemporáneo, la cual es una asignatura implantada en la LOE (MEC, 2006), con carácter obligatorio por lo que la cursa todo el alumnado de bachillerato independientemente de la modalidad de

bachillerato que elija, en la que se trata de acercar los avances científicos a la ciudadanía.

En todas las aulas se han empleado un total de 3 sesiones completas, de 50 minutos cada una, la primera sesión estuvo destinada a la de la actividad previa e individual (15 minutos), para después comenzar con la primera actividad grupal; en las sesiones segunda y tercera se realizaron las consiguientes actividades grupales, con las puestas en común al final de cada una de ellas. Pasados entre 3 y 5 meses, se regresó al aula para realizar una última actividad individual en la que los estudiantes tuviesen que aplicar los contenidos trabajados en las sesiones anteriores. Las agrupaciones fueron de 3 y 4 estudiantes por grupo.

En la toma de datos se siguió el mismo procedimiento en todas las aulas, durante las actividades individuales (en la sesión inicial y final) se dispuso una cámara de vídeo que recogiese el audio y la imagen de todo el aula, pero durante las actividades grupales cada grupo presentaba su cámara de vídeo y su grabadora, las cuales estaban encendidas desde la llegada de los alumnos hasta la salida de los mismos, es decir, toda la sesión.

Por lo tanto, los datos recogidos incluyen registros en tres formatos. El *vídeo*, necesario para identificar a cada participante, visualizar gestos y manipulación del material proporcionado, así como conocer en profundidad las relaciones sociales que se establecen entre los integrantes de cada grupo, es decir, lo que Plowman y Stephen (2008) denominan “la gran imagen”. El *audio*, a partir del que se realizan las transcripciones. Los *informes escritos*, es decir, las respuestas escritas de los estudiantes, los cuales fueron individuales (primera y última sesión) y en grupo (en la mayoría de las sesiones).

Esta toma de datos tuvo lugar durante el curso escolar 2011-2012, en el momento en que los docentes impartían los contenidos que se abordan en la secuencia didáctica, que se comenta en el capítulo 4, tratando de no alterar el procedimiento de enseñanza planificado por cada docente.

3.5 Análisis de los datos

Del total de 25 grupos de los que se tomaron datos, como se muestra en la tabla 3.1, se han seleccionado 8 grupos para el análisis en profundidad, de los cuales 4 pertenecen a 4º de ESO y 4 a 1º de bachillerato. Para ello, se hizo una revisión previa de todos los grupos empleando unos criterios de selección, que nos permitan elegir a aquellos que representen la mayor diversidad en la realización de las tareas. Estos criterios son: 1) Continuidad, que todos los integrantes del grupo desarrollasen las 5 tareas propuestas (2 individuales y 3 grupales), 2) Diversidad en el desempeño de las tareas, y 3) Contexto, al menos un grupo de cada docente y centros implicados. Esta relación de grupos se muestra en las tablas 3.2 y 3.3, para 4º de ESO y 1º de bachillerato, respectivamente.

Tabla 3.2. Relación de estudiantes, grupos y centros de 4º ESO seleccionados para el análisis.

4º ESO	Aulas	Grupos	Nº estudiantes	Materia
IES Deza	1	G	3	B y G
		H	3	
IES Tambre	2	L	4	B y G
		N	4	

Tabla 3.3. Relación de estudiantes, grupos y centros de 1º de bachillerato seleccionados para el análisis.

1º BAC	Aulas	Grupos	Nº estudiantes	Materia
IES Verdugo	1	A	4	CmC
		B	4	
IES Deza	1	N	4	B y G
		J	4	

En las aulas estudiadas los participantes estaban acostumbrados a trabajar en pequeños grupos, los cuales se mantuvieron para este estudio, puesto que se ha preferido que los estudiantes se organizaran como acostumbran para no alterar el ambiente habitual. De ahí que los grupos N (4º ESO) y J estén compuestos exclusivamente por chicas; los grupos H, B y N (1º de bac.), sólo por chicos, y los grupos G, L y A sean mixtos. Además, una característica importante a considerar

en los grupos que cursaban CmC es el número de integrantes que cursaban también biología y geología, así en el caso del grupo A dos de sus integrantes estudiaban también biología y geología, aunque en el grupo B, sólo uno de sus integrantes.

Tras la selección de los grupos, los informes escritos que se emplean a lo largo de la tesis son copias fidedignas, es decir, respetando el lenguaje y la ortografía originales. Los datos orales han sido transcritos del audio de la forma más literal posible, intentando incluir todos los matices del lenguaje oral. Para ello nos hemos ayudado del video, contrastando qué estudiante está hablando en cada momento y cuáles son sus acciones, y se han considerado las notas de campo de la investigadora. Ambos aspectos complementan al audio, favoreciendo así que la transcripción sea una representación de las actuaciones de los estudiantes, pues no sólo es importante lo que dicen, sino el lenguaje corporal (Gibbs, 2007) y la manipulación del material dispuesto sobre la mesa. Las transcripciones se han realizado conservando el lenguaje empleado por los estudiantes, que puede ser en castellano o en gallego, así como las expresiones y las entonaciones de cada enunciado. En ellas se especifica, el tiempo, es decir, el momento de la sesión en que se produjeron algunas de las intervenciones, el participante, el turno y la transcripción (texto) en sí misma. Cabe indicar que las transcripciones completas se incluyeron en el CD que acompaña a la tesis.

En una primera lectura de las transcripciones, éstas fueron divididas en grandes fragmentos que correspondían a turnos en los que los estudiantes estaban llevando a cabo una misma acción, por ejemplo, elaborar un argumento para un aspecto determinado de la tarea, a lo cual se le denomina episodio (Gee, 2005). En un segundo nivel de análisis, las transcripciones se examinan en profundidad, codificando las intervenciones de los estudiantes según el objetivo de investigación a desarrollar. En este estudio, tomamos como unidad de análisis el turno, que viene indicado por el participante que está hablando en cada momento, y en ocasión fragmentos del turno, si en ese fragmento realizan operaciones diferentes que requieren de una atención individualizada. Para discernir entre

estas dos unidades de análisis, se ha tomado la abreviatura ‘t.’, para referirnos al turno, y ‘L.’ para hacer referencia a la línea del turno en que se encuentra cada enunciado de interés analítico, empleándola mayúscula para evitar confusiones.

En la siguiente tabla 3.4 se relacionan los objetivos de investigación que guían este estudio, ya señalados en el capítulo 1, indicando para cada uno de ellos el objeto y la herramienta de análisis empleada en ambos niveles educativos, lo cual se describe en profundidad en los siguientes subapartados.

Tabla 3.4. Metodologías de análisis para cada objetivo de investigación.

OBJETIVO DE INVESTIGACIÓN	OBJETO DE ANÁLISIS	HERRAMIENTA DE ANÁLISIS
Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes y su desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”	Proceso de modelización	MMD (Justi y Gilbert, 2002)
	Desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”	Niveles de competencia científica para esta dimensión establecidos en el informe PISA 2006 (OCDE, 2008).
Caracterizar el proceso de argumentación de los estudiantes y su desempeño de la dimensión “uso de pruebas”	Proceso de argumentación	TAP (Toulmin, 1958) Subargumentos (Kelly, Druker y Chen, 1998) Pruebas (Berland y Reiser, 2009)
	Desempeño de la dimensión “uso de pruebas”	Rúbrica con los niveles de competencia científica para esta dimensión basados en los del informe PISA 2006 (OCDE, 2008).
Examinar cómo las prácticas de modelización y argumentación se contribuyen mutuamente	Inclusión de modelos en las justificaciones	TAP (Toulmin, 1958)
	Evaluación de modelos en el proceso de argumentación	Böttcher y Meisert (2011)

3.5.1 Análisis del proceso de modelización

Debido a que una de las funciones de la ciencia es elaborar y revisar modelos con los que explicar los fenómenos naturales que nos rodean, los estudiantes han de ser capaces de construir y utilizar modelos como manifestación de su competencia científica.

Para analizar este proceso de modelización se ha utilizado el modelo de modelización de Justi y Gilbert (2002), prestando especial atención a las fases propuestas en su Diagrama para el Modelo de Modelización (MMD, figura 3.1), ya presentado en el marco teórico. El diagrama inicial propuesto por estos autores ha sido adaptado para que contemplase dos aspectos, la modelización en grupo y los requerimientos específicos de las actividades propuestas.

En cuanto a *la modelización en grupo*, esta adaptación requiere modificaciones que no consisten simplemente en considerar el grupo en lugar del individuo, sino que existe una interacción entre el modelo mental (al cual no tenemos acceso) y expresado de cada individuo y a la vez la interacción entre los individuos del grupo. Así, la primera etapa es la que ha sido modificada en mayor medida, pues al comparar la etapa 1 del original (fig. 3.1) y la adaptación que proponemos (figura 3.2) se observa que la fase ‘elaborar un modelo mental’ (etapa 1) ha sido modificada. La razón es que en el diálogo de grupo no se establece primeramente un ‘modelo mental de grupo’ sino que cada integrante expresa sus modelos mentales para integrarlos en un ‘modelo expresado de grupo’, lo que supone un cambio en la etapa 2. Para resolver de modo esquemático esta interpretación hemos añadido una nueva rama (fig. 3.2), que consiste en que el ‘modelo mental individual’ sea verbalizado a un ‘modelo expresado individual’ y que éste contribuya a la construcción del ‘modelo expresado de grupo’. Una vez llegados a este punto, el modelo expresado de grupo podría influir o incluso modificar los modelos mentales de los propios individuos, a los que no se tiene acceso, considerando como analogía del cambio conceptual el ‘cambio de modelo’.

En cuanto a *los requerimientos de las actividades*, la adaptación consiste en atender a los pasos que deben seguir los estudiantes tanto en la tarea propuesta

para 4º de ESO, ¿a qué nos referimos cuando hablamos de estratos?, como en la diseñada para 1º de Bachillerato, “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes”. La adaptación se llevó a cabo en la etapa 3, pues sólo hay un tipo de evaluación que es la cognitiva, es decir ‘llevar a cabo experimentos mentales’ en el diagrama de Justi y Gilbert, y que nosotros hemos modificado en ‘convencer a los compañeros mediante razonamientos específicos’, en los que expresen el por qué el modelo expresado es o no válido. Finalmente, al momento de analizar las limitaciones del modelo lo denominamos ‘evaluar el propio modelo material’, en el que los estudiantes deben indicar si el modelo material final cumple con su planificación previa.

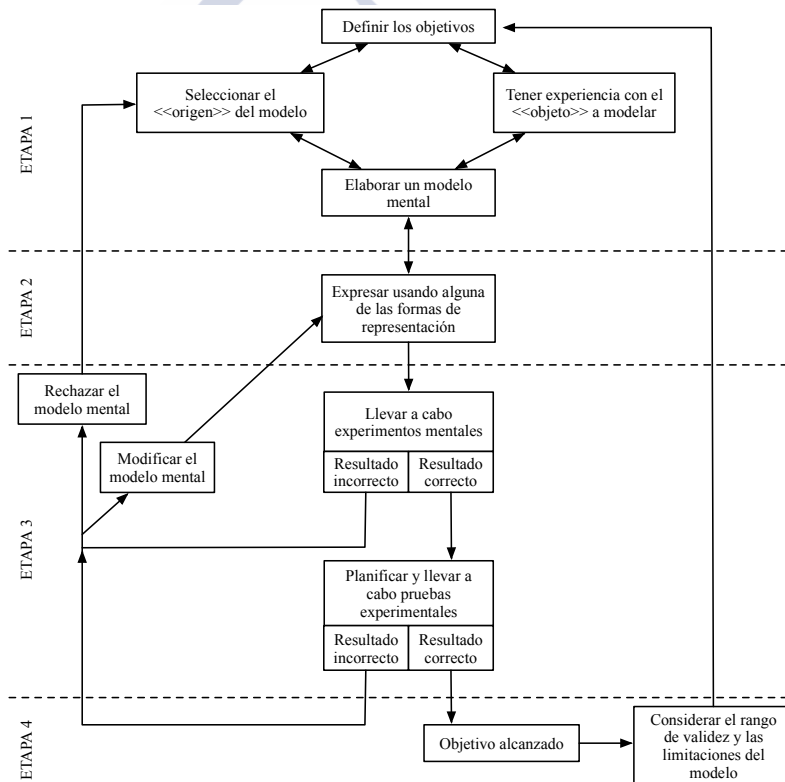


Figura 3.1. Diagrama del Modelo de Modelización (Justi y Gilbert, 2002, tomado de Justi, 2006). División en etapas añadido.

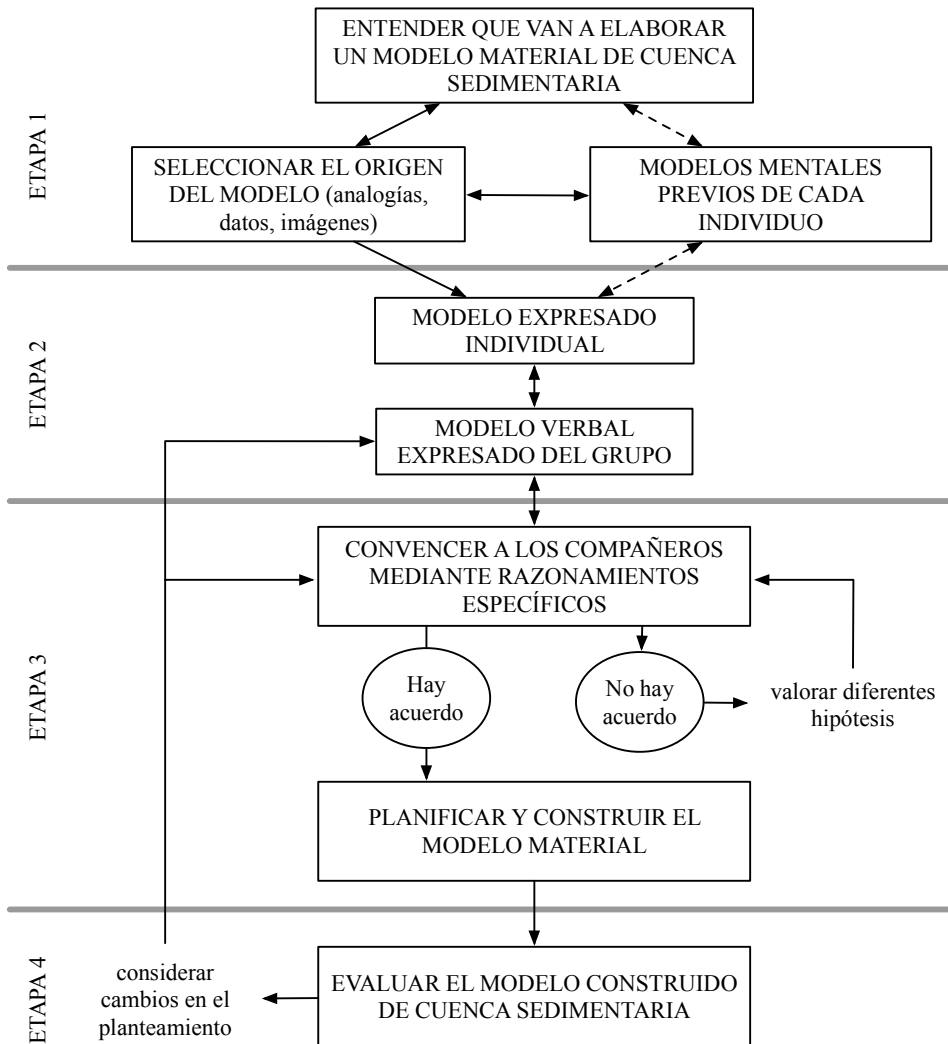


Figura 3.2. Adaptación del Diagrama del Modelo de Modelización (Justi y Gilbert, 2002, tomado de Justi, 2006), para el análisis de la modelización en ambas actividades. Líneas discontinuas=relaciones implícitas. Líneas continuas=relaciones explícitas.

El esquema general que se muestra en la figura 3.2 es tan sólo una base sobre la que comenzar el análisis, pues para cada tarea se elaboró un esquema referencial, que se detallan en los correspondientes apartados del capítulo 5 de resultados, con los que se analiza el grado de ajuste de los procesos de modelización de los estudiantes al referencial.

3.5.2 Análisis de la argumentación

En el análisis de la argumentación nos centramos en tres niveles: los datos, las pruebas y los argumentos. Los consideramos niveles porque en el análisis nos interesa conocer cómo los estudiantes manipulan los datos que después emplearán en las justificaciones, es decir, como pruebas (Koslowski et al., 2008), para construir los argumentos, durante la resolución de las actividades “Las icnitas de Soria”, “¿Quiénes fueron los protagonistas?” y “Historieta de icnitas”. Como ya se ha comentado, nos interesan también las refutaciones y los contraargumentos que se elaboran durante el proceso argumentativo, pues con ellos obtenemos una idea de la calidad de la argumentación que están desarrollando los estudiantes (Erduran et al., 2004).

En las actividades propuestas para el desempeño de la argumentación y de uso de pruebas el primer paso consiste que los estudiante se enfrenten a los *datos*, lo cual se hace de dos maneras:

- a) El uso de la información contenida en la imagen. Los estudiantes obtienen los datos a partir de la interpretación de un conjunto de icnitas que se presentan en formato visual.
- b) La otra forma en que tienen que enfrentarse a los datos es construyéndolos, es decir, representando las icnitas de forma que cuenten una historia, por lo que adquiere especial importancia dotar de validez a los dador, ya que de su inferencia serán obtenidas las pruebas con las que reconstruir la historia. Lo cual es específico para la actividad de 1º de bachillerato.

El criterio empleado para decidir si los datos creados son válidos, consiste en que la interpretación de los mismos realizada por otro grupo conduzca a obtener las pruebas con las que reconstruir la historia inicial, es decir, en su coincidencia, como se muestra en la figura 3.3.

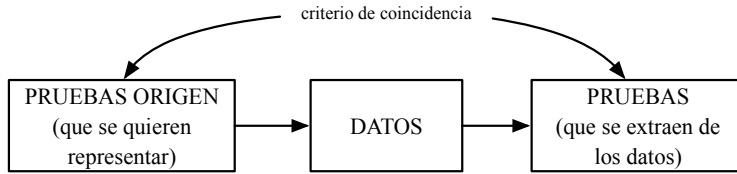


Figura 3.3. Validez de los datos según la prueba que representa.

Las *pruebas* que los estudiantes emplean en las justificaciones, durante el desarrollo de las actividades indicadas, deben cumplir dos criterios, suficiencia y adecuación, siguiendo la definición que McNeill y Krajick (2008). De este modo consideraremos que las pruebas son *suficientes* si se hace explícita la relación de la prueba con los datos. En el análisis de las icnitas las pruebas que los estudiantes aplican pueden provenir directamente de los datos, considerándolas suficientes (ej: aquí el individuo va corriendo), o bien pueden proceder de inferencias realizadas por el estudiante (ej: el individuo se quiere comer al otro), en este segundo caso el tratamiento de la prueba adquiere una connotación interpretativa del propio individuo (pruebas inferenciales), por lo que no se considera suficiente. La necesidad de esta distinción no es nueva, pues estudios anteriores como Driver et al. (2000) o Berland y Reiser (2009) ya han mencionado la necesidad de diferenciar entre ambos elementos –pruebas e inferencias- remarcando la necesidad de que los estudiantes deban diferenciarlos, sobre todo por el hecho de que apoyar las conclusiones en pruebas, en lugar de en inferencias, mejora la evaluación científica del argumento. Mientras que serán *adecuadas* si la interpretación de los datos se ha hecho atendiendo a algún principio científico, como es el caso de que a mayor ángulo de zancada, mayor velocidad llevaba el dinosaurio (Lockley, 1993). El uso de ambos criterios se resume en la figura 3.4.

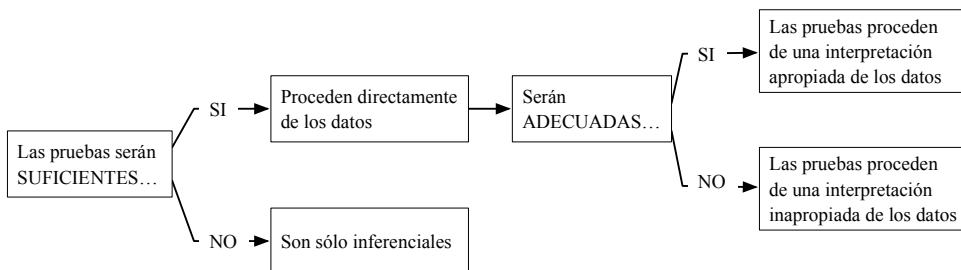


Figura 3.4. Suficiencia y adecuación de las pruebas.

En último término, los datos y las pruebas son empleadas en el discurso argumentativo para elaborar argumentos. Para el análisis de los argumentos que han co-construido entre los integrantes de cada grupo, se ha empleado el modelo de argumentación de Toulmin (1958) aunque cabe indicar que los esquemas de los argumentos han sido elaborados por la investigadora, pues la intención no era que los estudiantes conociesen la estructura del argumento en sí, sino que argumentasen. Ante la realización de estos esquemas es importante considerar los tres características que han sido previamente mencionadas por Kelly, Druker y Chen (1998) y que se aplican en la codificación en el proceso de argumentación de esta tesis:

1. Es necesario tener en cuenta el contexto en que el alumnado está elaborando el argumento, es decir, conocer en qué punto del discurso se encuentra, de modo que podamos discernir si el enunciado es un dato, una conclusión o una justificación.
2. Debemos comprender la relación de una afirmación particular en el conjunto del discurso, de modo que no debemos esperar a que una justificación sea aquello que únicamente comience con un ‘porque...’ o una conclusión con un ‘por lo tanto...’ sino que hay que considerar la intención con que una afirmación se expresa, pudiendo ser en un momento dado una justificación pero en otra ocasión ser una conclusión, lo importante es que sea enunciado con la intención de justificar una conclusión.
3. Es necesario considerar la propia expresión oral (entonación, ritmo, claridad...) que emplea cada estudiante durante el discurso para así ayudarnos a entender el propósito que sigue con esa afirmación.

Todo ello adquiere relevancia desde el momento en que dividimos el discurso natural llevado a cabo entre el alumnado en partes que constituyen el argumento, en donde es indispensable que se mantenga la intencionalidad de los estudiantes en todo momento, para no interferir en los resultados (Erduran, 2008).

Ya se ha comentado que el esquema de Toulmin (ver figura 2.6) es útil para argumentos con pocos elementos pero que nos resulta escaso en la medida en que se suceden una cadena de argumentos, es por ello que hemos realizado una ampliación del mismo de forma análoga a Kelly y Takao (2002), organizándolo en argumentos subsecuentes. Las diferencias entre el análisis de estos autores y nuestro estudio radican en que en lugar de establecer niveles epistémicos, en este trabajo se categorizan los argumentos atendiendo a los tramos que dividen los acontecimientos de la secuencia de icnitas. En cuanto a las similitudes, radican en que se necesitan varias afirmaciones para apoyar el argumento principal. Como se acaba de comentar, es probable que el enunciado de un estudiante presente en un momento el papel de justificación y en otro el de conclusión, de modo que un argumento contiene a su vez otros argumentos (o subargumentos).

Finalmente, se evalúa la complejidad del discurso argumentativo, para lo cual se consideran los argumentos formulados (conclusión apoyada en datos), las conclusiones (afirmación sin datos), las justificaciones, los conocimientos básicos y las refutaciones que se realizan, lo cual nos da una idea de si el discurso ha sido rico en elementos argumentativos, o por el contrario se ajusta a generar una respuesta a un problema.

3.5.3 Niveles de desempeño de la competencia científica

Con la finalidad de dar respuesta a las preguntas de investigación relacionadas con el desempeño de la competencia científica, se han tomado como base los niveles de desempeño establecidos por la OCDE (2008) para las dos dimensiones, “explicación de fenómenos científicamente” y “uso de pruebas”, los cuales se han adaptado en interacción con los datos obtenidos, pues como señalan Lincoln y Guba (1985) para el análisis del discurso del aula no resulta adecuado partir de categorías predeterminadas, ya que éstas emergen en un proceso de interacción con los datos obtenidos. A continuación se muestra por separado las correspondientes adaptaciones.

La rúbrica para los niveles de desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, se realizó en interacción con los datos obtenidos

y considerando como referente los niveles propuestos por PISA 2006 (OCDE, 2008), en los que una forma de ver qué nivel de desempeño presentan los estudiantes se centra en dos características inherentes a las explicaciones: 1) la diversidad de ideas o conceptos científicos a los que hacen referencia y 2) la abstracción de los mismos. Entre los seis niveles que establece PISA hay una progresión desde el nivel 1 al nivel 6, la cual está marcada por la generación de explicaciones cada vez más complejas, es decir, incluyendo una mayor diversidad y calidad de las ideas, conceptos y modelos científicos. Siguiendo estos requisitos, las actividades analizadas, “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?” y “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes”, demandan hasta el nivel 5 de desempeño, ya que en ambas el modelo de cuenca sedimentaria corresponde a un modelo sencillo, que no requiere una explicación de un fenómeno integrado en un sistema, lo que correspondería con el nivel 6.

Así en las tablas 3.5 a y b, aparecen en la primera y segunda columna los niveles establecidos por PISA 2006 (OCDE, 2008), siendo el 1 el de menos y el 5 el de mayor nivel y las tareas que los estudiantes deben ser capaces de hacer en cada nivel, respectivamente. En la tercera, aparecen las tareas que los estudiantes deben hacer adaptadas a cada una de las actividades propuestas y, en la cuarta columna, se resumen las ideas y conceptos que los estudiantes deben emplear para alcanzar cada nivel. De este modo con estas tablas se quiere mostrar la relación entre los niveles que se proponen en el informe PISA para la dimensión “explicación de fenómenos científicamente” y los niveles de desempeño que se tuvieron en cuenta en el análisis de las actividades. Un siguiente paso corresponde a los niveles desempeñados por cada grupo lo cual se presenta en las rúbricas de las tablas 5.4 y 5.5, de capítulo 5 de resultados.

Tabla 3.5a. Niveles de desempeño de la dimensión “explicación de los fenómenos de forma científica”, adaptados a la actividad “¿A que nos referimos cuando hablamos de estratos?” (4° ESO).

Nivel PISA 2006	Aptitudes generales que deben tener los estudiantes según, PISA 2006	Habilidades de los estudiantes durante el desarrollo de la tarea	Ideas científicas englobadas
5	Hacer uso de dos o tres conceptos científicos e identifican la relación entre ellos desarrollando explicaciones de un fenómeno en un contexto.	Hacer uso del modelo de cuenca sedimentaria, que permita explicar el origen la cuenca y la deposición en ella de sedimentos por procesos de erosión, transporte y sedimentación.	Cuatro procesos geológicos: Origen de la cuenca Erosión Transporte Sedimentación
4	Comprender ideas científicas, incluyendo modelos científicos, con un nivel de abstracción significativo. Pueden aplicar un concepto general científico que incluya este tipo de ideas en el desarrollo de la explicación de un fenómeno	Aplicar tres ideas científicas (procesos geológicos) que intervienen en la formación de la cuenca a partir del transporte y sedimentación y el origen de los diferentes tamaños de materiales por erosión.	Tres procesos geológicos: Erosión Transporte Sedimentación
3	Ser capaces de aplicar una o más ideas/conceptos científicos específicos en el desarrollo de la explicación de un fenómeno	Ser capaces de aplicar cómo tiene lugar el transporte de los materiales a la cuenca previo a la sedimentación.	Dos procesos geológicos: Transporte Sedimentación
2	Ser capaces de recordar un hecho científico apropiado y tangible en un contexto sencillo, y pueden utilizarlos para explicar o predecir un resultado.	Ser capaces de recordar cómo tiene lugar la sedimentación en un contexto sencillo para predecir cuál será el orden más idóneo de unos materiales.	Un proceso geológico: Sedimentación
1	Ser capaces de reconocer relaciones sencillas de causa y efecto cuando se les dan las claves relevantes. El conocimiento que utilizan es un dato científico único que se deriva de la experiencia o que es conocido popularmente	Ser capaces de reconocer las características de los materiales y establecer un criterio para ordenarlas en la cuenca, empleando experiencias cotidianas.	Orden de materiales según: Grado de erosión Color

Tabla 3.5b. Niveles de desempeño de la dimensión “explicación de los fenómenos de forma científica”, adaptados a la actividad “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes” (1º BAC). p. = principio.

Nivel PISA 2006	Aptitudes generales que deben tener los estudiantes PISA 2006	Habilidades de los estudiantes durante el desarrollo de la tarea	Ideas científicas englobadas
5	Hacer uso de dos o tres conceptos científicos e identifican la relación entre ellos desarrollando explicaciones de un fenómeno en un contexto.	Ser capaces de explicar el modelo general de cuenca sedimentaria para desarrollar explicaciones sobre él y su apariencia y predecir resultados finales.	Cuenca sedimentaria con tres subcuencas y respectivas columnas estratigráficas Dos p. estratigráficos: - Continuidad lateral - Superposición Capas o estratos
4	Comprender ideas científicas, incluyendo modelos científicos, con un nivel de abstracción significativo. Pueden aplicar un concepto general científico que incluya este tipo de ideas en el desarrollo de la explicación del fenómeno	Ser capaces de aplicar el p. de continuidad lateral de los estratos junto con el p. de superposición de los estratos para identificar las fases de sedimentación	Dos p. estratigráficos: - Continuidad lateral - Superposición Tres subcuencas y sus respectivas columnas estratigráficas Capas o estratos
3	Ser capaces de aplicar una o más ideas o conceptos científicos específicos en el desarrollo de la explicación del fenómeno	Ser capaces de aplicar el p. de superposición de los estratos en la explicación de cómo es la cuenca sedimentaria	Un p. estratigráfico: - Superposición Tres subcuencas y sus respectivas columnas estratigráficas Capas o estratos
2	Ser capaces de recordar un hecho científico apropiado y tangible en un contexto sencillo, y pueden utilizarlos para explicar o predecir un resultado.	Ser capaces de interpretar la imagen satélite que manifiesta la presencia de tres subcuencas y que a cada una presenta su columna estratigráfica.	Tres subcuencas y sus respectivas columnas estratigráficas Capas o estratos
1	[...]El conocimiento que utilizan es un dato científico único que deriva de la experiencia o conocido popularmente	Ser capaces de reconocer que la cuenca está formada por capas o estratos	Capas o estratos

En cuanto a la rúbrica que concierne al “uso de pruebas”, también ha sido adaptada de los niveles establecidos en el informe PISA 2006 (OCDE, 2008), en interacción con los datos obtenidos. Esta adaptación se muestra en la tabla 3.6, cuya primera columna muestra el nivel de desempeño, la segunda indica las aptitudes generales que deben desarrollar los estudiantes en cada nivel, según la OCDE, y la tercera las habilidades que deben presentar los estudiantes en las actividades propuestas, es decir, la tercera columna es en la que se muestra la adaptación propiamente dicha. En esta adaptación se mantiene la progresión en los niveles, del 1 al 6, indicada por la OCDE, que consiste en que para el desempeño del nivel 1 los estudiantes deben ser capaces de proporcionar una prueba sencilla en un contexto simple; pero esto se complica en los niveles que le siguen de tal manera que en el nivel 2 deben comparar y establecer una tendencia en los datos proporcionados para obtener las pruebas; en el nivel 3 deben mostrar la habilidad para escoger entre los datos con los que llegar a una conclusión; en el nivel 4 la complejidad con que analizan los datos y extraen información de ellos es más complicada por tener que integrar diferentes tipos de datos; en el nivel 5 tiene que poder juzgar la validez de las conclusiones según los datos disponibles; y finalmente, en el nivel 6 se supone que pueden comparar y diferenciar conclusiones formadas a partir de un mismo conjunto de datos, contrastar hipótesis, etc. Esta progresión ha sido adaptada, de modo que en los primeros niveles los estudiantes deben extraer información sencilla de la secuencia de icnitas, como el número de individuos que participan y su tamaño relativo (nivel 1), así como la velocidad relativa que presentan (nivel 2). Los dos siguientes niveles hacen mayor hincapié en integrar esa información para proporcionar un argumento sobre el comportamiento de ambos individuos por separado (nivel 3) y de forma conjunta (nivel 4). Por último, los estudiantes deberían ser capaces de seleccionar la conclusión o hipótesis que resulte más adecuada teniendo en cuenta los datos (nivel 5) y a su vez ser solicitar más datos relativos a la profundidad de las huellas, a la época en que quedaron registradas, etc., con las que poder corroborar sus conclusiones (nivel 6).

En el capítulo 6 de resultados se puede ver la aplicación de la rúbrica (tabla 6.16 y 6.17) en la que se muestra los desempeños de cada grupo para esta dimensión.

Tabla 3.6. Niveles de desempeño de la dimensión “uso de pruebas”, adaptados a las actividades “Las icnitas de Soria” (4^oESO) y “Historieta de icnitas” (1^oBAC)

Nivel PISA 2006	Aptitudes generales que deben tener los estudiantes según, PISA 2006	Habilidades de los estudiantes durante el desarrollo de la tarea
6	Mostrar la capacidad de comparar y diferenciar explicaciones enfrentadas examinando pruebas para apoyarlas. Son capaces de formular argumentos sintetizando pruebas de fuentes múltiples.	Mostrar la capacidad para formular posibles argumentos o justificaciones si hubiese datos procedentes de otras fuentes.
5	[...] Son capaces de identificar y explicar las diferencias y similitudes existentes entre los conjuntos de datos y sacar conclusiones basadas en las pruebas combinadas que se presentan en esos conjuntos de datos.	Ser capaces de elegir la hipótesis (conclusión) más adecuada basándose en los datos y pruebas disponibles
4	Ser capaces de interpretar un conjunto de datos expresados en distintos formatos, tales como tablas, gráficos y diagramas, resumiendo los datos y explicando los patrones relevantes. Pueden utilizar los datos para sacar conclusiones relevantes. [...]	Ser capaces de inferir el comportamiento de los dinosaurios de forma conjunta, a partir del patrón de huellas de ambos.
3	[...] Son capaces de sacar una conclusión a partir de un patrón poco complicado o sencillo dentro de un conjunto de datos. [...]	Ser capaces de inferir el comportamiento individual de los dinosaurios a partir del patrón de huellas.
2	Ser capaces de reconocer las características generales de un gráfico si se les dan las claves adecuadas y pueden señalar un rasgo clave en un gráfico o en una tabla sencilla para apoyar una afirmación que se da. [...]	Ser capaces de reconocer la velocidad relativa de los dos dinosaurios (grande y pequeño) según la distancia entre las huellas.
1	[...] En contextos comunes y conocidos, los alumnos de este nivel pueden atribuir un efecto a una causa.	Ser capaces de identificar dos dinosaurios por simple observación. Atribuir el tamaño de las huellas al tamaño relativo de los dinosaurios (grande y pequeño).

3.5.4 Análisis de la modelización y la argumentación

Para el análisis de ambas prácticas científicas de un modo simultáneo se tienen en cuenta los aspectos comentados anteriormente, en cuanto al análisis de estas prácticas por separado, aunque en este caso el análisis presenta ciertas peculiaridades. Para ello se han aplicado dos tipos de metodologías que se comentan a continuación.

La primera consiste en el uso del TAP (Toulmin, 1958), de modo que se esquematizan los argumentos elaborados por los grupos, siguiendo lo comentado en el apartado 3.5.2, prestando especial atención a los modelos que subyacen en las justificaciones. A estos modelos se les ha denominado ‘modelos auxiliares’ por el hecho de que son modelos teóricos que los estudiantes aplican para elaborar el modelo solicitado en la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?”, es decir, el alumnado emplea los modelos de tectónica de placas, de sedimentación, etc., que son auxiliares durante la elaboración del modelo del sinclinal de O Courel. Estos modelos son descritos con más detalle en el apartado 7.2.

La segunda parte del análisis propuesto por Böttcher y Meisert (2011) en el que proponen una evaluación de la argumentación desde una perspectiva basada en modelos. Para ello, estos autores parten de la idea de Clement y Rea-Ramirez (2008) de la diferenciación que hay entre los modelos iniciales, los intermedios y los finales, lo cual es debido al proceso de argumentación que se establece entre los estudiantes. Böttcher y Meisert consideran cuatro niveles en este análisis: 1) nivel del modelo, lo que nos da información sobre el modelo que se está construyendo; 2) nivel del sujeto, es decir, qué estudiante está participando en la modelización; 3) nivel de los datos, considerando los datos que se incluyen en el modelo, y 4) nivel del proceso de argumentación, en el que se examinan los procesos argumentativos que conllevan la evaluación del modelo. De modo que cada nivel constituye una columna en la tabla de análisis, así se pueden establecer las interrelaciones que existen durante estos niveles a lo largo del tiempo, tal y como se muestra en la figura 3.6.

En el presente estudio el propósito con el que se emplea la herramienta elaborada por Böttcher y Meisert (2011) varía, puesto que nosotros analizamos la evolución de los modelos a través del proceso de argumentación. No obstante, ambos análisis tienen en común que se pretende conocer las modificaciones en los modelos por la mediación de la argumentación y además a lo largo de la sesión o tarea. De modo que la adaptación de esta herramienta a nuestros datos únicamente ha consistido en eliminar el nivel de los datos pues, como se verá en el apartado 7.3, se ha ido integrando en el propio proceso de evolución del modelo.

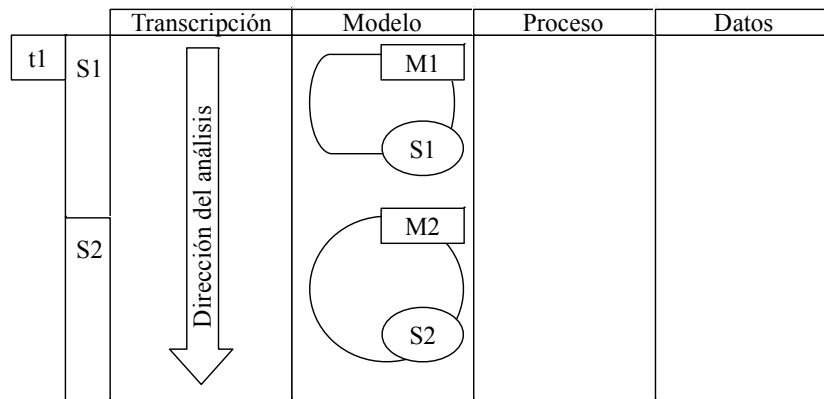


Figura 3.6. Herramienta de análisis elaborada por Böttcher y Meisert (2011), para el análisis basado en modelos de la argumentación. M= Modelo; S= estudiante.

Para finalizar, la metodología que aquí se ha descrito resume las herramientas que se han tomado de la literatura para analizar los datos obtenidos en nuestra investigación, de modo que se han desarrollado adaptaciones correspondientes en interacción con los datos. Estos procedimientos de análisis se describirán con más detalle en los correspondientes capítulos de resultados.



CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LAS UNIDADES DIDÁCTICAS

4.1 Introducción

En este capítulo se presentan las unidades didácticas elaboradas con el fin de responder a los objetivos de la investigación. Para ello se ha aplicado el enfoque de la transposición didáctica (Verret, 1975; Chevallard, 1991) por el cual el conocimiento propio de la disciplina de geología, junto con las prácticas científicas, se trasladan al ámbito educativo en las unidades didácticas. El hecho de tomar datos en dos niveles educativos, nos conduce a desarrollar dos unidades didácticas dando respuesta a los requisitos curriculares de cada nivel, 4º ESO y 1º de Bachillerato.

En este capítulo se presenta en primer lugar cómo es el proceso de la transposición didáctica que se ha llevado a cabo, en segundo lugar se muestran las dificultades asociadas al aprendizaje de los contenidos que se abordan en las unidades didácticas, y, en tercer lugar, se presentan los principios de diseño y ambas unidades didácticas.

4.2 La transposición didáctica

El diseño de las unidades didácticas está fundamentado en la transposición didáctica que, en palabras de (Chevallard, 1991) consiste en “el trabajo que transforma un objeto de saber a enseñar, en un objeto de enseñanza” (pp.45). No

obstante, esta idea fue previamente tratada por Verret (1975, en Chevallard, 1991) quien la presenta como una “transmisión de aquellos que saben a aquellos que no saben. De aquellos que han aprendido a aquellos que aprenden” (pp. 139).

Un modo de simplificar este proceso, que en nuestro caso parte de los conocimientos científicos hasta los conocimientos curriculares del área de ciencias, es considerando la división que hacen de la trasposición didáctica los autores Tiberghien, Vince y Gaidioz (2009), éstos establecen dos etapas: 1) del *conocimiento de referencia al conocimiento a enseñar*, es decir, del conocimiento científico propio de la disciplina a abordar, hasta el conocimiento delimitado por el currículum junto con su contribución a la competencia científica; y 2) del *conocimiento a enseñar al conocimiento enseñado*, en el que están implicados tanto los estudiantes como el docente. Estas dos etapas se muestran en la figura 4.1.

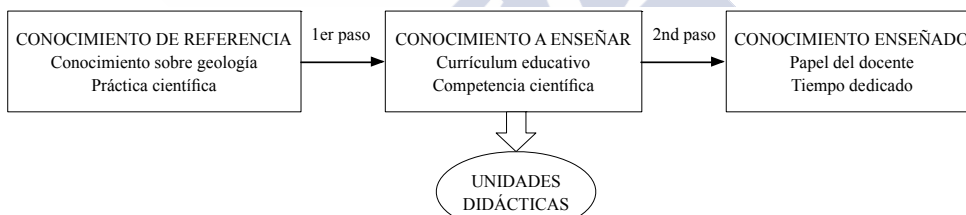


Figura 4.1. Aplicación de la trasposición didáctica al diseño de actividades en este estudio.

Aplicado a nuestro caso y como se puede ver en la parte izquierda de la figura 4.1, el *conocimiento de referencia* está delimitado por: a) los contenidos científicos, que son aquellos relacionados con la geología, en particular con la estratigrafía y paleontología, y b) por las *prácticas propias de la comunidad científica*, en este caso la argumentación y la modelización. Con esa información se elabora el *conocimiento a enseñar* que comprende: 1) lo indicado por el currículum de 4º de ESO y de 1º de bachillerato, esto es los objetivos deben alcanzar los estudiantes en esas etapas educativas, así como los contenidos que se deben impartir, además de 2) las habilidades que engloba la competencia científica y que deben ser promovidas en el aula de ciencias.

Esta etapa culminaría con la elaboración de la secuencia o unidad didáctica, que se presentan en el apartado 4.4, en la cual se presenta la trasposición del conocimiento de referencia al conocimiento a enseñar para cada una de las tareas.

Por último, el *conocimiento enseñado* consiste en aquel conocimiento que se lleva a la práctica educativa, en el que se consideran las propias características de los estudiantes y en el que los docentes tienen un papel importante como mediadores del conocimiento.

4.3 Dificultades de aprendizaje de la geología

Existen varios trabajos en los que se realiza un análisis pormenorizado de las ideas alternativas ante la geología que presenta el alumnado (Pedrinaci, 2000; King, 2008 y Dahl, Anderson y Libarkin, 2005, entre otros). Para este estudio, nos interesan aquellos errores conceptuales relacionados con los contenidos que se abordan en las actividades que se presentan a continuación. Estos contenidos son: 1) Procesos geológicos externos, 2) Fossilización, 3) Formación de los estratos y 4) Tiempo geológico, englobando el tiempo absoluto y el relativo.

En primer lugar, una de las ideas alternativas relacionadas con los procesos geológicos externos fue detectada por Dove (1997) al ver que los estudiantes confundían los procesos de “meteorización” (romper la roca en trozos, sin que éstos sean retirados) y la “erosión” (retirar los materiales sólidos), lo cual no es de extrañar, si tenemos en cuenta que es un error conceptual que King (2010) ha encontrado en algunos libros de texto del Reino Unido, lo cual nos da una idea de que es una concepción que resulta confusa incluso para algunos profesionales.

En cuanto al proceso de fossilización, la idea alternativa que encontró Ault (1984) está relacionada con que la formación del fósil y de la roca son procesos separados: “el agua hace a las rocas convertirse en barro, el barro atrapa a los animales. Debe ser debajo de una cascada. El agua el agua se seca y el barro se convierte en roca”. O como indica Pedrinaci (2000), es común encontrar que los estudiantes consideran que la cordillera ya existía cuando el pez, ahora fossilizado, aún vivía. Según Pedrinaci debe hacerse un estudio contextualizado de los fósiles,

relacionando su presencia con el momento y el lugar en que se formó la roca que lo contiene, pues la explicación de la formación de los fósiles y la presencia de éstos en las montañas, requiere del conocimiento de tres teorías: sedimentación, diagénesis y orogénica.

En tercer lugar, en un estudio llevado a cabo por Blanco Anaya y Díaz de Bustamante (2012) se encontró que algunos estudiantes tienen ideas alternativas en cuanto a la formación de los estratos, pues confunden los estratos (ocasionados por procesos de sedimentación) con las capas del interior terrestre. Además, según Happ (1982, en Driver et al., 1994) muy pocos estudiantes aprecian la relación entre las rocas sedimentarias y el proceso sedimentario por el cual son formados. Desde nuestra perspectiva, la interpretación de la información proporcionada por los estratos es un paso fundamental para una posterior comprensión del tiempo geológico.

En cuanto a los principios estratigráficos, los consideramos conjuntamente con el tiempo geológico, pues constituyen un método de datación del mismo. Así, como indica King (2008), hay dos aspectos cruciales en el entendimiento del tiempo geológico, por un lado, la cantidad de tiempo, medido en años, millones de años y miles de millones de años, lo cual se conoce como el tiempo absoluto, o “deep time” (McPhee, 1981, en King, 2008) y la secuencia de eventos (tiempo relativo), para lo que es necesario acudir a los principios estratigráficos. En opinión de Pedrinaci (2000) los principios de horizontalidad, superposición y sucesión de acontecimientos son integrados con relativa facilidad, siempre que se haya comprendido la formación de las rocas sedimentarias. No obstante, un estudio realizado por Trend (1998) con alumnos estadounidenses, muestra que éstos únicamente diferenciaban dos zonas temporales la “extremadamente antigua” y la “menos antigua”. O como es el caso del estudio llevado a cabo por Ault (1982) en el que comprobó que los estudiantes, de varias edades, eran capaces de ordenar las capas de compost según su edad relativa, sin embargo no eran capaces de transferir ese conocimiento a los estratos, pues para ello aplicaban otros criterios como la disgregación o el color.

Estas dificultades se tienen en cuenta en la elaboración de las unidades didácticas, por lo que se espera que los estudiantes adquieran una mejor comprensión sobre estos conceptos. Además, siguiendo con la propuesta realizada por Pedrinaci et al. (2013) de las diez ideas básicas que comprende la ‘alfabetización en Ciencias de la Tierra’, es decir, aquellos conocimientos que todo estudiante que finalice la educación secundaria, consideramos que con las actividades aquí propuestas se trabajan:

Idea clave 2.8. La escala de tiempo geológico constituye el marco temporal en el que se ubica la evolución histórica de la Tierra. Ya que los estudiantes tienen que manejar datos temporales para reconstruir la historia del sinclinal de O Courel, y para identificar los dinosaurios que dejaron las huellas marcadas, en un determinado periodo.

Idea clave 3.9. Los sedimentos y las rocas sedimentarias se originan por el depósito de componentes erosionados por otras rocas. Esta idea se desarrolla en la actividad de 4º de ESO, “¿a qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”, pues los estudiantes modelan una cuenca sedimentaria.

Idea clave 3.10. Las rocas sedimentarias suponen el principal archivo de la historia geológica y del desarrollo de la vida en la Tierra. Esto se trabaja especialmente en las actividades en que los estudiantes tienen que ordenar los estratos según su superposición, durante la “Reconstrucción de la cuenca de As Pontes”, y según su cronología “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?”.

Idea clave 5.1. Los fósiles constituyen el testimonio de la vida en el pasado y ayudan a entender el presente. Esta idea se trabaja especialmente en la resolución de la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?”, en la que deben comprender que los fósiles son marinos, lo cual condiciona su ambiente de formación.

Idea clave 7.4. Las aguas que circulan por las zonas continentales erosionan, transportan y sedimentan materiales. Lo cual se desarrolla en la actividad “¿a qué

nos referimos cuando hablamos de estratos?”, en la que los estudiantes deben entender el papel del agua en la formación de la cuenca sedimentaria.

Debido a la extraordinaria lentitud con la que ocurren la mayor parte de los procesos geológicos, hace que los alumnos perciban las estructuras geológicas como algo inalterable (Pedrinaci, 2000), lo cual reitera la necesidad de abordar estos contenidos de una forma innovadora en la que la interpretación tenga un papel importante (Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos, 1996), tal y como se manifiesta en las actividades que se presentan a continuación.

4.4 Diseño de unidades didácticas

En el diseño de las dos unidades didácticas, una para 4º de ESO y otra para 1º de bachillerato, se han tenido en cuenta: 1) Las prácticas científicas que queremos que desarrollen los estudiantes, esto es, la modelización y la argumentación, las cuales se engloban dentro de la competencia científica, y 2) el conocimiento propio de la disciplina, es decir, los conocimientos científicos sobre la estratigrafía y la paleontología, adecuados a los contenidos que establece el currículum. De modo que las unidades didácticas corresponden con el conocimiento a enseñar teniendo en cuenta la transposición didáctica.

Principios de diseño

Con el fin de promover la modelización y la argumentación, en el diseño de actividades debemos tener en cuenta unos principios de diseño.

En el caso de la argumentación, Jiménez-Aleixandre (2008) indica que hay que tener en cuenta tres aspectos, los cuales consideramos también necesarios para las actividades de modelización, puesto que las actividades basadas en la modelización son aquellas en las que los estudiantes tienen que elaborar, probar, cambiar, y discutir tanto los contextos como el uso y las limitaciones de los modelos (Mendonça y Justi, 2011), lo cual se realiza a través de procesos argumentativos. Así estos principios de diseño son:

1. *El papel de los estudiantes* debe ser activo, es decir, controlando su propio conocimiento, actuando como productores de conocimiento más que como

consumidores del conocimiento producido por otros. Como es el caso de la elaboración de las cuencas sedimentarias, en las que deben emplear sus modelos de formación de una cuenca sedimentaria y, en el caso de 1º de bachillerato tienen que emplear los datos suministrados en forma de columna estratigráfica.

2. *El papel del docente* como mediador: aunque las actividades que aquí se proponen demandan un papel activo de los estudiantes, desarrollando las prácticas de modelización y argumentación, los docentes implicados deben actuar como guía en esos procesos estableciendo preguntas a los alumnos con los que se promueva el razonamiento, el uso de modelos y la argumentación. Además, las secuencias didácticas que aquí se proponen han sido negociadas previamente con los docentes implicados.

3. *Las actividades de aprendizaje* deben ser de preguntas abiertas, en las que tenga cabida a la discusión y el diálogo. Así, esta Jiménez Aleixandre (2010) defiende que hay cuatro contextos que promueven la argumentación: 1) elaborar productos que puedan ser comparados y evaluados, esto ocurre en las actividades de modelización, cuando se les pide a los estudiantes que elaboren una cuenca sedimentaria en grupo, por lo que deben establecer un consenso mediante la argumentación; 2) elegir entre dos o más alternativas en base a las pruebas disponibles, un buen ejemplo de ello son las actividades en las que los estudiantes tienen que analizar las icnitas, de modo que se establecen varias alternativas y deben elegir cuál es la más acorde con los datos que poseen; 3) intentar persuadir a otras personas o alcanzar acuerdos, por el hecho de que las actividades propuestas se desarrollan en pequeños grupos y deben dar una única respuesta, el alumnado tiene que persuadirse para que sus ideas queden reflejadas en la respuesta final; y 4) apoyar sus conclusiones u opciones en pruebas, esto tiene lugar en las actividades en que se les proporcionan datos que pueden ser integrados como pruebas en las justificaciones, lo cual se da en las actividades propuestas, por ejemplo, en “¿cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?” en la que deben justificar sus argumentos y modelos empleando los datos proporcionados.

Las dos secuencias didácticas que se presentan a continuación comprenden 5 actividades cada una. La primera es una actividad pretest, de lápiz y papel, que los estudiantes resuelven de forma individual. Las siguientes tres actividades son de aplicación de conocimientos y de desarrollo de prácticas científicas, las cuales se desarrollan en pequeños grupos (3-4 estudiantes). La última tarea consiste en un postest, que de nuevo es individual y de lápiz y papel.

4.4.1 Secuencia de actividades para 4º de ESO

La secuencia de actividades para 4º de la ESO, tiene en cuenta lo que marca el *Decreto 133/2007, del 5 de julio, por el que se regulan las enseñanzas de la educación secundaria obligatoria en la comunidad autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2007). Según el currículum, las actividades que se describen a continuación están centradas en el ‘bloque de contenidos II: La tierra, un planeta en continuo cambio’, en particular los contenidos que se abordan son:

- Reconocimiento de la variable tiempo geológico: su magnitud, la datación relativa y absoluta.
- Identificación de los principios y procedimientos que permiten reconstruir la historia de la Tierra y utilización del actualismo como método de interpretación.
- Reconocimiento del proceso de fosilización. Identificación de los fósiles más importantes en cada etapa. Utilización de los fósiles como indicadores de las características de los ambientes y climas del pasado.
- Reconstrucción de historias geológicas sencillas a partir de una columna estratigráfica.
- Identificación de las eras geológicas y situación de los fenómenos geológicos y biológicos más relevantes que ocurrieron en cada una.

A modo de resumen, se presenta en la tabla 4.1 una síntesis de las tareas diseñadas para 4º de ESO, indicando la sesión en que fue implementada cada tarea, el desempeño que requiere del alumnado y los contenidos de cada una de ellas.

Tabla 4.1. *Resumen de los desempeños y contenidos que se trabajan en cada una de las tareas diseñadas para 4° de ESO.*

Sesión	Tarea	Desempeño del alumnado	Contenidos
1	1.El gran Cañón	Identificar las respuestas correctas empleando sus conocimientos	Meteorización Fosilización Erosión
	2.¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?	Elaborar un modelo material de cuenca sedimentaria empleando modelos teóricos tales como la sedimentación, el transporte y la erosión.	Cuenca sedimentaria Sedimentos Agua como agente geológico externo
2	3.Las icnitas de Soria	Establecer conclusiones sobre qué pudo ocurrir en un conjunto de icnitas empleando para ello la cinemática de las huellas.	Yacimiento paleontológico Características de las icnitas: tamaños, distancias, ángulos de zancada
3	4.¿Quiénes fueron los protagonistas?	Averiguar a qué dos dinosaurios se les podría atribuir el protagonismo en la secuencia de icnitas anterior, empleando para ello información relativa a: dato temporal, relación trófica, tipo de locomoción y relación tamaño-peso.	Etapa geológica de las icnitas: Cretácico inferior. Sucesión de las edades de los dinosaurios Tiempo en geología (millones de años) Características de los dinosaurios: herbívoro/carnívoro, bípedo/cuadrúpedo, masas corporales, tamaño corporal.
4	5.Interpretación de una columna estratigráfica	Aplicar conocimientos teóricos sobre estratigrafía para analizar la columna	Principios estratigráficos Regresión y transgresión marina

Hay que indicar que la secuencia de actividades se llevó a cabo tras las sesiones que cada docente consideró necesarias para desarrollar los contenidos que en ellas se abordan, estas sesiones de instrucción tuvieron lugar los días previos a la realización de estas actividades.

Las actividades que se comentan a continuación son las que han sido objeto de estudio en esta tesis, es decir, las tareas 2, 3 y 4, pues en ellas es donde mejor se

manifiesta el desarrollo de las prácticas de modelización y de argumentación. Mientras que las actividades 1 (pretest) y 5 (postest) se llevaron a cabo con el objetivo de analizar los conocimientos teóricos de los estudiantes, lo cual será examinado en posteriores estudios.

Actividad 2. ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?

Esta tarea es la primera de la secuencia y se llevó a cabo en la primera sesión de toma de datos. El objetivo de la misma es que los estudiantes modelen una cuenca sedimentaria empleando sus propios conocimientos. Ésta es una adaptación de una práctica clásica de geología que consiste en simular una cuenca sedimentaria a partir de un conjunto de materiales: 2 tipos de arena, grava, recipiente y agua.

El planteamiento de la actividad está enfocado a la modelización de una cuenca en un medio sedimentario de tipo lacustre que se formó como resultado de los procesos geológicos externos. De ahí que aunque el modelo final sea el de cuenca sedimentaria, se busca que los estudiantes sean capaces de describir el proceso de erosión, con el que explicar las diferentes granulometrías de los materiales, el proceso de transporte por el que los materiales se trasladan desde el lugar en que fueron meteorizados hasta la cuenca en la que sedimentarán, y el proceso de sedimentación para explicar el orden de las capas de los materiales en la propia cuenca. De este modo podríamos decir que hay tres modelos ‘parciales’ implicados: erosión, transporte y sedimentación, relacionados entre sí y que deberán ser activados por los estudiantes para elaborar un modelo material completo de cuenca sedimentaria.

Procedimiento de resolución

Previo a la elaboración del modelo material, se proponen unas preguntas (1, 2, 3, y 4) para suscitar la reflexión sobre las analogías a emplear y la planificación de la elaboración del modelo material.

Después de realizar las explicaciones pertinentes sobre cómo se forma una cuenca sedimentaria, los estudiantes deben emplear los análogos proporcionados, es decir, deben considerar que los materiales corresponden con los sedimentos, el

agua juega un doble papel por ser el agente de transporte y el medio de sedimentación, y el recipiente corresponde a la cuenca sedimentaria, que asemeja un lago.

Una vez realizado el modelo material, se les proponen unas preguntas finales (5, 6, 7 y 8) para promover la reflexión sobre el modelo y la disposición de los estratos en dichas cuencas, simplemente para ver si son capaces de aplicar el conocimiento teórico sobre los principios de los estratos y la datación relativa en lo que podríamos considerar una cuenca sedimentaria incipiente.

¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?

Queremos simular cómo se depositan los materiales procedentes de la erosión en una cuenca sedimentaria.

Materiales:

- Recipiente de plástico transparente
- Arena de playa
- Arena (de gato)
- Grava
- Agua

Para comenzar debéis razonar lo siguiente:

1. En el modelo que vais a construir, ¿qué elementos de una cuenca sedimentaria relacionaríais con los materiales que se os proporcionan?
2. ¿Cuál es el fenómeno que lleva los materiales hacia la cuenca sedimentaria?
3. ¿En qué se parecen y en qué se diferencian los materiales de los que disponéis? ¿Cómo vais a tener esto en cuenta?
4. ¿Cómo creéis que se depositarán? ¿Y por qué?

A continuación, planificar entre los integrantes del grupo cómo vais a añadir los materiales (el orden, el número de capas, etc.) y escribirlo. Ahora realizar el modelo depositando los materiales según vuestra planificación.

Finalmente, responder las siguientes preguntas:

5. ¿Cuántos estratos obtuvisteis?
6. ¿Cuál de ellos corresponde con el más antiguo? ¿Y cuál con el más reciente?
7. ¿Qué otras características cumplen estos estratos?
8. ¿Qué información acerca de la Historia de la Tierra nos pueden proporcionar los estratos?

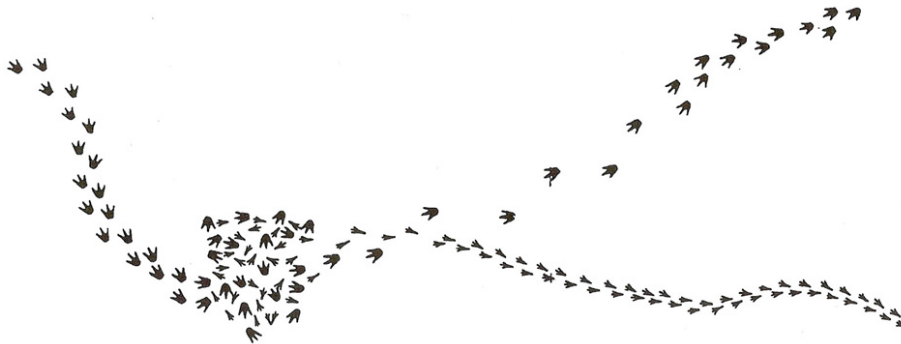
Actividad 3. Las icnitas de Soria

Las icnitas de Soria se lleva a cabo en la segunda sesión. El objetivo es contribuir a la capacidad argumentativa de los estudiantes, debido a que existen varias respuestas posibles y deben elegir entre la que mejor se adecúe a sus interpretaciones. El objetivo de esta actividad es que los estudiantes sean capaces de proponer hipótesis sobre qué pudo ocurrir en la secuencia de icnitas y establezcan un debate argumentado para concluir qué hipótesis es la más adecuada atendiendo a los datos.

La propuesta didáctica está compuesta por un enunciado que especifica el contexto del problema: *un yacimiento paleontológico de Soria*, sigue con la imagen de la secuencia de huellas y termina indicando que, por grupos, hay que esclarecer qué ocurrió en esta secuencia.

Las icnitas de Soria

Los alumnos de 1º de bachillerato, del IES Antonio Machado de Soria, encontraron un conjunto de pisadas en un yacimiento paleontológico próximo a la ciudad. Tras tomarles fotografías y analizarlas, no logran esclarecer qué ocurrió en esa secuencia de pisadas. Por este motivo decidieron enviar un dibujo de las mismas a diferentes IES de España para que otros alumnos/as les ayuden. Este conjunto de pisadas es el que se muestra a continuación:



Por grupos, debéis esclarecer qué ocurrió en esa secuencia de pisadas. Después, el conjunto de todo el aula deberá extraer una conclusión, que será la que se envíe como respuesta a los compañeros del IES de Soria. ¿Necesitaríais conocer alguna otra cosa?

Antecedentes de la propuesta

Los primeros en realizar una propuesta didáctica con esta secuencia de icnitas fueron Hurd et al. (1989), la cual es una secuencia inventada con un fin didáctico como asegura Lockley (1993).

No obstante, nosotros tomamos estas icnitas del trabajo de Lederman y Abd-El-Khalick (1998), quienes emplean esta secuencia con la finalidad de ayudar a que los estudiantes comprendan mejor la naturaleza de la ciencia, en particular contribuye a que los estudiantes diferencien entre lo que es una observación de una inferencia así como a que se den cuenta de que hay varias interpretaciones posibles para un mismo conjunto de datos. En esta propuesta lo único que se les muestra a los estudiantes son las icnitas por lo que hay una amplia variedad de respuestas posibles. Sin embargo, nosotros decidimos contextualizarla en “Soria (España)” y en “un yacimiento paleontológico”, ambos datos delimitan en cierta medida el número de respuestas, lo cual es interesante dado que queremos favorecer la elaboración de argumentos, contraargumentos y refutaciones, y si todas las respuestas fuesen válidas no habría lugar para la argumentación (Kuhn, 2005). Según Izquierdo (2000) otra de las finalidades de esta propuesta es que los estudiantes tengan constancia de que los científicos no saben lo que ocurrió realmente.

Otro estudio en el que se ha propuesto una secuencia de icnitas con fines didácticos es el de Sequeiros, Pedrinaci y Berjillos (1996). Estos autores emplean un conjunto de huellas diferente y de mayor complejidad titulada “¿Quién se comió al dinosaurio?”, en la que se busca que los estudiantes reconstruyan la secuencia de acontecimientos que tuvieron lugar. Cabe resaltar que, como indican los autores, no se trata de que los estudiantes reproduzcan el trabajo de los profesionales, pero esto no debe suponer un impedimento para que intenten resolver casos menos complejos.

Procedimiento de resolución

La resolución de este problema requiere que el alumnado se ponga en la piel de un investigador para buscar las interpretaciones posibles a estas pisadas. Como afirma Lockley (1993) este trabajo comienza por estudiar la geología del terreno en el que las icnitas están inmersas, su tamaño, profundidad, orientación, etc. A continuación se representan en un plano o una réplica para su posterior interpretación, lo cual es un proceso bastante subjetivo. En esta actividad el alumnado desconoce los datos geológicos, partiendo de lo que sería una réplica de las icnitas. Por ello, lo que los estudiantes deben realizar es observar, hacer las correspondientes inferencias y proponer una conclusión acorde con los datos extraídos. En este proceso las pautas que dan pie a la argumentación son 1) las observaciones les permiten obtener *datos* con los que 2) infieren las *pruebas* para justificar sus conclusiones.

Basándonos en la Paleocnología, uno de los datos clave para justificar qué ocurrió es el *ángulo de zancada*, formado por tres pisadas consecutivas (con alternancia de extremidad), indica que a mayor ángulo, mayor velocidad y viceversa (Lockley, 1993). A modo de resumen, una de las posibles interpretaciones de la secuencia de huellas es: en el primer tramo ambos individuos van andando, en el segundo, el de huellas grandes empieza a correr, pues su ángulo de zancada aumenta, en el tercero los dos corren. Mientras que en el cuarto el ángulo de zancada no nos ayuda, pero en el quinto podemos volver a afirmar que las únicas pisadas que quedaron registradas indican que el individuo va andando. Por lo tanto, queda un último interrogante ¿qué ha pasado con el individuo del que no quedan huellas registradas? Podría ser comido por el otro, salir volando, que sus huellas se borrarán o incluso que las huellas de ambos individuos pertenezcan a momentos diferentes, es decir, que no fueran sucesos simultáneos.

Para terminar, una de las preguntas que se plantea es “¿necesitarías conocer alguna otra cosa?” para dar oportunidad a que los estudiantes indiquen si necesitan más datos para corroborar sus conclusiones, tales como a la profundidad de las huellas en diferentes tramos o a las dimensiones reales de las mismas.

En el momento en que se ha llegado a una conclusión dentro de los pequeños grupos se establece una puesta en común en la que cada grupo expone sus argumentos, de este modo pueden percibir que un mismo conjunto de datos da lugar a varias interpretaciones.

Actividad 4. ¿Quiénes fueron los protagonistas de las huellas?

Este problema se desarrolla en la tercera sesión. Constituye una segunda parte del problema “Las Icnitas de Soria” pues comienza datando las icnitas en un periodo de tiempo de entre 145 a 120 millones de años de la actualidad. El objetivo de esta segunda parte es que los estudiantes averigüen, mediante el uso de datos, a qué dos dinosaurios se les podría atribuir la autoría de la secuencia de icnitas anterior.

Procedimiento de resolución

El procedimiento de resolución de este problema consiste en interpretar los datos proporcionados para justificar a qué dos dinosaurios corresponden las huellas. Los datos proporcionados son de tres tipos: 1) características de las huellas, lo cual incluye si son bípedos o cuadrúpedos y el tamaño relativo de las mismas, 2) tipo de alimentación, si son carnívoros o herbívoros, y 3) el periodo geológico en que vivieron. Los tres tipos de datos son importantes para resolver el problema, sin embargo la información más relevante es la cronología de las icnitas y el de los dinosaurios.

Según estos datos, y como respuesta más idónea cabe indicar que el Gigantosaurius queda descartado porque su periodo de existencia no coincide con el Cretácico inferior; el Baryonyx al ser piscívoro es probable que no sea el depredador, pero podría ser la presa ya que vivió durante el Cretácico inferior; el Utahraptor es carnívoro y podría ser el depredador, ya que existió durante el Cretácico inferior; y, por último el Hypsilophodon al ser herbívoro correspondería con la presa, y aunque sea durante un breve periodo de tiempo sí existió durante el Cretácico inferior. Por lo tanto, como conclusión, el Utahraptor se considera el depredador, es decir, el que deja registradas las icnitas grandes y el que sale sólo

en el tramo 5. Mientras que las otras icnitas corresponderían al *Hypsilophodon* ya que es de menor tamaño que las del *Baryonyx*.

El estudio geológico de la zona de las icnitas (= huellas de dinosaurios) pone de manifiesto que el origen de las icnitas sorianas se sitúa en el etapa conocida como Cretácico Inferior, es decir, entre unos 145 a 120 millones de años de la actualidad. Basándonos en diversas características de estas pisadas, se barajan varias posibilidades sobre los dinosaurios protagonistas de esta historia que son:



Giganotosaurus: bípedo y carnívoro.

Vivió a mediados del periodo Cretácico, hace unos 96 millones de años. Medía entre 12,2 y 13 metros de longitud y pesaba entre 6,5 y 13,3 toneladas.



Baryonyx: bípedo y piscívoro, que vivió en

el Cretácico, hace entre 130-112 millones de años. Pudieron medir 10 m de largo y pesar 2 toneladas.



Utahraptor: bípedo y carnívoro, que vivió hace

aproximadamente entre 145 y 100 millones de años. Medía 5-7 m de largo y pesaba 1 tonelada.



Hypsilophodon: bípedo y herbívoro, vivió en el

Cretácico aproximadamente entre 125-100 millones de años. Medía unos 2 m y pesaba 70 kg.

2) Indicar basándoos en pruebas, a qué dinosaurios pensáis que pertenecen los individuos que originaron las pisadas.

Queremos hacer notar que el hecho de que uno de los dinosaurios sea el *Utahraptor* puede conllevar ciertas controversias, pues su nombre lo situaría en el estado de Utah (EEUU), de modo que aquí se generaría discusión puesto que ese nombre podría ser debido a que se encontrase por primera vez en ese Estado, o incluso discutir cómo se encontraban los continentes por aquella época.

Tras la puesta en común en la que se comparan las respuestas de los diferentes grupos, de modo que se establezca otro momento para la argumentación; para finalizar con esta segunda actividad se pide a los estudiantes que nos indiquen si, a la vista de los dinosaurios propuestos, su argumento acerca de qué ocurrió en la secuencia de incitas ha variado o si con esta nueva información han podido corroborar, en parte, sus hipótesis.

4.4.2 Secuencia de actividades para 1º de Bachillerato

En caso de 1º de bachillerato el currículum viene establecido en el *Decreto 126/2008, del 19 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículum de bachillerato en la Comunidad Autónoma de Galicia* (Xunta de Galicia, 2008), del cual se tienen en cuenta los contenidos para las materias de biología y geología y CmC.

En primer lugar, los contenidos que se abordan dentro de lo establecido para biología y geología se incluyen en el ‘bloque III: geodinámica externa y historia de la Tierra’, en particular:

- Procesos de la geodinámica externa. Ambientes y procesos sedimentarios. La estratificación y su valor geológico.
- Interacción entre procesos geológicos externos e internos. El sistema Tierra: una perspectiva global.
- Interpretación de mapas topográficos: interpretación de mapas y cortes geológicos sencillos.

-La reconstrucción del pasado terrestre. Métodos de datación. El tiempo geológico y su división: grandes cambios ocurridos a lo largo de la historia de la Tierra.

En el caso de CmC, al ser una materia cuya finalidad es la de trabajar los avances científicos y tecnológicos, consideramos que el contenido que se desarrolla a través de estas actividades es: conocimiento de los trazos fundamentales de la forma de trabajo en la comunidad científica, la relación de causas y hechos aparentemente inconexos y el papel de las diversas teorías en la interpretación de los datos, así como el papel del discurso, y la aplicación de la búsqueda de soluciones a problemas de experiencia cotidiana.

En la tabla 4.2 que se muestra a continuación, se establece la relación de las tareas con la sesión en que fue implementada, el desempeño que requiere del alumnado y los contenidos de cada una de ellas.

Esta secuencia de actividades se llevó a cabo tras las sesiones que cada docente consideró necesarias para trabajar los contenidos que en ellas se abordan, estas sesiones de instrucción tuvieron lugar los días previos a la realización de estas actividades.

A continuación, al igual que para 4º de ESO, se presentan las actividades objeto de estudio en esta tesis, es decir, las tareas 2, 3 y 4, pues en ellas es donde mejor se manifiesta el desarrollo de las prácticas de modelización y de argumentación. Mientras que las actividades 1 (pretest) y 5 (postest) se llevaron a cabo con el objetivo de analizar los conocimientos teóricos de los estudiantes, lo cual será examinado en posteriores trabajos.

Tabla 4.2. Resumen de los desempeños y contenidos que se trabajan en cada una de las tareas diseñadas para 1° de bachillerato.

Sesión	Tarea	Desempeño del alumnado	Contenidos
1	1.Las icnitas de Soria	Establecer conclusiones sobre qué pudo ocurrir en un conjunto de icnitas empleando para ello la cinemática de las huellas.	Yacimiento paleontológico Características de icnitas: tamaño, distancia, ángulo zancada
	2.Reconstruyendo la cuenca de As Pontes	Elaborar un modelo material de la cuenca sedimentaria de As Pontes, interpretando las columnas estratigráficas mediante los principios estratigráficos.	Cuenca sedimentaria Sedimentos P. estratigráficos: superposición, horizontalidad y continuidad lateral.
2	3.Historieta de icnitas	Elaborar una secuencia de icnitas empleando patas de dinosaurios Establecer conclusiones sobre qué pudo ocurrir en un conjunto de icnitas empleando para ello la cinemática de las huellas.	Características de las icnitas: tamaños, distancias, ángulos de zancada
3	4.¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?	Explicar la historia geológica del sinclinal empleando los datos proporcionados y sus conocimientos previos	Periodos del Paleozoico Tiempo en geología Características de los estratos: composición, potencias, periodos de formación y fósiles guía Formación del sinclinal: sedimentación, formación de los estratos y fuerzas tectónicas que ocasionan el plegamiento. Antiguos bloques continentales: Gondwana y Laurasia
4	5.Ordenación de una historia geológica	Ordenar una secuencia de dibujos que conforman una historia geológica	Principios estratigráficos Regresión y transgresión marina

Actividad 2. Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes

Este problema se desarrolla en la primera sesión de la toma de datos. El objetivo del mismo es que los estudiantes reconstruyan la cuenca sedimentaria de As Pontes (A Coruña, Galicia) mediante la interpretación de tres columnas estratigráficas, tomadas de los estudios geológicos realizados por Barsó, Cabrera, Marfil y Ramos (2003) previos a que esta cuenca fuese explotada para extraer el carbón.

El estudio geológico de Barsó et al. (2003) constituye el conocimiento de referencia para diseñar esta actividad, en particular se empleó el esquema estratigráfico realizado por estos autores, para elaborar las tres columnas estratigráficas que se proporcionan a los estudiantes.

Procedimiento de resolución

La actividad consiste en la interpretación de la imagen de satélite de la zona y de las tres columnas estratigráficas, de lo que hay que extraer pruebas necesarias para justificar la reconstrucción de la cuenca sedimentaria.

Una vez extraídos los datos comienza la toma de decisiones para construir el modelo material, es decir, la planificación del proceso de modelización. Esto implica que consideren que la cuenca está formada por tres subcuencas (o cubetas) y los estratos que aparecen en las tres columnas, para lo cual deben aplicar el *principio de superposición de los estratos*, para saber en qué orden comienzan a colocar los materiales en la “cuenca” y el *principio de continuidad lateral*, para comprender la extensión horizontal de los mismos. A continuación, realizan la reconstrucción de la cuenca sedimentaria de As Pontes, teniendo en cuenta los pasos anteriores. Además, deben escoger con qué material van a representar cada uno de los estratos que aparecen en la leyenda.

Al finalizar el modelo material, se les plantea la última pregunta para que comparen sus modelos materiales con el esquema de la cuenca de As Pontes realizada por los geólogos (Barsó, et al. 2003); con el objetivo de que evalúen su proceso de modelización y su interpretación de las columnas estratigráficas en

cuanto a la formación del basamento, número de estratos y la potencia de los mismos.

Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes

En As Pontes García Rodríguez, un municipio de la comarca del Eume, se encuentra una central térmica que se abastece de carbón. Hasta hace unos años, ese carbón se extraía de una cuenca sedimentaria próxima a la central.

A continuación se muestran tres columnas estratigráficas, anteriores a la explotación del carbón. Cada una de ellas corresponde a cada parte de la cuenca. En la fotografía aérea se ve la cuenca en fase de reconstrucción, es decir, la formación de un lago.

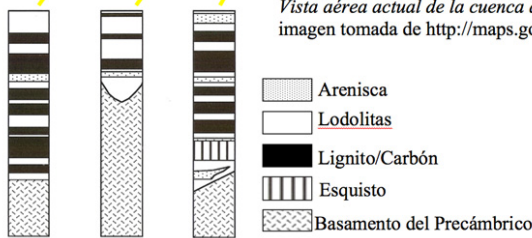
Con la información proporcionada debéis reconstruir la cuenca sedimentaria tal y como era antes de la explotación del carbón, para la central térmica.

Para comenzar, tenéis que planificar cómo vais a construir la maqueta. Escribid para qué vais a utilizar cada material y los parámetros (espesor de las capas, número de capas...) que representaréis.

Material del que disponéis: Arcilla de modelar; Tierra; Grava; Arena de playa; Arena; Recipiente de plástico transparente.



Vista aérea actual de la cuenca de As Pontes, imagen tomada de <http://maps.google.es/>

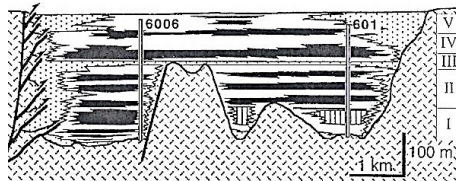


Cortes estratigráficos de la cuenca sedimentaria

Una vez terminada la maqueta responded a las siguientes preguntas:

- ¿Cuántas fases de sedimentación hay? ¿En que te apoyas para confirmar tu respuesta?
- ¿Qué principios estratigráficos tuvisteis en cuenta para construir la maqueta?

A continuación observad el esquema de la cuenca estratigráfica realizada por geólogos,



Barsó et al. (2003)

¿Qué similitudes y diferencias encontraréis entre a vuestra maqueta y este esquema?

Actividad 3. Historieta de icnitas

Esta actividad está basada en la actividad “Las icnitas de Soria”, pero a la cual se hemos añadido una complejidad a mayores, ya que los estudiantes no sólo tienen que analizar las huellas sino que también deben ser capaces de construir una secuencia de icnitas que sea lógica o interpretable por sus compañeros. Esta tarea se lleva a cabo en la segunda sesión de toma de datos. El objetivo es que los estudiantes sean capaces de construir datos que sean válidos para que otros grupos puedan interpretarlos y así se promueva el discurso argumentativo.

Historieta de icnitas

ICNITA es el nombre que reciben las huellas fósiles que dejaron los dinosaurios hace millones de años, y que nos sirven para conocer un poco más acerca de como vivían y de como se relacionaban entre ellos.

Esta actividad se realiza por grupos y consiste en diseñar una secuencia de icnitas que englobe una historia para que otro grupo interprete lo que tuvo lugar en ella, desconociendo los dinosaurios protagonistas de la secuencia.

Para comenzar, tenéis que escribir la historia que queréis representar. Una vez escrita, con las patas, representáis la historia en la arcilla. Tenéis que tener en cuenta como se mueven las patas al correr, andar, etc.

Dinosaurios de este grupo:

ESPINOSAURIO: Bípedo y carnívoro. Vivió durante el Cretácico, entre 112 y 97 m.a. Medía alrededor de los 16 metros de longitud y pesaba hasta 20 toneladas.

PARASAUROLOFUS: Bípedo y herbívoro. Vivió en el Cretácico, hace entre 87 y 65 m.a.. Medía 9 metros de longitud y pesaba dos toneladas.

Procedimiento de resolución

La tarea está constituida por dos partes. En la primera, cada grupo de estudiantes debe construir los datos, empleando para ello las plantas de los pies de los dinosaurios proporcionados. A cada grupo se le da un par de dinosaurios diferentes y se les indica: relación trófica, tipo de locomoción, periodo en que vivió y la relación de tamaño y peso. De manera que lo primero que se les pide es que, con esa pareja de dinosaurios que tienen, elaboren una ‘historieta de icnitas’. Una vez tengan escrita la historieta se les proporciona una plancha de arcilla para que representen esa historieta. Así, en un contexto argumentativo, esas huellas

corresponderán a los datos. Finalizada la primera parte, se intercambian las secuencias de icnitas entre los grupos, para que esos datos sean interpretados por sus compañeros, generando un contexto argumentativo.

Cuando los grupos han establecido los argumentos sobre qué tuvo lugar en la secuencia de pisadas que les ha tocado analizar, se hace una puesta en común para que el grupo que la creó y el que la interpretó comparen sus perspectivas o historias.

Actividad 4. ¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?

Ésta actividad se desarrolla en la tercera sesión y su objetivo es que los estudiantes expliquen la historia geológica del sinclinal de O Courel empleando un conjunto de datos, con los que argumentar qué explicación es la más correcta, y un conjunto de modelos teóricos con los que explicar la formación del sinclinal. Siguiendo para ello el tratamiento de los datos establecido por Duschl y Ellenbogen (2009), cuya adaptación se muestra en la tabla 4.3. Según este procedimiento, para elaborar las explicaciones científicas debe procesarse la información desde los datos suministrados, transformándolos en pruebas, lo cual requiere que los datos cobren sentido a la luz de los modelos que presentan los estudiantes; de no ser así, los datos carecerán de significado. Después con sus modelos previos integran los patrones de los datos en sus explicaciones para generar una explicación general de cómo es el Sinclinal de O Courel.

La fuente de inspiración para diseñar esta actividad fue “¿De qué trata la historia geológica?” (desarrollada por King en www.earthlearningidea.com), de la que se tomó la idea de que los estudiantes reconstruyan la historia geológica de una zona próxima a ellos. Con esto y con la reciente noticia de presa, en el momento de la elaboración de las unidades, en la que se afirma que Galicia procede de la unión de dos continentes separados quedando como “cicatriz” este sinclinal (figura 4.2), nos pareció una buena oportunidad para trabajar esta formación geológica con estudiantes gallegos, lo cual coincide con la opinión de Gutiérrez-Marco (2005) quien realiza una descripción del mirador geológico de Campodola haciendo hincapié tanto en su interés como punto turístico como educativo.

Tabla 4.3. Transformación de datos en explicaciones, para la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?” (Duschl y Ellenbogen (2009).

NIVEL	Datos	Pruebas	Modelos y Patrones	Explicaciones científicas
Significado	Datos proporcionados	De los datos proporcionados se seleccionan los que dan información útil	Teorías, modelos o principios para explicar los patrones	Incluye los niveles anteriores para dar una explicación
Actividad	Noticia de prensa Tabla de la composición y potencia de los estratos Fichas de fósiles Tabla cronoestratigráfica	350 millones de años Existencia de un océano Periodo de los fósiles	<ul style="list-style-type: none"> • Integrar la información relativa para cada estrato: composición fósil guía y periodo de formación • Ordenar los estratos según su antigüedad • Formación de estratos • Fuerzas tectónicas • Formación de pliegues 	Esta explicación a las características estratigráficas y de formación del sinclinal de O Courel

En el diseño de esta tarea tuvimos presente el extenso trabajo de Matte (1968) acerca de *La estructura de virgación hercínica de Galicia*, del cual se obtuvieron los datos geológicos relativos a los estratos que conforman el plegamiento así como la potencia de los mismos. Sin embargo, en lo que corresponde a los registros fósiles hemos ampliado la información de Matte con los estudios de Sanz López, Expósito Vaqueiro y Montesinos López (2000).

¿Cuál es la verdadera historia del sinclinal de O Courel?

En la Sierra de O Courel, en particular en la parte que pertenece al Ayuntamiento de Quiroga, se pueden apreciar unas estructuras geológicas de gran magnitud que datan de varios millones de años.

Desde hace años esta estructura es visitada por numerosos visitantes y Geólogos de varios puntos de Europa. Algunos de estos Geólogos investigaron la geología de la Sierra de O Courel, pero cada uno dentro de su propia disciplina (Litología, Paleontología...).

Ante esa afluencia de visitantes el Ayuntamiento de Quiroga instaló un mirador en la Campodola, pero ahora quiere dar un paso más, dotar a este mirador con un panel informativo en el que se narre la historia geológica más relevante de esta Sierra. Para eso pide colaboración a los estudiantes de Geología de Galicia, pues considera que es una buena forma de dar a conocer esta formación geológica.

El problema es que disponemos de varias piezas de información que se pueden ver a continuación. Por lo tanto, debéis reunir esas piezas y reconstruir la historia geológica de la sierra, de una forma simple e indicando los materiales que la forman.

Información de la que disponéis:

- Noticia de prensa
- Tabla de las eras y rocas predominantes
- Fichas de los fósiles encontrados
- Tabla cronoestratigráfica

Pregunta final: ¿por qué no hay más datos registrados a partir del Devónico?

Procedimiento de resolución

Como se indica en la actividad los estudiantes disponen de una noticia de prensa de la cual podrán extraer los siguientes datos relevantes:

1. El choque entre Gondwana y Laurasia comenzó hace 350 millones de años, lo cual corresponde a finales del Devónico.
2. Entre ambos continentes había un océano con una fase de sedimentación en esta cuenca oceánica.
3. Debido a la tectónica de placas el acercamiento de los continentes produjo el levantamiento de los sedimentos marinos y su posterior plegamiento, generando lo que hoy conocemos como el Sinclinal de O Courel.

SOCIEDAD

O COUREL

El pliegue geológico que dio origen a Galicia será protegido

El sinclinal de O Courel es la huella visible de la unión de dos continentes

r. romar

Redacción / La Voz 4/9/2011

Hace más de 350 millones de años, Galicia como tal no existía. Estaba separada en dos partes. La occidental pertenecía al continente de Laurasia y la oriental al de Gondwana, pegada a la que hoy es África. Y, entre medias, un océano. La superficie de la comunidad, tal y como es hoy, empezó a fraguarse con el choque de placas de ambos continentes hace 350 millones de años. Desde entonces ha quedado unida y la prueba visible de esa gigantesca colisión de placas es el gran plegamiento acostado de O Courel, una estructura geológica visible que fue el primer terreno en emerger al levantarse los sedimentos marinos del antiguo océano y plegarse luego en forma de acordeón.

El pliegue geológico que ahora domina a las aldeas de Campodola y Leixazos, en el municipio de Quiroga, figura como punto de interés geológico de rango internacional desde 1983, pero hasta ahora carece de protección. Pero no será por mucho tiempo, después del acuerdo inicial alcanzado entre el Concello de Quiroga y la Consellería do Medio Rural para delimitar la zona de la estructura geológica que pasará a ser declarada como monumento natural. La propuesta de base, presentada por la Subdirección Xeral de Espazos Naturais e Biodiversidade a mediados de julio, acaba de ser consensuada por las partes, lo que llevará a la redacción de un estudio definitivo que culminará en la preservación de este patrimonio geológico.

La nueva delimitación se ciñe, según la Xunta, al ámbito de las áreas «naturais e xeomorfolóxicas imprescindibles para a conservación do

pregamento, sen comprometer os usos do territorio máis do necesario para garantir a súa conservación».

Este equilibrio entre la protección del pliegue y la salvaguarda de los intereses vecinales en el aprovechamiento de los recursos forestales es lo que también ha destacado el coordinador de los museos etnográficos y geológicos de Quiroga, Ramón Vila Anca, que subrayó que «tódalas partes estivemos de acordo, e o que se vai a acadar é que toda a parte visible do sinclinal -el pliegue quede protexida».

«El pliegue -destaca el catedrático de Geología Juan Ramón Vidal Romani- es lo que queda de la primera Galicia que se formó hace 350 millones de años».

© Copyright LA VOZ DE GALICIA S.A. Disponible el 20 de octubre del 2011, en http://www.lavozdeg Galicia.es/sociedad/2011/09/04/0003_20110904P35991.htm?utm_source=buscavoz&utm_medium=buscavoz



Sinclinal de O Courel. [fotografía]. En Picasa Web (Google). Extraído desde <http://picasaweb.google.com/jh/photo/dairH8pAcxPZKNyujkO1g?full-exif=true>

Figura 4.2. Noticia de prensa.

El siguiente conjunto de datos es la tabla de periodos y de rocas predominantes (Figura 4.3), cuyo objetivo es que los estudiantes sean capaces de establecer la estratigrafía de la que se tiene constancia en la actualidad.

PERIODO	ROCA PREDOMINANTE	POTENCIA (m)
Devónico	Calizas	Indeterminada
Silúrico	Pizarras	3000
Ordovícico	Esquistos	12000
Cámbrico	Intercalaciones de caliza	

Figura 4.3. Tabla con la roca predominante en cada periodo.

Aunque haya una escasa presencia de fósiles en el sinclinal de O Courel, en los estudios geológicos de la zona, antes mencionados, se encontraron fósiles cuyas fichas aparecen en la figura 4.4, cabe indicar que las fotografías que aparecen en las fichas no corresponden con imágenes de los fósiles en dicho sinclinal. Con ellos los estudiantes deben interpretar la información de estos fósiles como método de datación relativa para aportar pruebas acerca de cómo se originó este sinclinal.

<p>DIDYMOGRAPTUS Vivieron durante el ordovícivo inferior y medio. Sus fósiles se preservan en pizarras y arcillas. Son un grupo de animales coloniales marinos.</p>	
<p>BRAQUIÓPODOS Son un grupo de bivalvos no extinto que apareció en el Cámbrico tuvo su apogeo máximo durante el Devónico. Los braquiópodos fósiles se preservan en calizas. Son invertebrados marinos, recuerdan a los berberechos.</p>	
<p>ARCHAEOCYTATHA Exclusivos del Cámbrico inferior Se preservan en rocas calcáreas Son un grupo de animales marinos, semejantes a las esponjas</p>	
<p>MONOGRAPTUS Son un género de los graptolites que vivieron durante el Silúrico. Su fósiles se encuentran en pizarras Son un grupo de animales coloniales marinos</p>	

Figura 4.4. *Fichas de fósiles encontrados en O Courel, imágenes e información tomadas de la Encyclopaedia Britannica Online (www.britannica.com).*

Por último, se les proporciona una tabla cronoestratigráfica (figura 4.5) para ayudarles a dar sentido a los datos más que para que aprendan los periodos geológicos de memoria; ya que lo que nos interesa es que reconstruyan la historia geológica del sinclinal.

ERA	PERIODO	SERIE	Millones de años (m.a.)
CENOZOICO	Cuaternario	Holoceno	0,012-actualidad
		Pleistoceno	1.6-0,012
	Terciario	Plioceno	5-1.6
		Mioceno	25-5
		Oligoceno	36-25
		Eoceno	54-36
		Paleoceno	66-54
MESOZOICO	Cretácico		135-66
	Jurásico		205-135
	Triásico		250-205
PALEOZOICO	Pérmico		290-250
	Carbonífero		360-290
	Devónico		408-360
	Silúrico		438-408
	Ordovícico		510-438
	Cámbrico		570-510
PRECÁMBRICO			

Figura 4.5. *Tabla cronoestratigráfica.*

Para finalizar con la actividad, se les da una última pregunta que nos dará a conocer si están entendiendo el mecanismo por el que se generó el sinclinal, esta pregunta se entrega a los estudiantes cuando terminan de escribir la historia, y dice: “*¿Por qué no hay más datos registrados a partir del Devónico?*” Podríamos pensar en tres tipos de respuestas esperadas del alumnado: 1) porque no se estudio esa parte, 2) porque no hubo deposición o bien 3) porque hubo predominio de procesos erosivos que eliminaron esa capa. Esta última respuesta es la más adecuada desde nuestro punto de vista.



II RESULTADOS





RESULTADOS

Los resultados de la tesis se presentan en los capítulos, quinto, sexto y séptimo. En cada uno de ellos se abordan los resultados del análisis que corresponden con cada objetivo de la tesis.

En el capítulo 5 se examinan los resultados que conciernen al primer objetivo del estudio en el que se analiza el proceso de modelización y el desempeño de la “explicación de fenómenos de forma científica” desarrollada por los estudiantes, así como su estrecha relación con los modelos empleados durante la resolución de las tareas.

En el capítulo 6, analizamos las destrezas de los estudiantes relacionadas con la dimensión “uso de pruebas” y la argumentación, necesarias tanto en la construcción de conocimiento como en la evaluación del mismo.

El séptimo, se examina de forma integrada cómo la argumentación y la modelización se articulan en la práctica, lo cual consideramos que es el aspecto más novedoso de este estudio.



CAPÍTULO 5

EL DESEMPEÑO DE LA DIMENSIÓN “EXPLICACIÓN DE FENÓMENOS DE FORMA CIENTÍFICA” Y LA MODELIZACIÓN

5.1 Introducción

En este capítulo se pretende dar respuesta al primer objetivo de esta investigación: *Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes y su desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”*. Este objetivo se concreta en las siguientes preguntas de investigación:

1. *¿Cómo elaboran y emplean los estudiantes los modelos para generar las explicaciones que requiere cada problema?, a partir de las explicaciones que los estudiantes realizan durante la elaboración del modelo expresado (tanto material como verbal) obtenemos una idea de cuáles son sus modelos mentales y cómo los emplean para generar la explicación al problema planteado.*
2. *¿Qué niveles de desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica” son desarrollados por los estudiantes?, estos niveles están relacionados con la complejidad en las explicaciones de los estudiantes durante la resolución del problema.*

La relevancia de la primera pregunta está vinculada al hecho de que un procedimiento característico de la ciencia es la elaboración y revisión de modelos, con los que explicar los fenómenos naturales que nos rodean. De este modo,

consideramos oportuno proponer actividades que demanden a los estudiantes el elaborar modelos para generar explicaciones, con lo que se contribuye a su adquisición de la competencia científica. Así mismo, la segunda pregunta está destinada a la caracterización de los niveles de desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica” para conocer el grado de adquisición de la misma por parte de los estudiantes, lo cual incluye: la capacidad de aplicar el conocimiento en un contexto, describir o interpretar un fenómeno de forma científica, así como identificar aquellas explicaciones adecuadas al contexto dado (OCDE, 2009). Como uno de los grandes bloques de la competencia científica, el desarrollo de explicaciones requiere de la aplicación de teorías y modelos, así como ser capaz de formular hipótesis y proponer soluciones a un problema.

Para dar respuesta a estas preguntas de investigación se han analizado las actividades que requieren la modelización de una cuenca sedimentaria. Esto es, “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”, para 4º de la ESO, y “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes”, para 1º de bachillerato. Cuya principal diferencia está en la complejidad, pues el modelo que tienen que elaborar los estudiantes de 4º de ESO es un modelo material de cuenca sedimentaria general, mientras que los de 1º de bachillerato deben ser capaces de interpretar unos datos estratigráficos concretos para elaborar el modelo material de una cuenca sedimentaria particular.

En ambos casos el análisis ha consistido en lo indicado en el apartado 3.5.1 de la metodología, de modo que para analizar el proceso de modelización se ha tenido en cuenta el diagrama de elaboración de modelos establecido por Justi y Gilbert (2002) y, para conocer el nivel de desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, se han adaptado los seis niveles de desempeño para dicha dimensión que establece el informe PISA 2006 (OCDE, 2008) en las rúbricas (tablas 3.5 a y b) ya comentada en el apartado 3.5.3 de la metodología.

5.2 El proceso de modelización por el que los estudiantes elaboran y emplean los modelos para generar las explicaciones.

El análisis de los modelos que emplean los estudiantes no resulta tarea fácil, por el hecho de que se origina mediante una constante interacción entre los modelos mentales de cada estudiante (interno o particular) con el modelo que exteriorizan (verbal o material) y que negocian en el grupo. Aún más, en el conjunto del grupo, entre estos modelos ‘particulares’ se establecen interacciones por lo que se ven alterados, y en ocasiones modificados, a medida que se desarrolla el discurso. Es por ello que, para analizar los modelos de los participantes, optamos por establecer una serie de etapas de modelización con las que ordenar sus intervenciones durante el proceso de construcción de modelos materiales.

En este apartado se exploran los procesos de modelización para las dos actividades ya mencionadas, comenzando por la actividad implementada en 4º de la ESO y finalizando con la de 1º de Bachillerato.

5.2.1. El proceso de modelización en la actividad “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?” (4º ESO).

Para analizar el proceso de modelización que requiere la actividad “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”, se han adaptado las etapas propuestas por Justi y Gilbert (2002) a las correspondientes etapas del desarrollo del modelo material de cuenca sedimentaria, mostrando su relación en la tabla 5.1.

En el diagrama que se muestra en la figura 5.1 se representa el proceso de modelización referencial para la actividad, el cual es de utilidad para poner a analizar los procesos de modelización de los diferentes grupos.

En lo que concierne a la etapa 1, la consideramos una parte importante del proceso de modelización, pues en ella se activan los modelos mentales de cada integrante del grupo, de tal forma que sean capaces de relacionar los materiales proporcionados con los elementos del modelo material de cuenca sedimentaria. El individuo hará su aportación al ‘modelo consensado del grupo’ con su modelo expresado, lo que corresponde a la etapa 2. En el desarrollo de esta actividad hay

aspectos que están implícitos por el hecho de que los estudiantes ya poseen conocimientos acerca de una cuenca sedimentaria (los procesos geológicos externos y de los conceptos de datación relativa) puesto que se ha sido objeto de enseñanza formal previamente. De modo que en la etapa 1 el paso principal que nos ayuda a entender cómo llegan a un modelo consensuado del grupo es el momento de ‘seleccionar el origen del modelo’, es decir, cómo relacionan los materiales de los que disponen con su función en su modelo expresado de la cuenca sedimentaria.

En la etapa 2, los estudiantes deben describir cómo van a elaborar el modelo de cuenca sedimentaria, para lo cual debieron identificar las analogías entre los materiales que se pueden topa en una cuenca sedimentaria con los materiales que les proponemos, así como el papel del agua en el funcionamiento de la cuenca.

En la etapa 3, los estudiantes deben valorar las diferentes alternativas de cómo ejecutar sus modelos de cuenca sedimentaria, haciendo uso de los análogos que identificaron en la primera etapa. En el caso de que con alguna de las alternativas se logre convencer a los compañeros, se procedería a la elaboración del modelo material, pero si no se consigue, habría que valorar de nuevo otras alternativas, de ahí que se genere una secuencia cíclica (figura 5.1).

Esta tercera etapa finaliza con la construcción del modelo material, lo cual es especialmente relevante para nuestra actividad puesto que es la excusa para llegar a un acuerdo entre los componentes del grupo y así elaborar entre ellos un modelo material que satisfaga al modelo mental de cada uno y, a la vez, al modelo consensuado de grupo.

El último paso corresponde con la etapa 4, es decir, la valoración del propio modelo material, para lo cual se les han planteado unas cuestiones finales, con el fin de que se planteen la relación entre las capas de sedimentos que forman parte de su modelo material con la datación relativa y la estratigrafía.

Tabla 5.1. Correspondencia entre las etapas del MMD, propuesto por Justi y Gilbert (2002), con el proceso de modelización requerido por la actividad *¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?*.

		Definición del proceso (Justi, 2006)	Pasos que corresponden a la actividad
ETAPA 1	Definir los objetivos	Establecer el objetivo por el que se construye el modelo	Entender que se va a elaborar un modelo de cuenca sedimentaria
	Tener experiencias con el “objeto” a modelar	Experiencias que la persona ya tiene o que pasa a tener con el objeto a modelar. Pueden ser: observaciones empíricas, informaciones procedentes de la estructura cognitiva a del propio individuo o del contexto.	Modelos mentales previos de cada individuo, considerando los conocimientos teóricos sobre el tema de los que parten
	Seleccionar el “origen” del modelo	Selección de aspectos de la realidad que se usarán para describir el objeto a modelar, por ejemplo analogías.	Relacionar los materiales con su función en el modelo material: Materiales=Sedimentos Recipiente=cuenca Agua= medio sedimentación
	Elaborar un modelo mental	A partir de los pasos anteriores de esta etapa, se elabora un modelo mental	Elaborar un modelo consensuado del grupo para construir el modelo material de cuenca sedimentaria
ETAPA 2	Expresar usando alguna forma de representación	Decidir la forma de representación más adecuada. La cual se relacionará de forma cíclica con el modelo mental.	Describir cómo se van a depositar los materiales en la cuenca: Criterio de orden Proceso de formación
ETAPA 3	Llevar a cabo experimentos mentales	Estos experimentos consisten en plantearse la pregunta ¿qué pasaría si? Se idean con la intención de comprobar o convencer a otros de la validez de una hipótesis.	Valorar diferentes hipótesis de cómo sedimentarán los materiales según sus características y el contexto empleado Convencer a los compañeros mediante razonamientos específicos
	Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales	Los experimentos son actividades prácticas, seguidas por la recogida y análisis de los datos.	Razonar cómo se depositan los materiales Construir el modelo material partiendo del modelo mental
	Considerar el rango de validez y las limitaciones del modelo	El modelo pudo ser elaborado con éxito o pudo ser fallido (requiere o bien modificar el modelo mental o sino rechazar el modelo mental y regresar al comienzo del proceso de modelización).	Evaluar el propio modelo material de cuenca sedimentaria. ¿Cumple las expectativas?

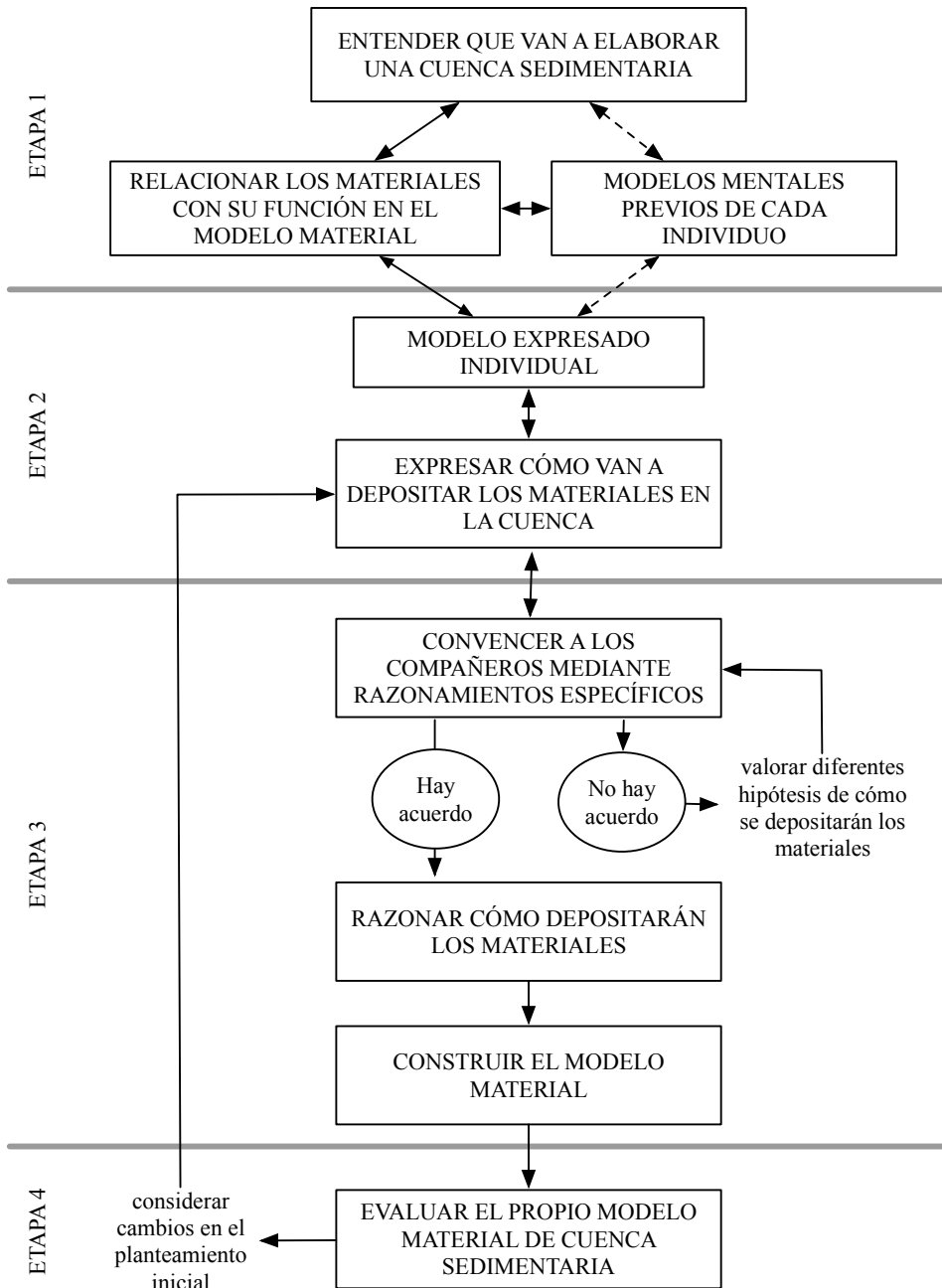


Figura 5.1. Proceso de modelización referencial para la actividad ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?. Línea discontinua=relaciones implícitas.

Siguiendo el orden alfabético de los grupos, comenzamos describiendo cómo es el proceso de modelización llevado a cabo por el grupo G (figura 5.2). Una vez han identificado cuál es el objetivo de la tarea, es decir, elaborar un modelo de cuenca sedimentaria, lo siguiente que tratan es de recopilar sus ideas acerca de qué es una cuenca, de modo que con esa información puedan relacionar los materiales que tienen en la mesa con los elementos de una cuenca sedimentaria, o lo que es lo mismo, tratan de identificar los análogos para después ‘expresar cómo van a depositar los materiales en la cuenca’, lo cual corresponde a la etapa 2, y así valorar las diferentes alternativas sobre cómo construir el modelo material. Como se puede observar en la tabla 5.2, los estudiantes de este grupo identifican los materiales como análogos de los sedimentos y el recipiente de plástico como la cuenca. En este grupo, los estudiantes identificaron el agua como agente de transporte pero no lo tuvieron presente hasta el momento en que proceden a elaborar el modelo material.

Tabla 5.2 Analogías empleadas por cada grupo.

	Sin uso de análogos	USOS DE ANÁLOGOS	
		General	Concreto
Materiales (arenas y grava)	-	Sedimentos	Sedimentos
Recipiente de plástico	-	Cuenca	Cuenca
Agua	-	Agua	Agua del río
GRUPOS	L	G, N	H

A partir de ahí desarrollan la etapa 3 del proceso de modelización, que comprende el momento más complejo pues en él los integrantes deben exponer sus opiniones para así convencer a sus compañeros sobre cómo construir el modelo material. Así, el primer estudiante en proponer una alternativa para depositar los materiales es Gloria (t.87) que propone “*os menos pesados estarán más arriba, non?*” sin embargo, para Gregorio cabe otra posibilidad y es que “*poden estar mezclados*” (t.88), pero la alternativa de Gregorio no tiene ningún éxito entre sus compañeros, por lo que Gloria vuelve a proponer que los materiales menos pesados estarán arriba, aunque no se ve en la necesidad de aplicar ningún razonamiento específico

para justificar su opinión, ya que sus compañeros están de acuerdo aportando ligeras modificaciones:

Guillermo t.92 “*si, os menos densos están arriba*”

Gloria t. 93 “*Os que teñen menor tamaño-peso*”

Una vez llegados al consenso de que “*os que teñen menor tamaño e densidade atoparanse na superficie*” (Gregorio, t.105), razonan cómo se depositan los materiales en la cuenca, Gloria (t.112) “*ten primeiro a grava, despois a area de gato e despois a area*”. En este momento, tienen claro el orden en que van a colocar los materiales en el recipiente, pero les falta por aclarar cómo van a emplear el agua, puesto que como se comentó antes, estos alumnos no integraron el agua suministrada en su modelo de formación de la cuenca sedimentaria. Es por ello que ahora tienen la necesidad de ver qué uso le dan al agua para añadirla en la cuenca sedimentaria, lo que les hace regresar de nuevo a la etapa 2. Así, Gloria indica “*A auga ven cas chismas estas [grava], ou que?*” (t.121), y aunque sus compañeros parecen estar de acuerdo, no añaden el agua hasta que ya tienen los materiales depositados en la cuenca, con lo que se ve que no son capaces de ejecutar su modelo consensuado. La principal consecuencia de esto es que al añadir el agua el final se les mezcló todo, por lo que en el momento de evaluar el modelo material de cuenca sedimentaria Gloria dice “*esto mezclouse todo! Agora non se ve!*” (t.157).

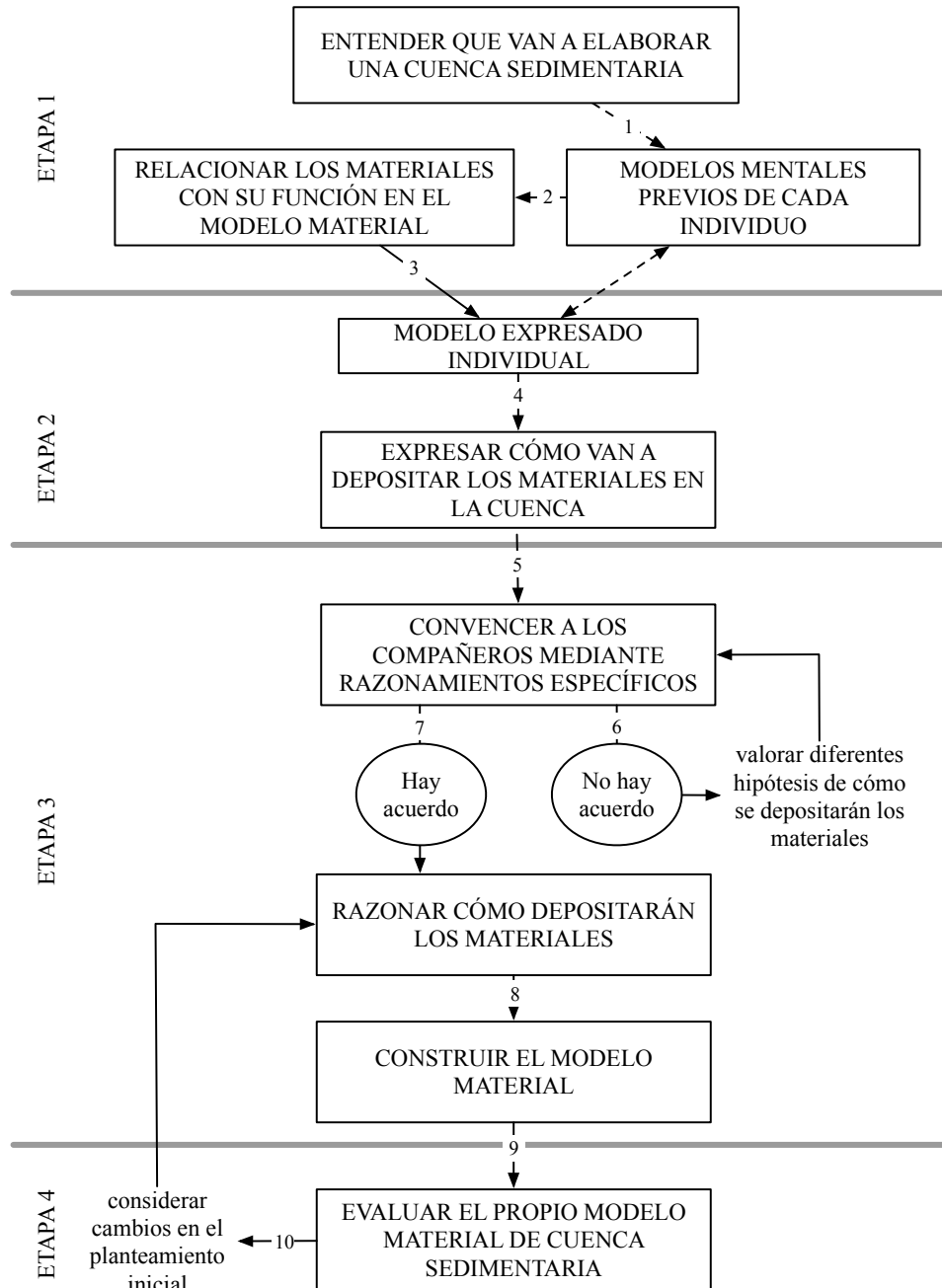


Figura 5.2. Proceso de modelización del grupo G, para la actividad ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?. Líneas discontinuas= relaciones implícitas. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO I).

El grupo H (figura 5.3), al igual que el grupo anterior, comenzó averiguando cuál era el propósito de la tarea. La etapa 1 del proceso fue bastante intensa en este grupo ya que Helio parece tener una idea bastante adecuada de qué es una cuenca sedimentaria de tal forma que expresa su modelo mental a los compañeros para así poder identificar los análogos e intentando encajar el agua en el proceso de formación de la cuenca. La diferencia de este grupo con los otros es que, como se ve en la tabla 5.2, las analogías que emplean estos alumnos están contextualizadas en un ambiente sedimentario concreto, un ambiente fluvial. Una vez contextualizan la cuenca sedimentaria en ese ambiente, son capaces de explicar cómo el agua actúa como agente de erosión y transporte, pero no como medio de sedimentación:

Helio t.36 *“A ver, o dos sedimentos a cousa é así, primeiro hai un río, primeiro o que sedimenta son as cousas máis grandes, as máis finas lévaas para adiante.”*

Una vez tienen claro el papel de cada elemento en el modelo material de cuenca sedimentaria, expresan cómo van a depositar los materiales en la cuenca (etapa 2) y comienzan a emitir razonamientos (etapa 3) para justificar cómo depositar los materiales, así el primero en decir una alternativa es Helio (t.98) *“Podemos facer... mira botas... e que claro botar aquí todo mezclado, botar auga e o que aparecerá sería a conca sedimentaria”*. Sin embargo, esta alternativa no parece convencer a sus compañeros, de ahí que Horario (t.99) proponga *“podemos botar os máis finos ó fondo”*. A continuación Hércules introduce la variable de densidad de los materiales, por lo que se desvía la discusión para ver cómo la densidad de los materiales influye en el modo de deposición, hasta que Horacio les pregunta *“pero, como imos a ter en conta para facer a práctica que uns se diferencian na densidade e se parecen en que todos son fragmentos de rochas. Como imos a ter isto en conta?”* (t.110), esta reflexión de Horacio les permite encauzar de nuevo la práctica de modelización. En ese momento Helio regresa a su idea inicial de que la arena es el resultado de la erosión de la grava y arenas más gruesas, por ello

indica “como a area é unha mezcla da erosión das outras dúas, vai por todos os lados” (t.122). El modelo de erosión que utiliza Helio es un proceso que va a la par del transporte, ya que cuando lo explica considerando que tiene lugar en un río dice lo siguiente:

Helio t.129 *“eso é a conca pola que vai o río, despois poñámonos imaginando que é un río. Despois chegan os minerais máis brandos [arena de gato] que se escacharran todos ao chocar coas rochas e rompen. Bueno non rompen, parece que rompen pero non rompen. Pero chegan uns minerais menos densos e fan unha capa que cubre ós outros. E despois chega a área que queda atascada como o colesterol nas venas.”*

Entonces Horacio plantea una nueva variable a considerar, la energía cinética del agua, pero con otras palabras “pero a auga levaría estes [area] pero non a estes [grava]” (t.134) a lo que Helio responde indicando que “a area será depositada máis tarde dependendo da forza coa que vaia a auga”.

De este modo llegan a un razomaniento que convenza a todos los integrantes del grupo para depositar los materiales en el recipiente para representar su modelo de cuenca sedimentaria (etapa 3):

Helio t.145 *“a grava será depositada antes. Pero sufrirá un proceso de erosión, entón convertírase en area e pasará a estar onde a outra area e o final todo é area”*

Hércules t.146 *“si, é eso”*

Horacio t.147 *“solo que é area de distintos materiais”*

Hércules t.148 *“pero é area”*

Horacio t.149 *“entón teríamos que botar primeiro esto [grava] [...] despois esto [area de gato], logo esto [area] e, por último, a auga”*

A continuación construyen el modelo material y, en el momento de evaluarlo (etapa 4), se dan cuenta de que la arena de gato ascendió, lo cual no tenían previsto. Mientras que, como ellos preveían la arena se mezcló con los otros dos materiales.

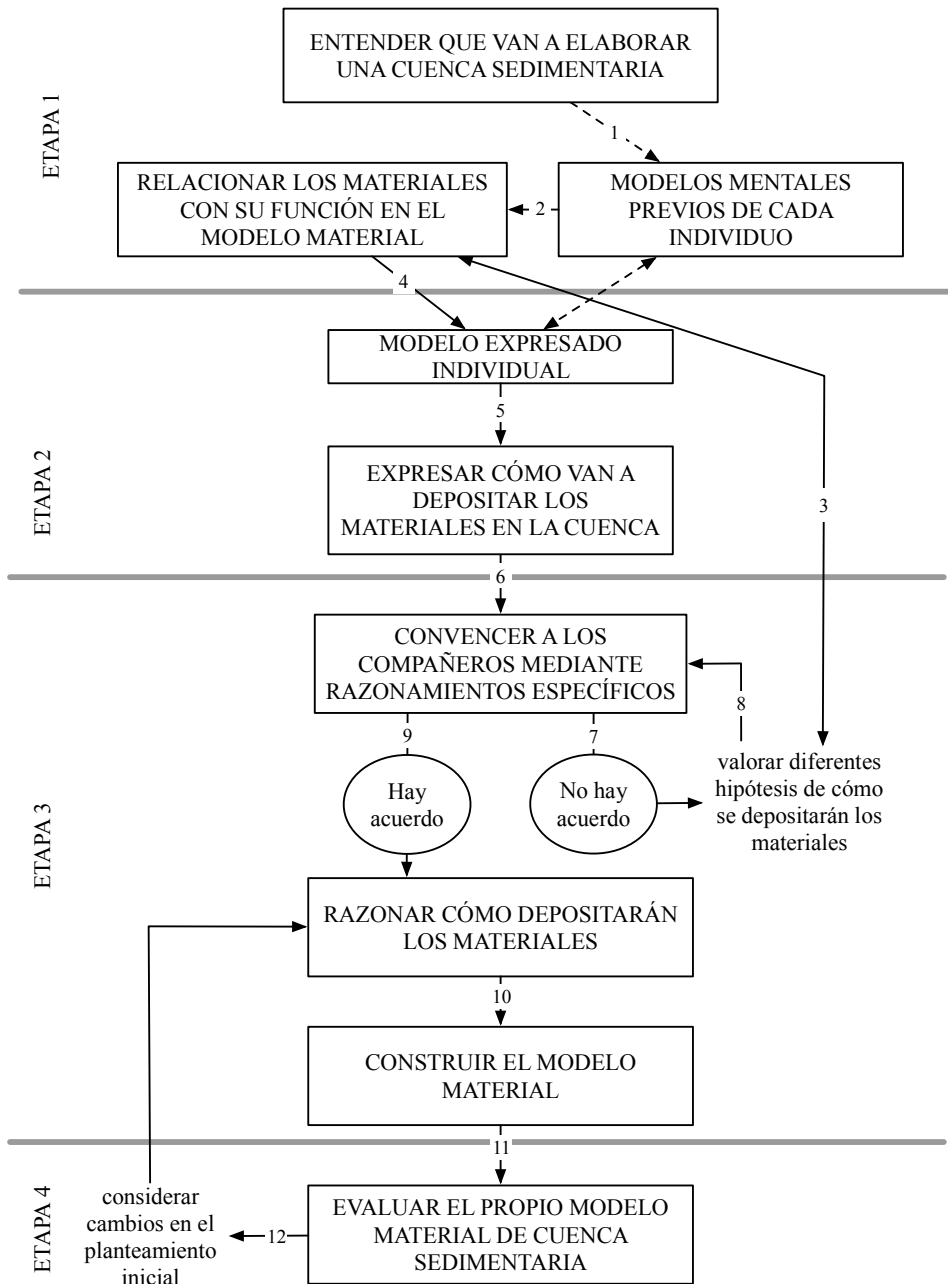


Figura 5.3. Proceso de modelización del grupo H, para la actividad ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?. Líneas discontinuas= relaciones implícitas. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO I)

En el caso del grupo L (figura 5.4), es un grupo peculiar por el hecho de que no le dedican tiempo a considerar qué es lo que requiere la tarea, por lo tanto tratan de buscar un orden lógico para ordenar los materiales que tienen en el recipiente que se les proporciona, sin analizar los análogos proporcionados (como se ve en la tabla 5.2). De este modo, comienzan el proceso de modelización directamente en la etapa 2, es decir, expresando como van a depositar los materiales y después tratando de convencer a sus compañeros. En este grupo proponen dos alternativas, la primera de ellas es indicada por Loreto (t.27) *“a area é a que está debaixo de todo”*, pero Luís no está de acuerdo y propone otra alternativa que consiste en *“la arena como es la que está fuera es la más erosionada”* (t.28). Sin embargo, Loreto, en un intento de convencer a sus compañeros de grupo refuerza su propuesta indicando que *“no, porque esta [grava] es más oscura y cuánto más oscura más orgánico y más para abajo”* (t.34).

En este grupo no se llega a consenso, lo que genera que elaboren el modelo material sin acuerdo, ya que Loreto comienza a añadir los materiales en el recipiente sin tener en cuenta a sus compañeros. No obstante, como una de las indicaciones de la actividad era que debían escribir la planificación antes de construir el modelo, este grupo decide escribirlo a posteriori, con lo cual vuelven a discutir si depositaron primero la grava por el color o por la erosión, ya que debido a las características de color y tamaño de los materiales, el modelo material que elaboraron les permite explicar ambas versiones de la cuenca sedimentaria. Por un lado que la grava está abajo le sirve a Luís para indicar que la grava es la que está más abajo *“porque es el que está menos erosionado”* (t.55) y, por otro lado, también le permite explicar a Loreto su modelo al indicar que *“pois entonces canto máis abaixo máis escura”* (t.64).

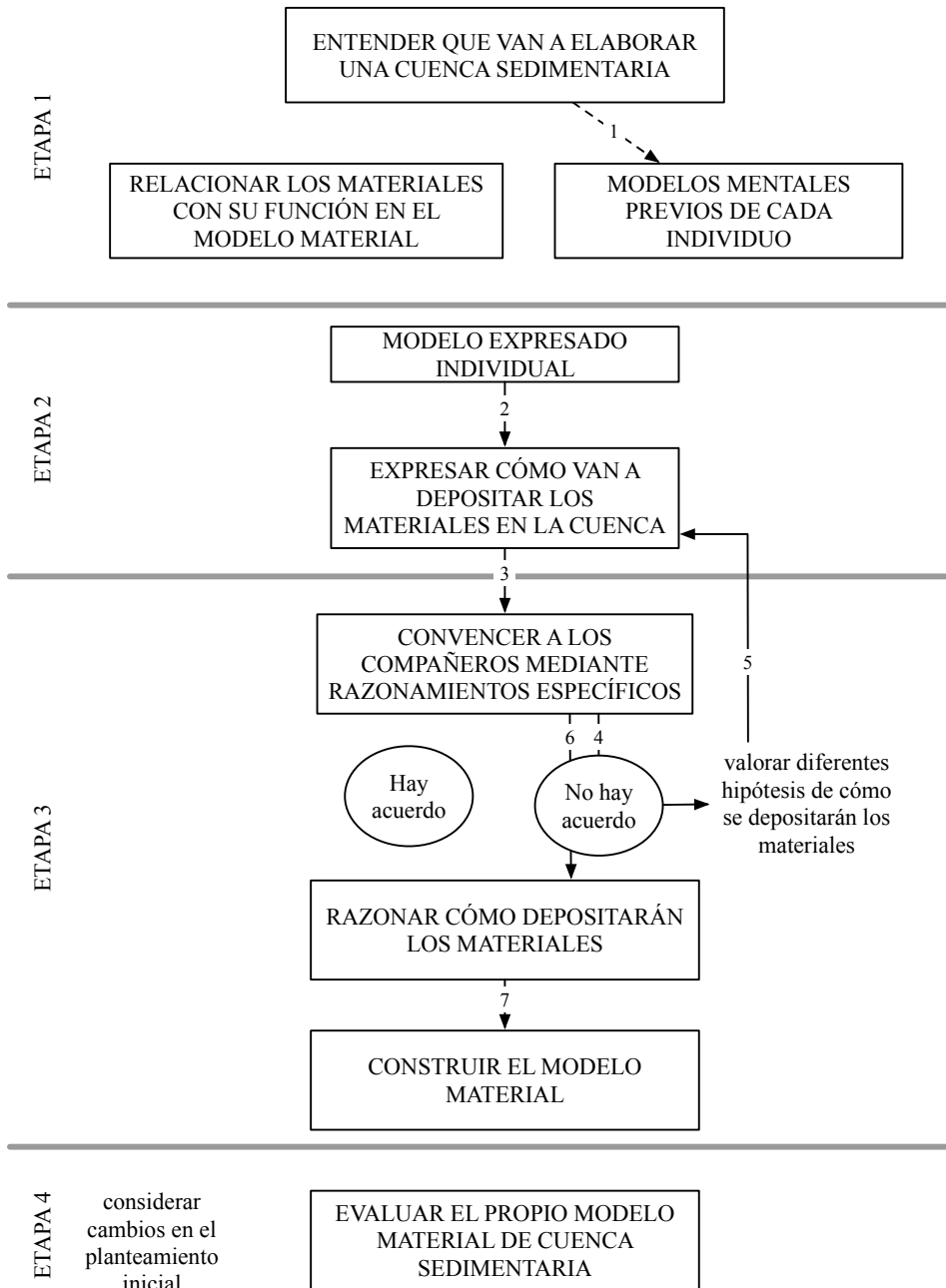


Figura 5.4. Proceso de modelización del grupo L, para la actividad ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO I).

Por último, el grupo N (figura 5.5) desde el comienzo tiene claro cuál es el objetivo de la actividad como se muestra en la intervención de Noa (t.10): *“espera, hay que colocar las cosas según caen las cosas en el terreno”*. Entonces, no duda en proponer lo siguiente *“yo lo vi en un libro, primero caía lo que era más duro, luego la tierra y después el agua, ¿podría ser que el agua ya estaría ahí?”*. En ese momento les surge la necesidad de tener que explicar el papel del agua en el modelo de cuenca sedimentaria, por ello Nuria propone *“primero la tierra se erosiona, después al llover se hace un hueco”* (t.20), en esta intervención Nuria expone su modelo de formación de cuenca sedimentaria y hacen algunos intentos por describir cómo debe ser la cuenca, por ejemplo, Nicola (t.24) indica que *“Mira es que yo creo que es esto [grava], esto [arena de gato], esto [arena de playa] y agua”*, lo cual correspondería a la etapa 2 del proceso de modelización. Aunque su explicación del cómo el agua interviene en el proceso no sea completa, comienzan a analizar los materiales suministrados para identificar las analogías entre dichos materiales y los elementos de una cuenca sedimentaria, tratando de adaptar sus modelos a lo que pide la tarea y a los materiales de los que disponen, regresando a la etapa 1. Las analogías empleadas por este grupo son generales (tabla 5.2), puesto que al comienzo no contextualizan la cuenca en un ambiente sedimentario concreto, aunque a lo largo del discurso sí mencionan que puede corresponder a un río o a una playa. En el momento en que han establecido los análogos y el papel del agua, y tienen ya una descripción de cómo debería ser la cuenca sedimentaria finalizando así la etapa 2, vuelven a proponer hipótesis (etapa 3) acerca de cómo depositar los materiales en la cuenca, es decir de cómo ejecutar su modelo, Nicola (t.103): *“podemos echar todas a la vez y el agua también”*, pero Nuria no parece estar conforme ya que responde *“pero no van a caer piedras y llover a la vez ¿no?”* (t.105). Así, Noa (t.108) propone *“bueno entonces, por qué no las vamos echando todas a la vez y como queden”*, lo cual tampoco convence a sus compañeras. La siguiente alternativa ya tiene el cuenta, de forma implícita, el proceso de erosión que han sufrido los materiales previamente, ya que Nuria (t.110) explica *“primero las grandes que luego se irán haciendo más pequeñas, ¿no?”* lo cual parece tener sentido para Noa (t.111), quien da una

explicación acorde con la de Nuria “yo creo que primero las grandes y luego se mezclará la arena de gato con la arena de playa y, por último, el agua quedará por arriba cubriéndolo todo”. Esta perspectiva es la que guía las siguientes intervenciones, hasta llegado el momento en que Nicola hace una reflexión en voz alta indicando “no sé.. yo creo que es todo al revés porque en la naturaleza no caen primero las gordas, luego las menos...” (t. 125), lo cual les crea confusión y Noa (t.134) realiza la quinta alternativa “¿y si echamos en una esquinita éstas, en otra esquinita éstas y en otra éstas? Luego lo mezclamos”, pero Nicola vuelve con la misma reflexión “no porque eso no pasa en la naturaleza” (t.135), sin embargo en esta ocasión Noa no está de acuerdo y le da su razonamiento “eso sí que puede pasar, por ejemplo, en un río. En el borde del río hay piedras gordas y en el fondo hay esto [arena] y luego viene un terremoto y las mezcla” (t.136).

Aunque con ninguna de las alternativas parecen estar conformes, en el momento de escribir la planificación parecen llegar a un consenso con lo que Noa (t.150) expone “a ver primero cae esta [grava], luego estas [arena] y luego estas [arena de gato]” y como termina Nicola (t.151) “y luego echamos agua”.

Razonado el proceso de cómo se depositan los materiales, proceden a la elaboración del modelo material según lo acordado y, una vez finalizado, lo evalúan (etapa 4) indicando lo siguiente:

Nuria t.168 “Bueno no tiene nada que ver con lo que escribimos ahí...”

Nicola t.169 “Te digo lo que pasa. La arena queda al fondo, lo blanco [arena de gato] en el medio y lo negro [grava] arriba”

Noa t.170 “Conclusión: queda al revés de lo que creíamos”

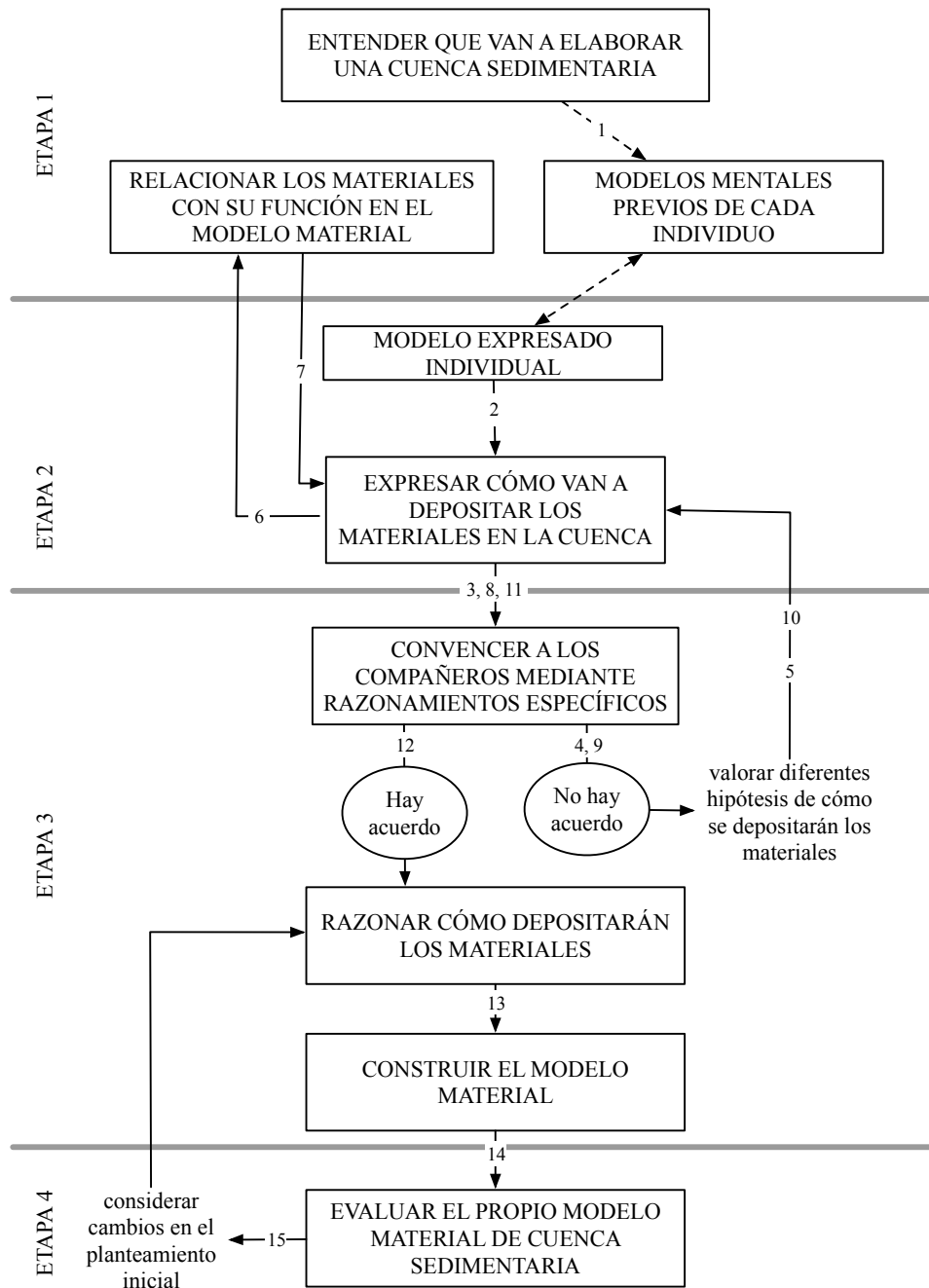


Figura 5.5. Proceso de modelización del grupo N, para la actividad ¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?. Líneas discontinuas= relaciones implícitas. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO I).

5.2.2. El proceso de modelización en la actividad “Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes” (1º Bachillerato).

En el caso de la actividad de modelización propuesta para 1º de bachillerato, “Reconstruir la cuenca sedimentaria de As Pontes”, la adaptación del proceso de modelización referencial se muestra en la figura 5.6. Al igual que para la actividad anteriormente analizada, se tuvieron en cuenta las etapas del proceso de modelización propuestas por Justi y Gilbert (2002). La correspondencia entre las etapas indicadas por estos autores y las etapas que requiere la actividad se muestran en la tabla 5.3.

La primera etapa consiste en una serie de pasos que contribuyen a la elaboración de un modelo mental de cómo es la propia cuenca sedimentaria de As Pontes, partiendo de su conocimiento previo sobre las cuencas sedimentarias. Como ya se ha comentado con anterioridad, no es posible acceder al modelo mental de cada individuo, por lo que nos ayudaremos de su modelo expresado para entender cómo interpretan la información proporcionada acerca de la cuenca. No obstante, aunque no nos sea posible analizar directamente el modelo mental, éste se articula continuamente tanto para interpretar la información contenida en el problema, como para construir un nuevo modelo de cuenca sedimentaria, ambos aspectos contribuyen al aprendizaje del mismo (Morrison y Morgan, 1999). De ahí que el modo en que interpretan la información (etapa 1) y la exterioricen en el “modelo expresado” (etapa 2) es lo que nos proporciona información.

La *interpretación de la información* quizás sea el paso más importante de la tarea pues es el momento en que los estudiantes deben aplicar sus modelos mentales en para el desarrollo del modelo material. Esta información se les presenta en dos formatos, la a) imagen de satélite actual del lago que está en dos dimensiones, que se formó como plan de recuperación de la mina, y las tres columnas estratigráficas de la cuenca sedimentaria, tomadas del estudio geológico realizado por Barsó et al. (2003), que nos añaden la tercera dimensión.

Tabla 5.3. Correspondencia entre las etapas del MMD, propuesto por Justi y Gilbert (2002), con el proceso de modelización requerido por la actividad

Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes.

	Pasos	Definición del proceso Justi, 2006	CORRESPONDENCIA CON LA ACTIVIDAD
ETAPA 1	Definir los objetivos	Establecer el objetivo por el que se construye el modelo	Entender que se va a elaborar el modelo de la cuenca sedimentaria de As Pontes
	Tener experiencias con el “objeto” a modelar	Experiencias que la persona ya tiene o que pasa a tener con el objeto a modelar.	Modelos mentales previos de cada individuo, considerando los conocimientos teóricos sobre el tema
	Seleccionar el “origen” del modelo	Selección de aspectos de la realidad que se usarán para describir el objeto a modelar, por ejemplo analogías.	Interpretar la información proporcionada como: - Imagen satélite - Columnas estratigráficas
	Elaborar un modelo mental	A partir de los pasos anteriores, el individuo elabora un modelo mental inicial	Elaborar un modelo consensuado del grupo para construir el modelo material de esta cuenca sedimentaria
ETAPA 2	Expresar usando alguna de las formas de representación	Decidir la forma de representación más adecuada. La cual se relacionará de forma cíclica con el modelo mental siempre que el modelo expresado requiera hacer modificaciones en el modelo mental.	Expresar las características de la cuenca sedimentaria, relacionadas con la superposición y la horizontalidad de los estratos
ETAPA 3	Llevar a cabo experimentos mentales	Estos experimentos consisten en plantearse la pregunta ¿qué pasaría si? Y se idean con la intención de comprobar o convencer a otros de la validez de una hipótesis.	Convencer a los compañeros mediante razonamientos específicos que versen sobre las columnas estratigráficas y la imagen satélite.
	Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales	Los experimentos son actividades prácticas, seguidas por la recogida y análisis de los datos.	Planificar y construir el modelo material
ETAPA 4	Considerar el rango de validez y las limitaciones del modelo	El modelo pudo ser elaborado con éxito o pudo ser fallido (requiere o bien modificar el modelo mental o sino rechazar el modelo mental y regresar al comienzo del proceso de modelización).	Comparar el modelo material con el esquema realizado por geólogos para evaluarla Los fallos pueden ser de dos tipos: - representación - interpretación

Los datos que se pueden extraer de estas fuentes de información son los siguientes:

IMAGEN DE SATÉLITE de la cuenca	COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS
<ul style="list-style-type: none"> • La cuenca sedimentaria está dividida en tres partes (=subcuencas o cubetas) • Dimensiones de cada una de las subcuencas, necesarias para establecer la proporción entre ellas en el modelo material 	<ul style="list-style-type: none"> • Forma del basamento • Continuidad lateral entre los estratos en cada una de las partes • Número y potencia de las capas • Tipo de sedimento de cada capa

Con esta información, lo que se busca es que los estudiantes tengan una representación mental de cómo es la cuenca en tres dimensiones, previa a la elaboración del modelo material.

Como se puede ver en la figura 5.6, la siguiente etapa consiste en que los estudiantes *expresen cómo son las características de la cuenca sedimentaria*, para lo cual han de considerar las interpretaciones previas realizadas.

En la tercera etapa, se incluyen aquellas intervenciones en las que los estudiantes tratan de convencer a los compañeros sobre cómo elaborar el modelo material, momento en el que han de emplear las pruebas obtenidas con las que justificar sus decisiones, una vez hayan llegado a consenso entre los componentes del grupo procederán a la construcción del modelo material, para lo cual han de asignar los materiales proporcionados a los estratos que aparecen en la leyenda.

La última etapa, consiste en la autoevaluación del propio modelo material comparándolo con un esquema de la cuenca sedimentaria de As Pontes realizado por los geólogos Barsó et al. (2003), de este modo son los propios estudiantes los que determinan si su modelo material se ajusta a lo esperado o presenta algún error o fallo. En nuestra opinión, estos fallos pudieron estar ocasionados en dos niveles, a nivel de la interpretación de la información proporcionada o a nivel de la propia construcción, es decir, problemas a la hora de manipular los materiales que se les daban, como puede ser el caso de la arcilla u otros problemas como el hecho de que las arenas se cuelen entre las gravas.

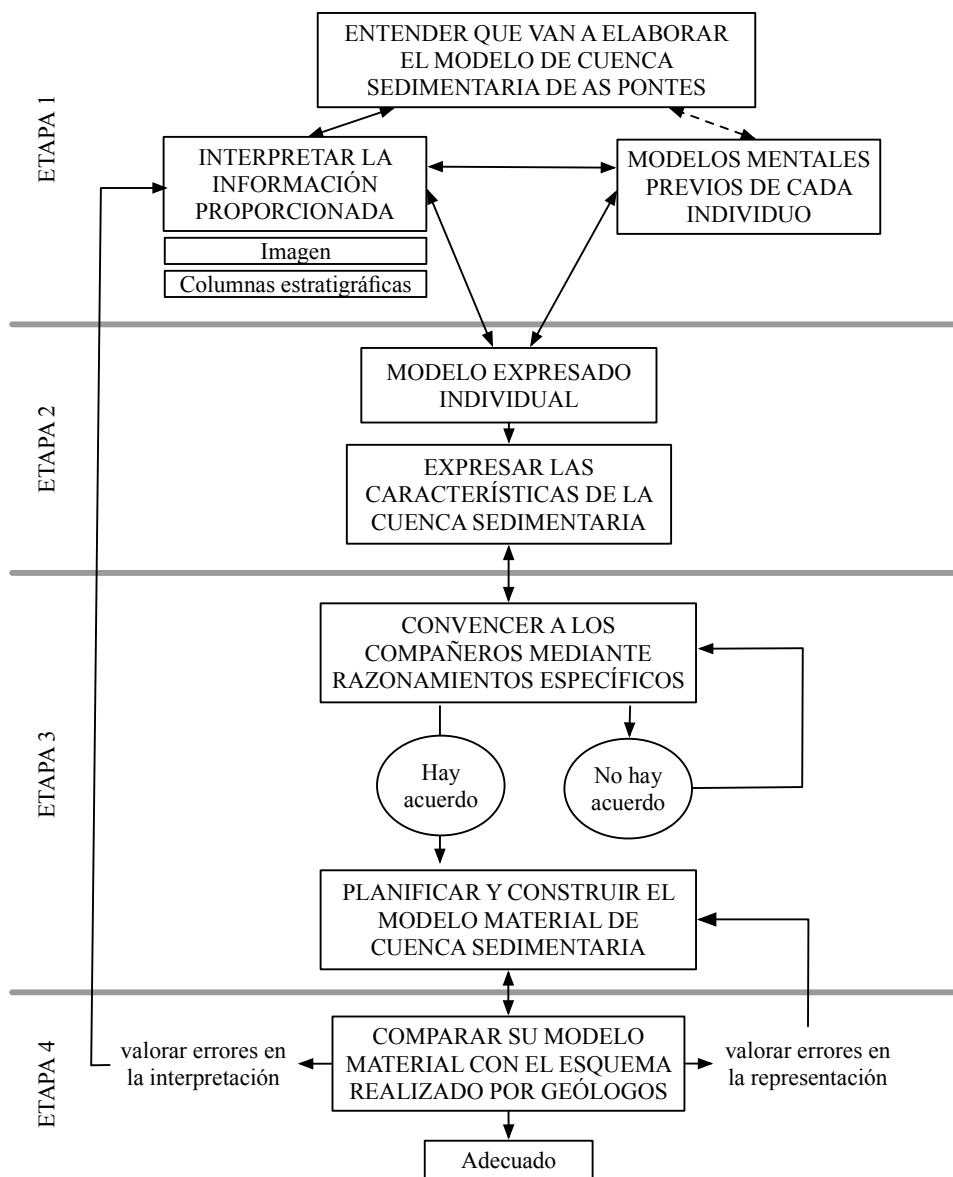


Figura 5.6. Proceso de modelización referencial, para la actividad *Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes*. Líneas discontinuas= relaciones implícitas.

Teniendo en cuenta el proceso de modelización de los cuatro grupos, a grandes rasgos se puede indicar que la mayor parte de las intervenciones de los estudiantes transcurren entre las etapas 2 y 3, en particular entre la propia elaboración del modelo material y la interpretación de la información que se les suministra. En este sentido, cabe mencionar el hecho de que todos los grupos comienzan el

proceso de modelización eligiendo el material con el que representar cada uno de los estratos, aunque esto no sea necesario hasta el momento de la construcción del modelo material (etapa 3). Esto fue así debido a que los profesores indicaron que debían hacer esa elección al comienzo de la tarea. Sin embargo, hay que resaltar que los estudiantes fueron capaces de remontarse al proceso de modelización y resituar su actividad en el punto inicial, es decir, interpretar la información proporcionada (etapa 1). A partir de ese momento, poseen ciertas características de la propia cuenca con las que comenzar a elaborar el modelo material (etapa 3). Para finalizar con el proceso de modelización, se les mostró un esquema de esa misma cuenca para que evaluaran la adecuación de su modelo material a la información proporcionada (etapa 4). Aunque este sería el orden que cabría esperar por cada uno de los grupos, esto fue desarrollado de diferentes por cada uno de ellos. Así el grupo A (figura 5.7) centra la mayor parte de su discurso en expresar unas características generales de la cuenca pero sin considerar la información proporcionada, esto es, ellos aplican su propio modelo de cuenca sedimentaria sin adecuarlo al modelo particular que deben representar, y con esa idea elaboran el modelo de cuenca sedimentaria de As Pontes. No ocurre lo mismo en el grupo B (figura 5.9), cuyos integrantes realizan casi de forma simultánea la interpretación de la información (imagen y columnas estratigráficas) y la construcción del modelo material, de ahí que la mayoría de sus intervenciones se sitúen entre las etapas 1 y 3. Las integrantes del grupo J (figura 5.11) también se centran entre estas dos etapas, pero a diferencia con el grupo B, hay ideas dispares entre las integrantes de este grupo lo que les lleva a tener que expresar las características y emplear argumentos para persuadirse las unas a las otras y así llegar a consenso sobre cómo elaborar el modelo material. El último caso es el del grupo N (figura 5.13), en el cual los estudiantes se detienen mucho en el análisis de la información proporcionada por las columnas estratigráficas, y en menor medida en la imagen satélite. Por ello resulta casi imposible separar la interpretación de las columnas con la reconstrucción paso a paso de la cuenca sedimentaria. Los integrantes de este grupo apenas se intentan convencer entre ellos, simplemente uno interpreta la información y los demás la aplican en el

modelo material. En cuanto todos los grupos han finalizado su cuenca, proceden a compararla con el esquema de los geólogos, pero ningún grupo reconsidera qué podrían haber hecho para que su modelo material fuese más semejante a lo esperado.

Comentadas las generalidades, con las que se ha desarrollado el proceso de modelización de cada grupo, a continuación se describen los detalles de cada uno de los grupos por separado, de modo que se comprenda mejor los pasos realizados por cada uno de ellos.

En el grupo A (figura 5.7) comienzan atribuyendo a cada estrato un material determinado y para ello se fijan en la leyenda y en las características de los materiales. Esto es, buscan una forma lógica de explicar qué materiales habrían llegado primero a la cuenca sedimentaria considerando los agentes geológicos de transporte.

Águeda t.10 *“Bueno pero puede ser que éste llegue con el viento y como sea ésto [por la grava] nos jode a todos”*

Esto puede parecer interesante en un comienzo, pues nos indica que son capaces de dar una respuesta al origen de la cuenca pese a que no sea una tarea necesaria para resolver el problema. No obstante, esto les lleva a perder la perspectiva de cómo tienen que abordar el modelo ya que se centran en depositar los estratos tal y como aparecen en la leyenda, sin tener en cuenta las columnas estratigráficas.

Águeda t.13 *“Primero es éste [tierra], luego éste [grava], después éste [arena de gato] y luego éste [arena de playa]”*

Una vez tienen asignados los materiales a los estratos, pasan a interpretar los datos proporcionados, la primera en intentar encontrar una forma para elaborar la cuenca es Aurea, quien afirma que hay que tener en cuenta el grosor de las capas:

Aurea t. 21 *“Pero primero habrá que mirar el grosor”*

Águeda t.22 *“¡Y qué más da el grosor!”*

Aurea t. 23 *“¡Jolín! Lo pone aquí [en el texto de la tarea]”*

Sin embargo, el hecho de que en el texto de la tarea se les indique “escribide os parámetros que ides ter en conta (espesor das capas, número de capas)” es

interpretado por Aurea como “grosor” pero para Águeda (t.33) significa material espeso lo cual se deduce de que considere que la tierra ha de ser depositada en primer lugar ya que *“porque es más espeso...”*. Esto les hace replantearse la elección de los materiales de nuevo. Hay dos razones por las que esto ha tenido lugar, la primera está vinculada al empleo de un término en el problema que pueda llevar a confusión, y el segundo se debe a que estas alumnas no se han planteado el analizar las columnas estratigráficas, simplemente se centran en la leyenda.

En el momento en que expresan cuáles son las características de la cuenca (etapa 2) lo hacen considerando la llegada de los sedimentos a la cuenca y, por lo tanto, su antigüedad, como se ve en el siguiente extracto:

Águeda t.44. *“Aunque yo ahora después de lo que dijo el profe, yo pondría primero esa [grava], luego esa [arena gato], luego esa [tierra] y luego esa [arena playa]”*

Chicas t.45. *“Si”*

Águeda t.46. *“Porque al estar más tiempo.. que se va haciendo más...”*

Lo cual es de extrañar porque nos da a entender que les resulta más sencillo establecer hipótesis sobre la formación, que el hecho de interpretar la información que les suministra la actividad, bien en la imagen o bien en las columnas estratigráficas.

Por la falta de acuerdo en la asignación de los materiales, vuelven a discutir sobre ello, pero en esta ocasión se les presenta otra dificultad por el hecho de las diferentes granulometrías, lo cual hace que se cree un debate sobre si echar los finos primero y después los gruesos para evitar que se mezclen. Esto les lleva hasta el final de la sesión de clase, en la que terminan relacionando las ‘areniscas’ con la arena de playa, las ‘lodolitas’ con la tierra, el ‘carbón’ con la grava, los ‘esquistos’ con la arena de gato y el ‘basamento del precámbrico’ con la arcilla de modelar.

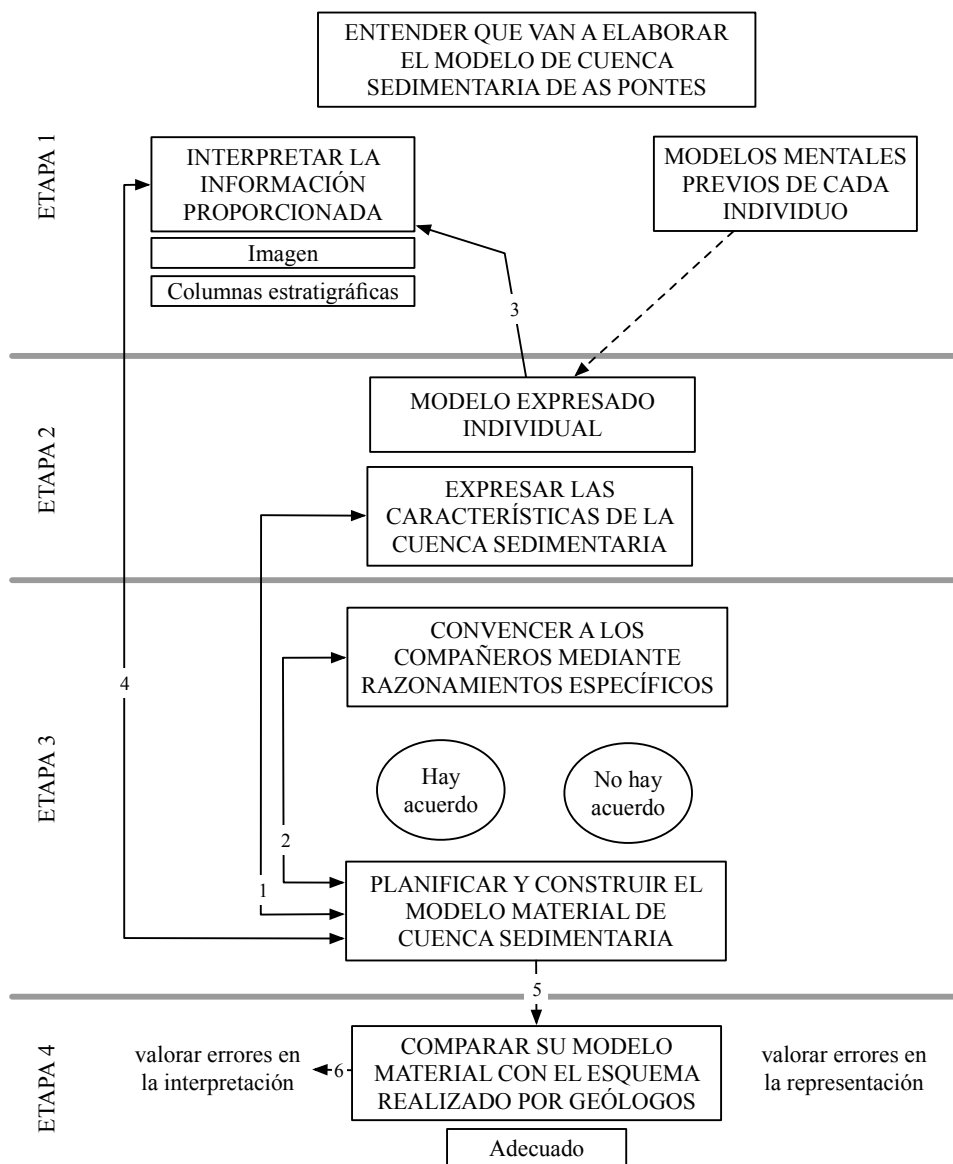


Figura 5.7. Proceso de modelización del grupo A, para la actividad Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes. Líneas discontinuas= relaciones implícitas.

Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO II).

En la segunda sesión se les suma un nuevo compañero, Antón, quien presta más atención a las parte manipulativa en lugar de razonar cómo hay que elaborar la cuenca sedimentaria. No obstante se encuentran con un pequeño contratiempo, ya

que la alumna encargada de las anotaciones realizadas en la sesión anterior se las ha olvidado y carecen de los acuerdos tomados en la sesión anterior.

En esta sesión continúan el proceso de modelización en la etapa 3, construir el modelo material, pero ahora ejecutan su planteamiento, ya que Áurea es quien toma la iniciativa de colocar la arcilla de modelar como primer material en la cuenca, probablemente porque recuerden que con ella iban a representar el basamento. El siguiente material que depositan es la grava, para representar a los esquistos, ya que es el siguiente material que hay en la leyenda, recordemos que este grupo no analizó en ningún momento las columnas estratigráficas. No obstante, en la sesión anterior habían acordado que los esquistos serían representados con la ‘arena clara’ y no con la grava. Lo que les lleva a reasignar los materiales a medida que elaboran la cuenca, por lo que las ‘areniscas’ serán representadas con la arena de playa, las ‘lodolitas’ con la tierra, el ‘carbón’ con la arena de gato, los ‘esquistos’ con la grava, y el ‘basamento del Precámbrico’ con la arcilla de modelar.

A medida que elaboran el modelo material, Antón, que se incorporó en la segunda sesión, muestra interés en considerar las tres columnas estratigráficas, sin embargo sus compañeras eluden sus intervenciones con evasivas por la complejidad que les supone el elaborar la cuenca atendiendo a las tres columnas:

- | | | |
|-------|------|--|
| Antón | t.40 | <i>“En cal hai que mirar [de las tres columnas]”</i> |
| Aloia | t.41 | <i>“En los tres”</i> |
| Antón | t.42 | <i>“Ai, si moi bien. E como fas os tres [las columnas] á vez?”</i> |
| Aloia | t.43 | <i>“Más o menos”</i> |
| Aurea | t.44 | <i>“Primero éste que es la plastilina, después el que aparece más.. éste”</i> |
| Antón | t.45 | <i>“Aparece aquí, pero neste [en otra columna] non aparece”</i> |
| Aloia | t.46 | <i>“Bueno pero eso da igual, hay que echarlo igualmente. Éste es éste y éste este ...”</i> |

Como se aprecia de la última intervención de Aloia, no se detienen a resolver las consideraciones planteadas por Aurea y Antón acerca de las columnas

estratigráficas. Una vez depositados los esquistos, añaden el carbón, las lodolitas y, por último, las areniscas, tal y como aparece en la leyenda, sin repetir ningún material y sin tener en cuenta la potencia de cada capa.

La mayor parte del tiempo estos estudiantes han permanecido en la etapa 3, ya que su discurso se ha centrado en la elección de los materiales y en depositarlos en la cuenca.

Al evaluar el modelo material (figura 5.8), la principal diferencia que reconocen es indicada por Águeda (t.126) “*na nosa maqueta está todo á mesma altura, pero aquí [en el esquema de los geólogos] hai montañas*”. Sin embargo, encuentran como similitud que “*as dúas teñen cinco estratos diferentes, aunque están divididos en máis partes, pero son sólo cinco estratos*” (Águeda, t.131). De esta última intervención percibimos una falta de comprensión entre lo que significan los tipos de sedimentos y los estratos que hay esa cuenca en particular.



Figura. 5.8. Imagen del modelo material elaborado por el grupo A.

En cuanto al grupo B (figura 5.9), se puede decir que comprenden el objetivo de la tarea por como la desarrollan, aunque en ningún momento lo hacen explícito. Estos estudiantes también comienzan relacionando los materiales proporcionados con los estratos que aparecen en la leyenda, esto es la etapa 3. Para ello, emplean el criterio del color en la medida de lo posible, ya que en el caso de las areniscas nos les queda más remedio que representarlas con la grava, así como el de la granulometría:

Bruno t.45 “La tierra ¿la ponemos de segunda? Mira que es muy fina”

Benjamín t.46 *“Xa é moi fina. Temos que meter a arenisca polo medio”*

Bruno t.55 *“Mira, esto [tierra] es el carbón ponle el carbón”*

De tal forma que deciden representar las ‘areniscas’ con la grava, las ‘lodolitas’ con la arena de playa, el ‘carbón’ con la tierra, los ‘esquistos’ con la arena de gato y el ‘basamento del precámbrico’ con la arcilla de modelar.

En cuanto tienen los materiales elegidos pasan a interpretar la información proporcionada (etapa 1). Este grupo realiza el modelo material atendiendo en todo momento a las columnas estratigráficas. En primer lugar tienen mucho cuidado en representar bien el basamento, teniendo en cuenta la zona central elevada que les permite representar la segunda columna:

Bruno t.67 *“Y lo vamos a hacer así, ¿directamente? Bueno pues tenemos que pensar que esto aquí sube [se refiere al basamento de la cuenca sedimentaria]”*

Breixo t.68 *“Home!”*

Benjamín t.69 *“Poñédeo así”*

Bruno t.70 *“No para que nos hagamos una idea, esto tiene que subir [el basamento] porque aquí sube [en el dibujo]”*

Benjamín t.71 *“Esto tiene que ser fino eh! [le dice a Bieito que está moldeando la arcilla] Tiene que ser proporcional”*

Bruno t.72 *“[Benjamín coloca el basamento] ¡pero tienes que subirlo más!”*

El detalle con el que analizan las columnas, sobre todo Benjamín, nos permite conocer la buena interpretación que realizan de los datos, lo que nos lleva a considerar que Benjamín presenta un “modelo mental” bastante adecuado sobre lo que es una cuenca sedimentaria.

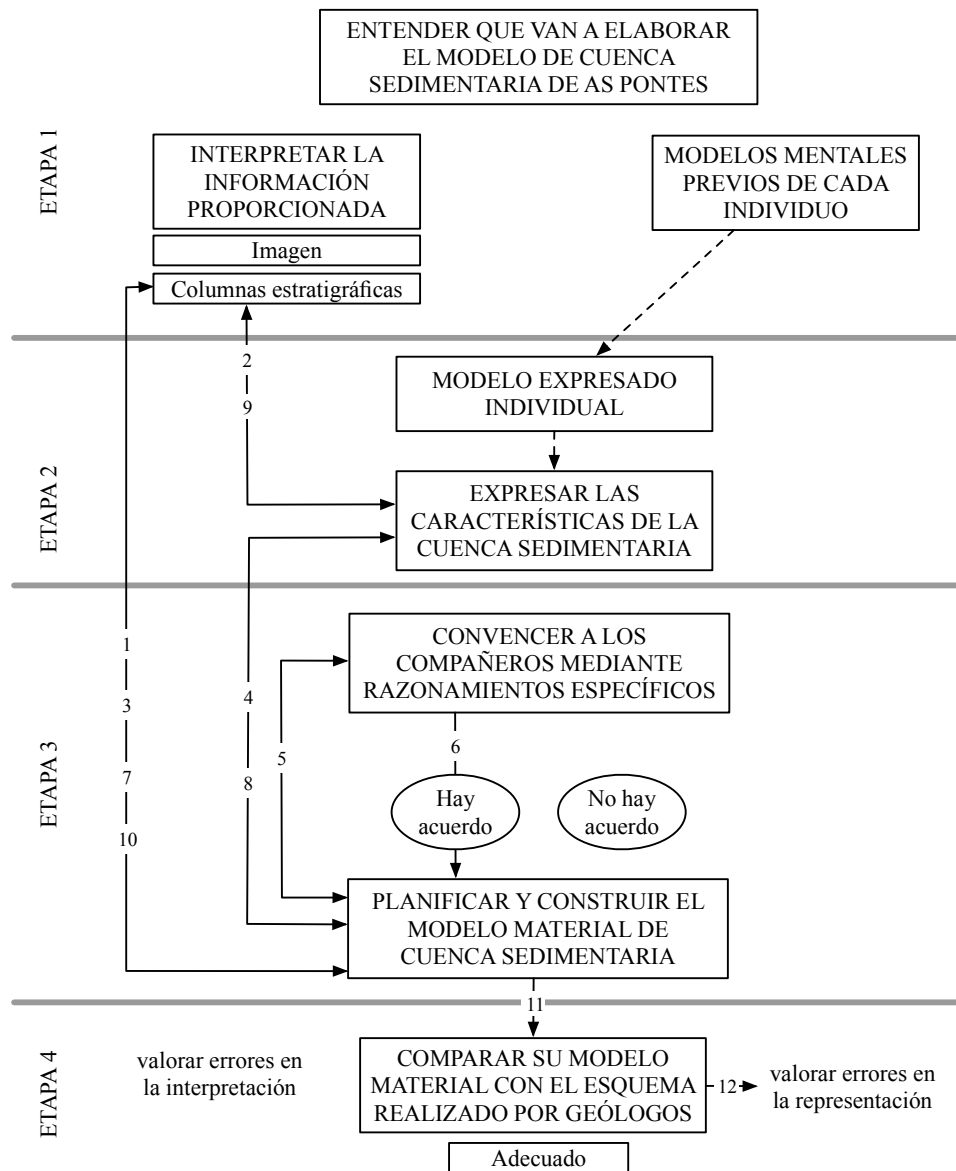


Figura 5.9. Proceso de modelización del grupo B, para la actividad Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes. Líneas discontinuas= relaciones implícitas. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO II).

Una vez han diseñado y colocado el basamento, acorde con la información que poseen, comienzan a añadir las capas de los estratos. En este grupo las etapas de modelización 2 y 3 están muy entrelazadas, ya que a medida que un alumno va

interpretando las columnas estratigráficas, los otros van elaborando la maqueta, pero estos roles son cambiantes a lo largo de la tarea. Esto les lleva a tener que expresar las características de la cuenca (etapa 2) con cuidado para que sus compañeros le entiendan:

Benxamín t.22 *“Non hai area neste lado... Bieito tío ti estás a durmir”*

Breixo t.23 *“Que area! Que a area é o branco, hai por todas partes, mira aquí rellena o hueco, e hai por aquí... E hai que botar lodolita”*

Benxamín t.24 *“Menos esquistos, que solo hai que botar aquí”*

La principal característica de este grupo es el hecho de que emplean la terminología propuesta en la actividad en vez de los nombres vulgares de los análogos empleados. Esto es, están apropiándose del modelo de la cuenca sedimentaria de As Pontes. Además, destacan por el cuidado que ponen en la elaboración del modelo material, especialmente intentando que las fases de sedimentación queden a la misma altura, es decir, respetando el principio de continuidad lateral, así como que la potencia de los estratos se corresponda con el que aparece en las columnas estratigráficas.

Bieito t.101. *“Si agora igualamos o carbón que o temos na mesma línea. No medio algo menos.”*

Benxamín t.107. *“É por todo, hasta nivelalo”*

Breixo t.108. *“Unha capa pequena de carbón por todo”*

Por último, en el momento de evaluar su modelo material (figura 5.10) comparándolo con el esquema de los geólogos, se dan cuenta de que no han resaltado lo suficiente las características que ellos mismos definieron de la propia cuenca, por eso su modelo no tiene la apariencia que debería. De ahí que Breixo (t. 141) diga *“non se parece moito, non se parece en nada”*, aunque Benxamín (t.151) es más optimista e indica *“a horizontalidade das capas é similar á da nosa maqueta”*. Consideramos que la principal dificultad que estos alumnos han presentado es debida a la escasa capacidad de manipulación de los materiales ya que la interpretación de la información fue bastante acertada durante el desarrollo de la tarea.



Figura. 5.10. Imagen del modelo material elaborado por el grupo B.

En el caso del grupo J (figura 5.11), comienzan el proceso de modelización identificando qué son los materiales que tienen en la mesa, es decir, cuál de ellos es la arena de playa, cual es la grava, etc., a lo que le dedican bastante tiempo:

- Josefa t.14. *“Esto é a area [grava] porque a area de praia non é”*
- Juana t.15. *“Bueno hai praias que sí que a teñen así máis gorda e máis dura”*
- Juana t.16 *“sí”*
- Josefa t.17 *“Si, pero aquí la arena de playa es ésta, porque esta [grava] no tiene conchas y es de piedras”*
- Julia t.18 *“Yo tengo ido a playas que son así, todo así eh!”*

A partir de ahí intentan aclarar cuál es el propósito del problema según la información de la que disponen (etapa 1), entonces Juana (t. 46) indica *“nosotras tenemos que construir esto [las columnas estratigráficas]”* pero Jacinta (t. 47) lo completa añadiendo que *“o que temos que facer é coller estas capas [columnas estratigráficas] e poñelas así [imagen aérea]”* de tal forma que relacionan ambos tipos de información de la que disponen.

Como se ha venido comentado en los anteriores grupos, el siguiente paso consiste en que las alumnas se centren en asignar los materiales a los estratos (etapa 3) por ser una indicación del docente. Estas alumnas tienen claro que la tierra representará al carbón o lignito, la arena de playa se empleará para las areniscas y la grava para los esquistos. Sin embargo, se establece un pequeño debate sobre

cómo representar el basamento. Por un lado Jacinta insiste que el basamento debe representarse con la arena de gato, pero por otro lado, Juana les muestra sus dudas al respecto ya que el profesor les dio a entender que el basamento debe hacerse con la arcilla. El problema es que a Juana le faltan pruebas para confirmarlo y Jacinta tiene muy claro que deben emplear arenas porque “*queremos facer así [hace ondas con la mano]*” por lo que logra convencer a sus compañeras.

Pese a esta discusión, en el momento en que comienzan a elaborar el modelo material se dan cuenta de que no pueden modelar el basamento con arena y entonces dan la razón a Juana y es ahora cuando Juana (t.108) da su razonamiento convencida “*Claro, por eso eu penso que esto [arcilla] debe ser abaixo de todo para poder modelalo*”. De modo que la relación establecida entre los materiales y los estratos consiste en que la arena de playa corresponda a las ‘areniscas’, la arena de gato a las ‘lodolitas’, la tierra al ‘carbón’, la grava a los ‘esquistos’ y la arcilla al ‘basamento del precámbrico’.

Una vez llegadas a acuerdo sobre cómo emplear los materiales, deciden comenzar a construir el modelo material (etapa 3) dándole forma al basamento, para lo cual interpretan las columnas estratigráficas (etapa 1) mientras lo manipulan. Jacinta es la encargada de darle forma al basamento, pero sus compañeras no están conformes con su trabajo, pues le indican que debe hacer el basamento más grueso por la parte central:

Juana t. 146 “*Pero tía, tan plana non poderá ser...*”

Josefa t. 147 “*Noo, porque aquí tiene que ser más gorda*”

Les resulta complicado hacerles comprender a Jacinta cómo es la forma del basamento pero acaban convenciéndola para así poder dividir la cuenca sedimentaria en tres subcuencas:

Jacinta t. 174 “*Bueno pero entonces hai facelo máis gruesa*”

Josefa t. 175 “*Claro por eso aí no medio hai que dividir! Toma dalle con esto [le da un bolígrafo y Jacinta lo que hace son divisiones] así. Es que... el que sabe sabe, eh! Juana! Agora esto [le da trozos a Jacinta para que haga las divisiones]*”

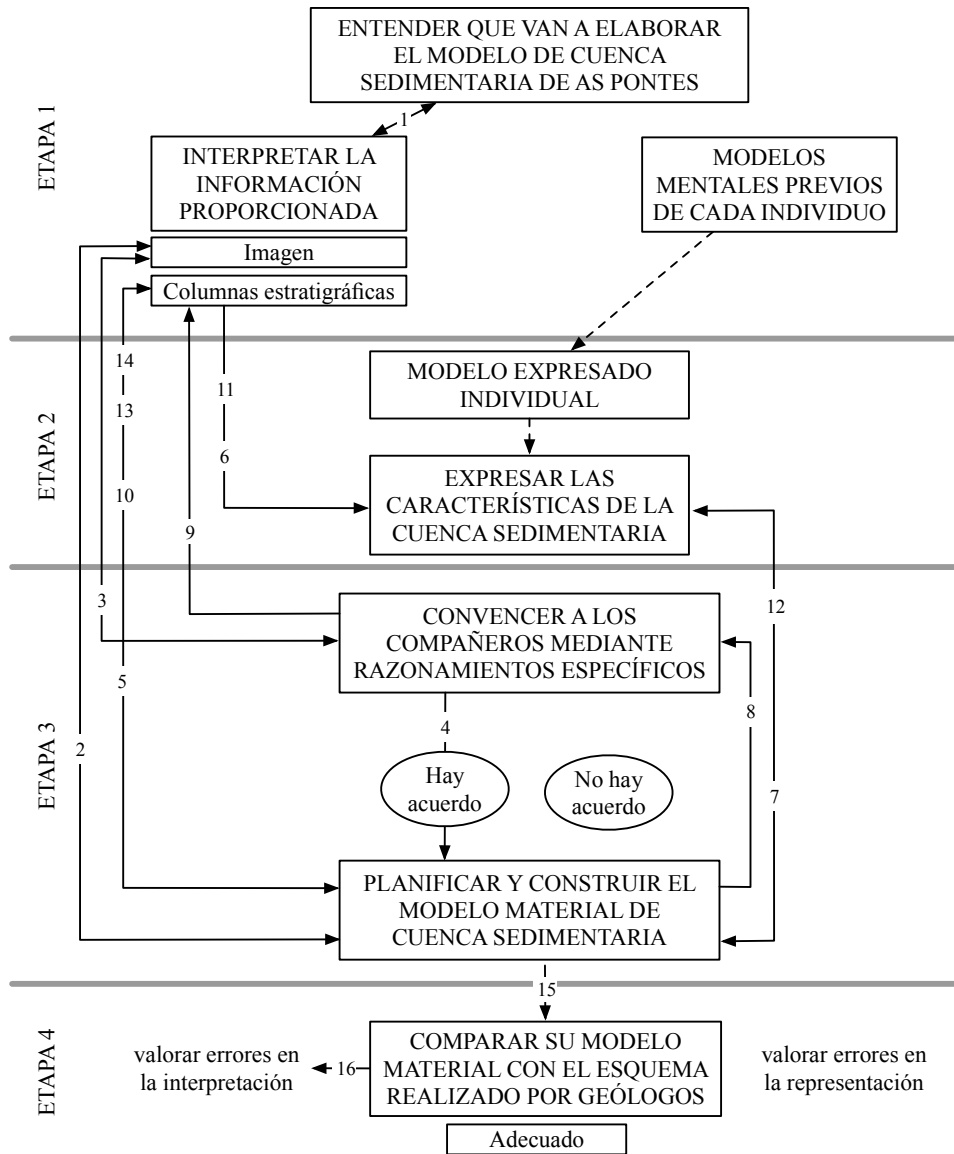


Figura 5.11. Proceso de modelización del grupo J, para la actividad Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes. Líneas discontinuas= relaciones implícitas. Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO II).

Una vez logran resolver este contratiempo, le dan cuenta de que la zona media del levantamiento tiene que ser una pequeña cuenca, de modo que Juana (t.243) expresa las características de la cuenca (etapa 2) “se tiene que ver una V”, haciendo referencia a cómo debería verse desde fuera del recipiente.

Con el basamento listo, comienzan a planificar cómo depositar los materiales para representar los estratos. De modo que presentan dos alternativas, o bien hacer las subcuenas por separado o bien ir añadiendo las capas en las tres subcuenas a medida que vaya siendo necesario:

Juana t.283 *“Eu decía de facer unha polo menos enteira”*

Jacinta t.284 *“Pois veña, fai a do medio”*

Josefa t.285 *“Eu penso que é mellor facelas á vez”*

Jacinta t.286 *“Xa eu tamén, porque acababamos antes”*

Empiezan a depositar los estratos siguiendo el orden que les viene indicado en las columnas estratigráficas, pero en este momento cambian la asignación de los materiales sin ser conscientes de ello, ya que en la intervención de Jacinta (t.327) *“Despois de eso [area] que vai... Despois desto é isto [grava] que era mellor poñelo ó revés porque despois no se van a ver as pedras, no?”* ella indica que deben echar grava cuando, teniendo en cuenta su planificación previa, les correspondía depositar arena de playa para representar las ‘areniscas’. Esto fue ocasionado porque pese a ser un grupo de cuatro, en este momento sólo estaban haciendo la tarea dos de ellas.

A la hora de construir el modelo material, las mayores dificultades que estas alumnas han presentado están relacionadas con darle forma al basamento para así poder representar las tres columnas estratigráficas, de hecho, el levantamiento central del basamento lo hacen poco pronunciado lo cual les causa posteriores problemas al intentar hacer coincidir los estratos en las tres columnas. Le dedican mucho tiempo a añadir los materiales ya que cuidan mucho el orden, la potencia y que llegue bien a los bordes.

Llegado el momento de evaluar su propio modelo material (etapa 4) comparándolo con el de los geólogos y en esta etapa se comprueba que únicamente son conscientes de las coincidencias positivas ignorando los fallos que presenta:

Josefa t.221 *“la primera columna estratigráfica es la misma... ¡es la misma! Menos en la tercera columna. Mira esto [señala la primera parte del esquema] sería la primera columna estratigráfica, se cumple esto [señala la 1ª columna en la fotocopia] y la segunda también, tiene la curva”.*

Jacinta t.222 *“a curva vai para abaixo no para arriba”*



Figura. 5.12. Imagen del modelo material elaborado por el grupo J.

Por último, el grupo N (figura 5.13) empieza identificando los materiales (etapa 3), es decir, cuál es la arena de playa, cual la grava, etc., para después relacionarlos con los estratos de la cuenca sedimentaria. A este proceso no le dedican mucho tiempo ya que lo hacen casi por azar, de ahí que la relación entre los materiales y los estratos consista en representar las ‘areniscas’ con la arena de playa, las ‘lodolitas’ con la tierra, el ‘carbón’ con la grava, los ‘esquistos’ con la arena de playa y el ‘basamento del Precámbrico’ con la arcilla de modelar. Como se puede apreciar, han decidido representar las lodolitas, que en la leyenda son blancas, con la tierra que es oscura. No consideramos que esto suponga un error en la resolución del problema ya que ellos podían hacer esta asignación como quisieran, pero la apariencia de su modelo material será a la inversa del esquema de los geólogos, lo cual deberían tener en cuenta al final del proceso de modelización, en la evaluación de su modelo material.

A continuación, expresan las características de la cuenca sedimentaria (etapa 2) de donde se observa que han interpretado adecuadamente las columnas estratigráficas y la imagen aérea:

- Narciso t.123 *“Hai que representar esta, esta e esta [tres partes de la cuenca], hai que dividilo en tres partes.”*
- Nicolás t.124 *“Non se podería facer unha cada un?”*
- Narciso t.125 *“No, porque sólo temos un... [se refiere a un recipiente]”*
- Noe t.126 *“Boh! Pero despois sacamos ese e volvémoslo a facer”*
- Nicolás t.127 *“Senon dividímolos pola mitad”*
- Narciso t.128 *“Pero eso...”*
- Nicolás t.129 *“Si eso coa arxila que é como plastilina”*

De este modo comienzan a construir la cuenca sedimentaria (etapa 3) empezando por el basamento. Pese a que iniciaron el problema haciendo una interpretación aparentemente adecuada de las tres columnas, en el momento de aplicarlas en el diseño del modelo material parecen no tenerlo tan claro, ya que la forma que le dan al basamento es completamente plana y además sólo modelan en basamento para una de las columnas estratigráficas. Esto ocasiona que el profesor intervenga y les dé demasiadas directrices sobre cómo proceder para elaborar el modelo:

- Profesor t.178 *“Que pasou? Xa empezades con unha [columna]. Pero por que non facedes primeiro a base de todas?”*
- Noe t.179 *“Tamén é boa idea [risas]”*
- Profesor t.180 *“Primeiro facedes a capa base de todo e a do medio ten que ter máis para arriba, necesidades máis arxila?”*
- Narciso t.181 *“Claro, esta vai ser máis grande, esta máis pequena”*

Esto hace que los alumnos se replanteen la interpretación de las columnas y de la imagen (etapa 1) para rediseñar el basamento considerando los datos que el profesor les dio, haciendo el basamento que corresponde a la segunda columna más alto. Después, Noe, hace el basamento de la tercera columna plano, sin considerar la pequeña inclinación que se aprecia, entonces Narciso (t.232) le indica *“pero eso ten que ser así, una inclinación”*.

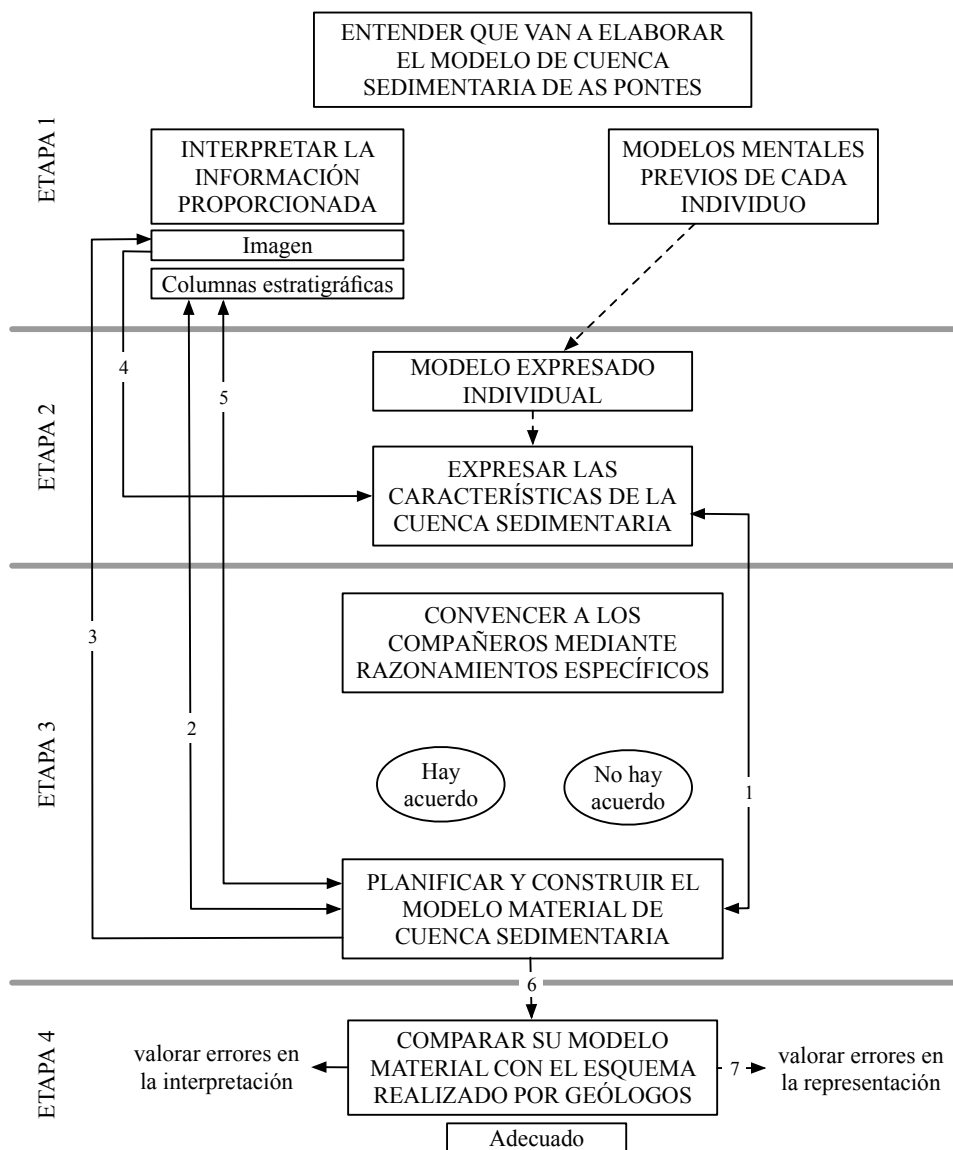


Figura 5.13. Proceso de modelización del grupo N para la actividad Reconstruir la antigua cuenca de As Pontes. Líneas discontinuas= relaciones implícitas.

Números= orden de las transiciones entre etapas (ANEXO II).

Con el basamento terminado, comienzan a poner las capas de estratos de las tres subcuencas de forma independiente. Esta forma de construir el modelo material, es decir, las tres columnas de forma independiente, nos da una idea de que no llegan a ver la relación completa entre ellas, es decir, desconocen el principio de

continuidad lateral el cual les ayudaría a poder construir un el modelo de cuenca completa.

En general, el hecho de ir añadiendo materiales a la cuenca no supuso un problema para estos alumnos, sin embargo las cantidades de material que echaban eran tan pequeñas que no se apreció la diferencia entre las capas una vez terminado el modelo material. De tal manera que no interpretaron la potencia de los estratos que se muestra en las columnas. Esto provoca que cuando la investigadora se acerca para ver como están realizándolo, les pregunte “*que vos queda por botar?*”, pregunta a que Narciso responde “*que eu sepa nada*”, entonces la investigadora les da a entender que deberían haber echado material por toda la superficie del recipiente en lugar de espolvorearlo por encima. Debido a esto ellos intentan arreglarlo pero la apariencia de la cuenca no mejora, el resultado es el que se muestra en la figura 5.14.



Figura. 5.14. *Imagen del modelo material elaborado por el grupo N.*

Para terminar con el problema, los alumnos autoevalúan su modelo material (etapa 4) y ante la comparación de la misma con el esquema de los geólogos, Néstor (t.251) exclama “*Pois ponlle que si un xeólogo ve a que fixemos nos... mátanos!* [risas]”. En cuanto a las similitudes Narciso (t.262) indica “*Similitudes é que están formadas polos mesmos materiais*” y como diferencias Néstor (t.300) afirma que “*as capas de sedimentación están moito máis diferenciadas que as nosas*”. De la intervención de Narciso observamos que no comprendió la idea de estar representando una cuenca con materiales análogos pero que no son los mismos que los que había originalmente en esa cuenca.

5.3 La “explicación de fenómenos de forma científica” por los estudiantes

Como ha sido comentado en el apartado 3.5.3, para comprender en qué medida esta actividad favorece el desempeño de esta dimensión de la competencia científica, se han adaptado los niveles de PISA (OCDE, 2008) para esta dimensión a cada una de las actividades. Este análisis nos permite establecer el nivel de desempeño de dicha dimensión de la competencia científica desarrollado por los estudiantes.

Siguiendo con el orden anterior, se comienza detallando los niveles alcanzados por cada uno de los grupos de 4º de ESO, para después comentar los desempeñados por los grupos de 1º de Bachillerato.

5.3.1. Niveles de desempeño en 4º ESO de la “explicación de fenómenos de forma científica”.

En 4º de ESO, la progresión, en sentido específico para esta tarea, se presenta en la rúbrica (tabla 5.4) y tiene en cuenta la elaboración del modelo material de cuenca sedimentaria a partir de los modelos mentales que presentan los estudiantes y los cuales van incorporando nuevas ideas o conceptos para construir un modelo cada vez más sofisticado de cuenca sedimentaria. Esta idea de progresión se pone de manifiesto en los cuatro niveles establecidos en la rúbrica, que se desarrolla en la siguiente tabla, en el que cada nivel se caracteriza por presentar un menor grado de complejidad en las explicaciones que el nivel siguiente:

Tabla 5.4. Capacidades desarrolladas por cada grupo, durante la realización de la actividad, implicadas en la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, indicando el nivel más alto alcanzado por cada grupo.

Grupo	Son capaces de...	Nivel
N	<p>Usar el modelo de cuenca sedimentaria explicando la formación de la cuenca sedimentaria atendiendo a los cuatro procesos:</p> <hr/> <p>El origen de la cuenca a causa de la lluvia (t. 15, 20, 26)</p> <hr/> <p>La sedimentación de los materiales en la cuenca según:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño (t.10, 16, 110, 111) <hr/> <p>El transporte por el agua (t.85)</p> <hr/> <p>La erosión generada por el agua lo que origina materiales de diferente tamaño. (t. 68, 90, 93, 115, 132)</p> <p>Contextualizar la cuenca sedimentaria en ambientes sedimentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Río (t. 15, 136) - Playa (t. 140) 	5
H	<p>Aplicar tres procesos geológicos en la explicación geológica de la formación de la cuenca sedimentaria:</p> <hr/> <p>La sedimentación de los materiales en la cuenca según:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tamaño (t.36) - Densidad (t.101, 102) - Fuerza del medio de transporte. (t. 135, 136) <hr/> <p>El transporte por el agua:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Río (t. 52, 58, 71) <hr/> <p>La erosión generada por el agua lo que origina materiales de diferente tamaño. (t. 44, 52, 58, 71, 86, 145)</p> <p>Contextualizar la cuenca sedimentaria en ambientes sedimentarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Río (t. 36, 37, 129) 	4
G	<p>Aplicar cómo tiene lugar el transporte de los materiales previo a la sedimentación, es decir, considerando dos procesos:</p> <hr/> <p>La sedimentación de los materiales en la cuenca según:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Peso (t.87, 89) - Tamaño (t. 91, 112) - Densidad (t. 92) - Tamaño-peso (t. 93) - Tamaño-densidad (t.94, 105, 114) <hr/> <p>El transporte por:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua (t. 63, 65, 68, 69) - Viento (t.59, 62, 64, 66, 67, 69) 	3
Ningún grupo analizado desempeña el segundo nivel como máximo desempeño de esta dimensión		
L	<p>Establecer un criterio para ordenar los materiales en la cuenca:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grado de erosión (≈granulometría) (t. 28, 44, 55) - Color (t.34, 37, 56, 59, 64) 	1

Teniendo en cuenta esta rúbrica, se ha categorizado el desempeño de cada grupo en dichos niveles. Cabe considerar que en la tabla se muestra el nivel más alto alcanzado por cada grupo, sin embargo a lo largo de su discurso se observan diálogos en los que la complejidad de sus explicaciones los sitúa en niveles inferiores. Como se puede ver en la tercera columna de la tabla 5.4, el nivel 2 no fue desarrollado por los grupos analizados.

El nivel menor de desempeño, *nivel 1*, corresponde a explicaciones que se reducen a establecer un orden en el que los materiales deben ser depositados en la cuenca, atendiendo a parámetros conocidos por los estudiantes que proceden de sus experiencias cotidianas.

Las explicaciones de los integrantes del grupo L se encuentran en este nivel, ya que al elaborar el modelo material no aplican ningún criterio vinculado a la sedimentación ni a la causa de que existan materiales de diferentes granulometrías. Por lo que, apelan a otro tipo de conocimiento como el “color”, lo cual no guarda relación directa con la sedimentación de los materiales en un orden concreto, y también utilizan en algún momento el término “erosión” para referirse al tamaño de los diferentes materiales. En este grupo se estableció un pequeño debate, para elegir cuál de estos criterios es el más adecuado, entre las dos chicas, quienes defendían que debían atender al color, y Luís quien defendía que era porque unos materiales están más erosionados que otros.

Loreto	t.27	<i>“No porque esta [area] é a que está abaixo de todo”</i>
Luís	t.28	<i>“Y esta [area] como es la que está fuera es la más erosionada”</i> [...]
Loreto	t. 32	<i>“Este [grava] de primero y éste [arena] de último</i>
Luís	t.33	<i>“No esta [grava] de ultima”</i>
Loreto	t.34	<i>“No, porque es más oscura y cuanto más oscura más orgánico y más para abajo”</i>
Ledicia	t.35	<i>“Claro cuanto más oscuro más abajo”</i>
Luís	t.36	<i>“Esta [grava] es la que está donde los árboles”</i>

Ledicia t.37 *“La que está arriba de todo es la que tiene colores más claros”*

Luís t.38 *“Nooo, no tiene por que, hay tierra negra, negra, negra, arriba de todo”*

Debido a la insistencia de Ledicia y Loreto, el criterio del color es el elegido, sin embargo no lo aplican de la forma adecuada, puesto que para Loreto el color muestra el contenido de materia orgánica del material, lo cual puede ser correcto, pero situaron a la grava por ser más oscura a mayor profundidad, como se muestra en las líneas 34 y 35, cuando al atribuirle una mayor proporción de materia orgánica estaría en la capa superficial en contacto con la vegetación y la fauna.

En cuanto al *nivel 2*, en los grupos analizados no se han encontrado explicaciones que se encuentren en este nivel, es decir, en las que únicamente se abordase el modelo de sedimentación para explicar la formación de una cuenca sedimentaria.

El siguiente nivel, *nivel 3*, incluye aquellas explicaciones en las que se muestra una mayor comprensión acerca de qué es una cuenca sedimentaria y cómo se forma, englobando los procesos de sedimentación y transporte.

En este nivel, se encuentra el grupo G, que fue capaz de identificar los materiales como elementos de una cuenca sedimentaria. Además, durante la elaboración del modelo material aplican sus conocimientos acerca de la sedimentación, empleando varios criterios para establecer el orden de los materiales en la cuenca, aplicando, finalmente, la relación tamaño-densidad:

Gregorio t.86 *“Ahora, como ides ter isto en conta”*

Gloria t.87 *“Os menos pesados estarán máis arriba non?”*

Gregorio t.88 *“Non, poden estar mezclados”*

Gloria t.89 *“Os menos pesados estarán máis arriba”*

Gregorio t.90 *“Si, si si”*

Gloria t.91 *“Os que teñan menor tamaño...”*

Guillermo t.92 *“Si, os menos densos están arriba. Eu penso que é por ser menos densos porque se os pos por aquí [a area entre a grava] cólanse”*

- Gloria t.93 *“Os que teñen menor tamaño-peso”*
Guillermo t.94 *“Os que teñen tamaño-densidade”*
Gregorio t.95 *“Eh, no! Como ides ter isto en conta...”*
Gloria t.96 *“Pois os que teñan menor tamaño-densidade estarán máis arriba, na superficie.”*

Asimismo, en el momento de identificar cómo los materiales llegaron a la cuenca hubo dos opiniones enfrentadas, mientras que para Gregorio el agente de transporte era el viento, para Gloria era el agua, sin ningún tipo de justificación.

- Gloria t.63 *“O transporte de auga”*
Gregorio t.64 *“E do vento”*
Gloria t.65 *“Pero eu penso que é da auga”*
Gregorio t.66 *“Si pero o vento...”*
Guillermo t.67 *“Si o transporte do vento”*
Gloria t.68 *“Si pero non poderá ser da auga?”*
Guillermo t.69 *“Si da auga... Pero o vento que leva. O vento leva área”*
Gregorio t.70 *“Si, estas areas si”*
Gloria t.71 *“Bueno, o vento, que máis?”*

Sin embargo, como no llegaron a un acuerdo durante el diálogo, en el informe escrito decidieron escribir que el transporte puede ser por ambos medios, agua y viento.

El nivel 4, corresponde a las explicaciones que presenta un modelo de cuenca sedimentaria más complejo que los dos niveles anteriores, puesto que en este modelo se abarcan los procesos de sedimentación, transporte y erosión previa de los materiales, lo cual denota un mayor nivel de abstracción. Queremos hacer notar que empleamos el término “erosión” por que adoptamos el vocabulario de los estudiantes, pero somos conscientes de que a nivel geológico no es la noción adecuada, ya que los estudiantes emplean “erosión” para referirse a la fragmentación de los materiales por mecanismos como la disgregación que más bien se engloba en la “meteorización física”.

En este nivel se sitúan las explicaciones proporcionadas por el grupo H, quienes para elaborar el modelo material de cuenca sedimentaria aplican los tres procesos: sedimentación, transporte y erosión previa de los materiales, lo cual tiene sentido para ellos ya que, inicialmente, contextualizaron la cuenca sedimentaria en un ambiente fluvial:

Helio t. 36 *“Nenos, a ver, o dos sedimentos a cousa é así. Primeiro hai un río, primeiro o que sedimenta son as cousas máis grandes, as máis finas lévaas máis para adiante.”*

De esta intervención se puede inferir que para Helio hay una sedimentación progresiva, de mayor a menor tamaño, a lo largo de un río, lo que conduce a que ordenen los materiales en la cuenca siguiendo el criterio del tamaño. A continuación, explican los procesos de erosión y transporte como procesos que tienen lugar de forma conjunta a través del agua:

Helio t. 52 *“Pero a ver, a auga non está nas rochas. A auga... A ver, pero a auga é o elemento de transporte e de erosión principal.”*

Con este razonamiento, este grupo es capaz de comprender por qué se les suministran tres materiales con diferente granulometría, grava y dos tipos de arena. Al combinar los procesos de transporte y sedimentación, su modelo adquiere mayor complejidad y abstracción:

Helio t. 135 *“A area tamén, solo que a area será depositada máis tarde dependendo da forza coa que vaia a auga”*

Horacio t. 136 *“Vai ser transportada máis tempo”*

Esta idea les lleva a considerar que la arena de playa, por ser más fina y ser transportada más tiempo, va a estar en el proceso de “transporte” más tiempo, con lo cual no sedimenta. Mientras que los otros materiales se transportan menos tiempo y, por lo tanto, sedimentan antes. De ahí que el orden de las capas en su modelo material sea de abajo a arriba: grava, arena de gato y arena de playa, lo cual no entra en conflicto con sus ideas anteriores de que los materiales serían depositados por sus propiedades de tamaño y densidad. No obstante, esto denota un problema espacio-temporal en el proceso, ya que si la arena es transportada

más tiempo también llegará más lejos y por lo tanto no sedimentará encima de la grava que se deposita antes y, por lo tanto, más cerca del origen.

Las explicaciones que se sitúan en el nivel más elevado, *nivel 5*, están englobadas dentro de un modelo de cuenca sedimentaria que no sólo contempla los procesos de sedimentación, transporte y erosión, sino que a mayores incluye una explicación de cómo se origina una cuenca antes de que los materiales sedimenten en ella. El modelo que subyace en esta categoría es de rango mayor que los anteriores por el hecho de que requiere un grado de mayor abstracción y comprensión acerca de cómo tienen lugar el fenómeno en su conjunto.

Este nivel comprende las explicaciones del grupo N, las cuales son consideradas las de mayor complejidad puesto que las alumnas, que forman el grupo, fueron capaces de explicar la formación de la cuenca sedimentaria aplicando un modelo completo que abarca desde el origen de la cuenca hasta la sedimentación de los materiales en la misma, pasando por la erosión y transporte.

Estas alumnas enfocan el proceso a pequeña escala por lo que concretan que la cuenca sedimentaria puede tener lugar en “*un río o un hoyo*”, como dice Nicola (t. 15) y a partir de ahí atribuyen a la lluvia la formación de una cuenca:

Nuria t. 20 *“Escucha, primero la tierra se erosiona. Después al llover se hace un hueco”*

Al igual que los integrantes del grupo H, estas alumnas consideran que las diferencias de tamaño entre los materiales que se les proporcionaron son consecuencia de la erosión. A continuación, identifican el agua como agente de transporte, aunque Noa propone que puede ser el viento, a lo que Nuria da una respuesta para hacerle ver que no pueden representar el viento en su modelo material, pero sí tienen agua para representar ese proceso:

Nuria t.85 *“A auga”*

Noa t.86 *“El viento”*

Nuria t.87 *“Si pero no nos vamos a poner a soplar”*

Finalmente, para explicar cómo los materiales sedimentan emplearon el criterio del tamaño, como se puede ver en estas intervenciones:

- Nicola t.109 *“Pero ¿cómo crees que van a quedar?”*
- Nuria t.110 *“Primero las grandes, luego se irán haciendo más pequeñas ¿no?”*
- Noa t.111 *“Yo creo que primero las grandes y luego se mezclará la arena de gato con la arena de playa y por último el agua quedará por arriba cubriéndolo todo”*

A modo de síntesis, en la figura 5.15 se representan los tres modelos empleados por los grupos para explicar cómo se forma la cuenca sedimentaria y las relaciones que establecen entre estos conceptos. En este diagrama se representan en óvalos los modelos, de erosión, transporte y sedimentación, y el origen de la cuenca en un cuadrado por no tener el mismo origen ontológico. Las líneas de diferentes tramas indican las relaciones establecidas por cada grupo entre los procesos, empleando una trama para cada grupo.

Con esta figura queremos enfatizar los modelos que cada grupo incluyó en sus explicaciones. Siguiendo el orden de menor a mayor número de relaciones entre dichos modelos, el grupo G aplica el modelo de transporte para indicar cómo los materiales llegan a la cuenca sedimentaria. El grupo H, realiza unas explicaciones más complejas en las que establece la relación entre el modelo de erosión y de transporte para indicar a qué se deben las diferencias de tamaño entre los materiales y cómo son llevados hasta la cuenca, donde sedimentan. Finalmente, la red de explicaciones del grupo N es la más sofisticada ya que, como hemos comentado previamente generan una explicación acerca de cómo ha tenido lugar la formación de la cuenca en sí. De este modo, estas alumnas utilizan el modelo de erosión para explicar la formación de dicha cuenca, con el modelo de transporte describen cómo los materiales llegan a la cuenca y, por último, comentan el modelo de sedimentación en la cuenca sedimentaria.

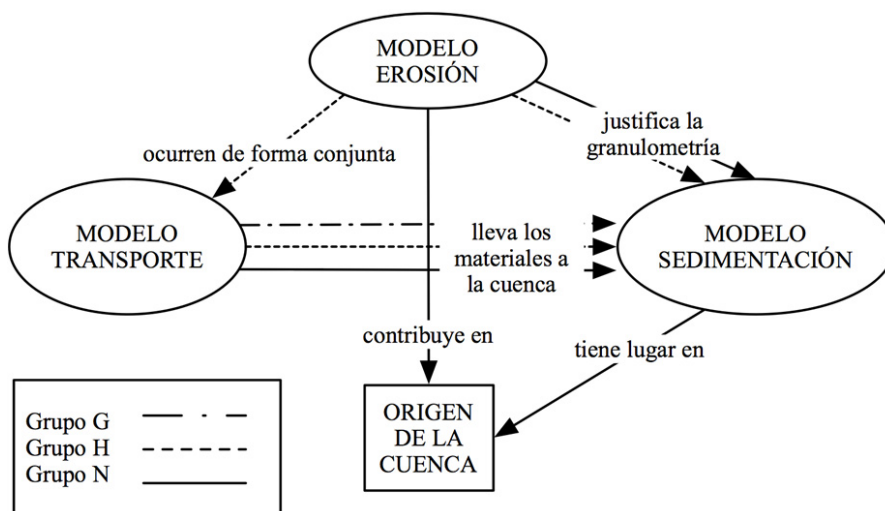


Figura 5.15. Modelos que cada grupo incluye en las explicaciones.

5.3.2. Niveles de desempeño en 1º Bachillerato de la “explicación de fenómenos de forma científica”.

En cuanto a 1º de Bachillerato, en la rubrica (tabla 5.5) se ha categorizado el desempeño de cada grupo para la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica” de la competencia científica, en la cual se mantienen los niveles establecidos por PISA 2006 (OCDE, 2008), ya comentados en la tabla 3.5b. Para determinar la complejidad de los niveles, debido a que la tarea requiere la interpretación de columnas estratigráficas y una imagen aérea que muestra la proporción de las tres subcuencas que componen a la cuenca sedimentaria de As Pontes, se han considerado a los principios estratigráficos como ideas clave para explicar la estructura de dicha cuenca. De este modo, el nivel de desempeño inferior requiere simplemente que los estudiantes sean capaces de percatarse que para modelar la cuenca deben emplear los materiales proporcionados para representar las capas o estratos que la componen. A medida que a esta idea muy simple se le añaden conceptos más complejos el nivel de desempeño asciende hasta llegar al nivel 5, en el cual los estudiantes deben ser capaces de generar una explicación para las tres subcuencas y de aplicar los principios de superposición y de continuidad lateral de los estratos para explicar cómo es la cuenca sedimentaria

de As Pontes, además de mostrar que presentan un modelo general de cuenca sedimentaria que les permita predecir el resultado de sus acciones durante la modelización.

Debemos tener en cuenta que se muestra el nivel más alto alcanzado por cada grupo, aunque durante el desarrollo de su discurso se observan intervenciones que se podrían situar en niveles más inferiores. Los niveles más elevados de explicación de cada grupo se muestran en la tercera columna de la tabla 5.5. Hay que señalar que ninguno de los cuatro grupos analizados se encuentra en el nivel 2.

El *nivel 1* corresponde al de menor desempeño que fue desarrollado por el grupo A, debido a que elaboraron el modelo material depositando los materiales en la cuenca tal y como aparecían en la leyenda de los materiales, es decir, no interpretan dichas columnas ni prestan atención a la imagen de satélite de la zona. Las explicaciones que generan en todo momento están centradas en un modelo general de cuenca sedimentaria, similar a lo que correspondería con la actividad propuesta para 4º de ESO (“¿A que nos referimos cuando hablamos de estratos?”), de hecho llegan a explicar cómo se pudo haber formado la cuenca, como es el caso de Águeda (t.10) “*Bueno pero puede ser que éste [arena de playa] llegue con el viento y como sea ésto [por la grava] nos jode a todos*”, en cuya intervención se aprecia que están tratando de comprender cómo se formó la cuenca, aunque ese no sea el propósito del problema.

Durante la elaboración del modelo material estos estudiantes prestan mayor atención a los estratos que aparecen en la leyenda y es así como los representan, un ejemplo de ello es la intervención de Águeda (t.44) “*Aunque yo ahora después de lo que dijo el profe, yo pondría primero esa [grava], luego esa [arena gato], luego esa [tierra] y luego esa [arena playa]*”, ya que no se plantea que las capas se puedan repetir, simplemente que hay que echar una capa de cada tipo de estrato.

Tabla 5.5. Capacidades desarrolladas por cada grupo, durante la realización de la actividad, implicadas en la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, indicando el nivel más alto alcanzado por cada grupo.

Grupo	Son capaces de...	Nivel
J	Emplear el modelo general de cuenca sedimentaria (1ª sesión, L:208, 229, 245, 279, 294, 321)	5
	Identificar las tres subcuencas que componen a la cuenca sedimentaria y que cada subcuenca presenta una columna estratigráfica (1ª sesión, L:98, 102, 106, 152, 213; 2ª sesión, L: 1)	
	Explicar la organización de los estratos en la cuenca sedimentaria según dos principios estratigráficos:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Continuidad lateral de los estratos (1ª sesión, L:140, 153, 171, 192, 269, 277, 323; 2ª sesión, L: 137) - Superposición de los estratos (1ª sesión, L: 252, 257, 327, 364, 378; 2ª sesión, L: 16, 56, 91) 	
B	Reconocer que la cuenca sedimentaria está formada por capas o estratos (1ª sesión, L:47, 249)	4
	Aplicar el principio de continuidad lateral junto con el de superposición de los estratos para explicar la organización de los estratos en la cuenca sedimentaria:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Continuidad lateral de los estratos (1ª sesión, L: 59, 67, 70, 72; 2ª sesión, L:44, 56, 60, 78, 86, 101, 107) - Superposición de los estratos (2ª sesión, L: 5, 19, 22, 23, 24, 65) 	
	Identificar las tres subcuencas que componen a la cuenca sedimentaria y que cada subcuenca corresponde a una columna estratigráfica (1ª sesión: L: 57, 71, 82; 2ª sesión, L: 73, 96)	
N	Reconocer que la cuenca sedimentaria está formada por capas o estratos (2ª sesión, L:55, 89)	3
	Aplicar el principio de superposición en la explicación de cómo es la organización de los estratos en la cuenca sedimentaria:	
	<ul style="list-style-type: none"> - Superposición de los estratos (1ª sesión, L: 85, 89, 91, 247, 262, 264, 320, 348 ; 2ª sesión, L: 11) 	
Ningún grupo analizado desempeña el segundo nivel como máximo desempeño de esta dimensión	Identificar las tres subcuencas que componen a la cuenca sedimentaria y que cada subcuenca presenta una columna estratigráfica (1ª sesión, L: 55, 57, 118, 182)	
	Reconocer que la cuenca sedimentaria está formada por capas o estratos (1ª sesión, L: 282)	
A	Reconocer que la cuenca sedimentaria está formada por capas o estratos (1ª sesión: L: 13, 44, 52, 73; 2ª sesión, L:21, 82)	1

El grupo N ha desempeñado hasta el *nivel 3* para esta dimensión, ya que han sido capaces de explicar la forma de la cuenca sedimentaria considerando tanto la imagen de satélite como las columnas estratigráficas, las cuales fueron interpretadas considerando el principio de superposición de los estratos. Sus interpretaciones les han llevado a explicar la cuenca sedimentaria de una forma un tanto “fragmentada”, esto quiere decir, que no proporcionaron una explicación de la cuenca como un todo, sino de cada una de sus partes, representando cada una de las columnas estratigráficas de forma independiente solo que en el mismo recipiente:

- Narciso t.123 *“Hai que representar esta, esta e esta, hai que dividilo en tres partes”*
- Nicolás t.124 *“Non se podería facer unha cada nun?”*
- Narciso t.125 *“No, porque sólo temos un recipiente”*
- Noe t.126 *“Boh! Pero despois sacamos ese e volvémoslo a facer”*
- Nicolás t.127 *“Senon dividímolo pola mitad”*

No obstante, sí que fueron capaces de emplear el principio de superposición de los estratos para saber qué tipo de estrato debían depositar en cada momento, así como mantener la proporción entre las tres partes de la cuenca.

El *nivel 4* fue desempeñado por el grupo B, cuyos integrantes aplicaron los dos principios estratigráficos fundamentales en la modelización de la cuenca sedimentaria, esto es, el de continuidad lateral y el de superposición de los estratos, tal y como se observa en intervenciones como son la de Bieito (t.101) *“Si ahora igualamos o carbón que o temos na mesma línea”* refiriéndose a que el estrato de carbón debe estar a la misma altura que en las tres partes de la cuenca. O bien las múltiples intervenciones en las que hacen mención a los estratos que deben ir depositando paso a paso para cumplir con el principio de superposición que se deduce de las columnas estratigráficas, como es el caso del intervención de Benxamín (t.65) *“Pero que se cola tío! Son capas superpostas”*.

El grupo J ha alcanzado el *nivel 5*, el de máximo de desempeño requerido por la actividad, no sólo porque explicaron la modelización de la cuenca sedimentaria

considerando ambos principios estratigráficos, considerando las tres subcuencas y sus correspondientes columnas estratigráficas, sino porque fueron capaces de manejar el modelo de cuenca sedimentaria para explicar con él lo que debería ser el resultado final de su cuenca sedimentaria. O lo que es lo mismo, realizaron predicciones con las que adelantar los resultados de su modelo. Dos buenos ejemplos de este tipo de razonamiento son las intervenciones de Jacinta y Julia:

Jacinta t.229 *“Claro, pero teslle que apretar aquí para que os lados queden máis levantados, por fora tense que ver unha curva”*

Julia t.294 *“Claro se tiene que ver inclinado desde fuera. No ves, igual que aquí la V, pues se tiene que ver así”*

En estas dos intervenciones, así como las que se remarcan en la tabla 5.5, se puede comprobar que el grupo J presenta una visión de la cuenca sedimentaria en tres dimensiones, lo que les permite desarrollar explicaciones de mayor complejidad para esta cuenca en particular.

5.4 Discusión y conclusiones parciales sobre la modelización y la explicación de fenómenos.

En este apartado se discuten los resultados que dan respuesta a las dos preguntas derivadas del primer objetivo de investigación *Caracterizar el proceso de modelización que siguen los estudiantes y su desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”*.

Considerando la pregunta de investigación *¿cómo elaboran y emplean los modelos los estudiantes para generar las explicaciones?*, cabe indicar que el análisis del proceso de modelización llevado a cabo por cada uno de los grupos ha permitido constatar que las etapas del Diagrama del Modelo de Modelización, propuesto por Justi y Gilbert (2002), han sido adecuadamente adaptadas a los requerimientos de las actividades. Asimismo, se ha comprobado la dificultad que presenta el analizar los movimientos de los estudiantes entre las etapas 1 y 2 del proceso de modelización. En concreto, si los estudiantes se mueven en un

‘modelo consensuado de grupo’ o si ‘han adoptado el modelo expresado de un compañero’. Una posible respuesta a este dilema que se nos plantea es la proporcionada por Mendonça y Justi (2011), quienes indican que en la producción de un modelo consensuado de grupo se fusionan los modelos expresados por cada miembro, aunque en ocasiones éste modelo consensuado sea muy cercano al modelo de uno de los integrantes.

Durante el proceso de modelización, el orden en que los estudiantes desarrollaron cada una de las etapas no fue unidireccional sino iterativo, formando numerosos bucles de retroalimentación; especialmente en el caso de 1º de bachillerato, en el cual los docentes implicados insistieron en que los estudiantes iniciasen la modelización ‘eligiendo los materiales con los que iban a representar los diferentes estratos’, es decir, comenzaron identificando los códigos de representación, pero el alumnado fue capaz de remontarse a la etapa 1 de la modelización, al necesitar de la interpretación de los datos pertinentes con los que continuar en las etapas 2 y 3, para la construcción del modelo material.

En general, las etapas incluidas en el proceso de modelización han sido desarrolladas por los grupos aunque, no todos los grupos han abordado las todas las fases de cada una de las etapas. En ambos niveles educativos, la mayor carencia la presentaron en el momento de ‘convencer a los compañeros mediante razonamientos específicos’, para llevar a cabo una u otra planificación del modelo material. En gran medida los estudiantes se mostraban conformes con las propuestas de sus compañeros, lo cual puede ser debido a que adoptan la misma visión del problema o quizás que para algunos integrantes la búsqueda de explicaciones resulta en cierta medida compleja y prefieren adoptar las propuestas de sus compañeros, lo cual es una actitud típica de la “cultura escolar” (Jiménez-Aleixandre, Díaz de Bustamante y Duschl, 1998). Pese a ello, la relevancia de esta etapa dentro de la modelización se debe a que mediante el intento de persuasión los estudiantes han de hacer explícito su modelo mental, de forma que lleguen a un modelo expresado consensuado por el grupo. De no ser así, disminuye la esencia del aprendizaje basado en la elaboración de modelos, por el hecho de que

un individuo representa su propio modelo sin dejar que sus compañeros establezcan un vínculo cognitivo con ese modelo, por lo que no tienen ocasión de revisar sus modelos de cuenca sedimentaria ni aprenden de la situación que es representada por el mismo (Morrison y Morgan, 1999).

Asimismo, la riqueza en el número de ideas empleadas en las explicaciones viene condicionada por ese intento de llegar a un modelo consensuado, ya que si los estudiantes no tienen la necesidad de negociar sus explicaciones, no articulan de forma completa las ideas que conforman sus modelos mentales.

En el caso particular de 1º de bachillerato, la etapa más relevante ha sido ‘interpretar la información proporcionada’, en la cual los estudiantes presentaron ciertas dificultades para aplicar los principios estratigráficos, en especial el principio de continuidad lateral. Aunque esta etapa presentase ciertas dificultades, la mayoría de los estudiantes fueron capaces de entender el significado de las columnas estratigráficas, aplicando el principio de superposición de los estratos y el de continuidad lateral. Además, la última etapa del proceso de modelización consistía en evaluar sus modelos materiales, momento en que mostraron una postura excesivamente complaciente ante los defectos de su modelo. Por ello, concluimos que se debería hacer hincapié más en estos aspectos con el fin de contribuir a la adquisición de una actitud crítica, la cual forma parte de la competencia científica.

Este intercambio de ideas está relacionado con el enriquecimiento, de forma progresiva, del modelo que están empleando en la “explicación de formación de una cuenca sedimentaria” y lo cual está vinculado con la segunda pregunta de investigación, *¿qué niveles de desempeño para la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica” desarrollan los estudiantes?*. A nivel metodológico, se hace necesario remarcar que la adaptación de los niveles de PISA a los requerimientos de la tarea resultó bastante compleja, pues los parámetros empleados por PISA están muy enfocados a actividades de respuesta múltiple (tipo test) y de respuestas cortas, en las que se limita la posibilidad del uso de modelos y elaboración de explicaciones por parte de los estudiantes. Esta

dificultad es también señalada por las autoras Crujeiras Pérez y Jiménez Aleixandre (en revisión), quienes proponen solicitar al alumnado que justifique la elección de su respuesta.

Tal y como se refleja en las rúbricas empleadas para analizar estos niveles, las actividades en sí requerían un desempeño máximo del nivel 5 considerando los ítems indicados por PISA para cada nivel. Esto nos ha permitido diferenciar los niveles desarrollados por cada grupo, según la complejidad de los procesos con los que explicaron la formación de las cuencas sedimentarias. A su vez, el que alcancen mayor nivel implica que los estudiantes han reorganizado las ideas subyacentes en sus modelos mentales, lo que aumentó el número de modelos y principios empleados en esta explicación, mejorando así el nivel de competencia para esta dimensión. Además, los grupos que han hecho explícitos sus modelos y los han compartido han podido modificarlos en consonancia con el de sus compañeros bien para completarlo como para romper con algunas de sus ideas alternativas. Lo cual ha contribuido en dos aspectos fundamentales, 1) a un aprendizaje significativo por conectar sus ideas iniciales sobre qué es una cuenca sedimentaria y cómo se forma, y 2) a un mejor desempeño de la dimensión “explicación de fenómenos de forma científica”, como es el caso del grupo N (4º ESO) y del J (1º Bach.).

En el caso de 4º ESO coincide que los grupos que han elaborado el modelo dedicándole bastante tiempo al intercambio de ideas han sido los que alcanzaron un nivel mayor de desempeño. Como es el caso del grupo N, en el que las alumnas han cuestionado todas las alternativas propuestas hasta que encontraron aquella que satisfacía los modelos mentales de cada una de ellas.

Mientras que para 1º de bachillerato, el mejor desempeño de dicha capacidad ha venido condicionado por la aplicación de los principios estratigráficos en la etapa 1 de ‘interpretar la información proporcionada’. Cuantos más principios aplicaron mayor fue su desempeño, tal y como realizaron las alumnas del grupo J, cuyas integrantes invierten más tiempo a la parte cognitiva que manipulativa.

A modo de comparativa, la diferencia entre las actividades de modelización de una cuenca sedimentaria de 4º de ESO y de 1º de Bachillerato, residen en que en 4º de ESO, tienen que elaborar una cuenca sedimentaria en general, lo que implica que sus representaciones materiales son adecuadas siempre y cuando sus explicaciones estén acordes con el modelo material elaborado, pues no tienen que emplear un conocimiento científico específico. En el segundo caso se modela una cuenca sedimentaria particular, de forma que deben llegar a un resultado concreto. Esto les conduce a la transformación de su modelo general de cuenca sedimentaria a un modelo particular de cuenca sedimentaria de As Pontes. Estos aspectos diferenciales se observan si comparamos los puntos con mayor número de interacciones en los procesos de modelización. Es decir, si observamos el proceso de modelización de la actividad ‘¿a qué nos referimos cuando hablamos de estratos?’ (figura 5.1) se comprueba que los estudiantes dedican más intervenciones entre “valorar las diferentes hipótesis” y “convencer a sus compañeros”, ambas fases incluidas en la etapa 3. Esto tuvo lugar porque el problema era abierto y la decisión de cómo depositar los materiales dependía completamente de los estudiantes.

Mientras que, en el su análogo para la actividad ‘Reconstruyendo la cuenca sedimentaria de As Pontes’ (figura 5.2), el mayor número de las interacciones que se establece tiene lugar entre las fases “interpretar la información” y “planificar y construir el modelo material”, esto es, entre la etapa 1 y la etapa 3. Lo cual se debe a que en el momento de representar la cuenca de As Pontes, el alumnado tenía que establecer menos razonamientos para convencer a los demás, por tratarse de un problema con una solución concreta que dependía de que interpretasen los datos de forma adecuada.

Finalmente, en cuanto al desempeño de la dimensión “explicar los fenómenos de forma científica” cabe concluir que el nivel superior de 4º de ESO corresponde con el nivel más bajo de desempeño 1º de bachillerato. Lo que nos da una idea de la creciente complicación que presentan las tareas. Un buen ejemplo de esta relación entre ambas actividades viene dada por el grupo A (1º Bachillerato)

cuyos integrantes, en lugar de representar la cuenca sedimentaria de As Pontes, parecen estar resolviendo la actividad propuesta para 4º de ESO, en la que tenían que depositar los materiales en una cuenca sedimentaria general.



CAPÍTULO 6

EL DESEMPEÑO DE LA DIMENSIÓN “USO DE PRUEBAS” Y LA ARGUMENTACIÓN

6.1 Introducción

En este capítulo se abordan los resultados que conciernen al segundo objetivo de investigación: *Caracterizar el proceso de argumentación de los estudiantes y su desempeño de la dimensión “uso de pruebas”*. Este objetivo se desglosa en las preguntas de investigación siguientes:

1. *¿Cómo relacionan los datos y las pruebas que emplean en los argumentos?*. Con esta pregunta se concreta la caracterización del proceso de argumentación, comenzando por la interpretación de los datos hasta la elaboración de los argumentos. Este es un proceso unidireccional en la actividad propuesta para 4º de ESO, mientras que en la actividad de 1º de bachillerato es bidireccional, es decir, los estudiantes deben construir los datos que luego sus compañeros analizarán. Para responder a esta pregunta se examinará cada uno de los pasos incluidos en el proceso de argumentación, cómo manejan los datos, en formato visual, qué pruebas emplean durante la argumentación y la complejidad de los argumentos.
2. *¿Qué niveles de desempeño de la dimensión “uso de pruebas” son desarrollados por los estudiantes?*. Estudiado el proceso de argumentación, se analizará qué nivel de capacidad en el uso de pruebas es alcanzado por cada grupo, siguiendo para ello la rúbrica (tabla 3.6), adaptada de los niveles del informe PISA 2006 (OCDE, 2008), cuyo fin es

conocer en qué medida se contribuye al desempeño de esa capacidad.

Para dar respuesta a estas preguntas, se analizan las actividades que fueron diseñadas con el propósito de fomentar la argumentación, las cuales son: “Las icnitas de Soria” y “¿Quiénes fueron los protagonistas?”, para 4º de ESO, y “Historietas de icnitas”, para 1º de bachillerato. Estas tareas requieren que los estudiantes actúen como paleontólogos estableciendo las hipótesis sobre lo que pudo haber ocurrido en las secuencias de icnitas. Para lo cual deben aportar pruebas que apoyen las conclusiones, de tal manera que se persuadan entre los componentes de los grupos para llegar a una conclusión en común. La resolución de esta tarea se puede hacer dividiendo la secuencia en tramos y tratar de argumentar qué pudo tener lugar en cada uno de ellos, para después formar un argumento final que englobe los subargumentos.

La diferencia entre las actividades formuladas para 4º de ESO y para 1º de bachillerato se centra en el tratamiento de la información. Mientras que en las actividades de 4º de ESO la información parte de los datos para obtener pruebas, con las que llegar a una hipótesis (‘historia’), en la de 1º de bachillerato los estudiantes deben construir los datos, a partir de una historia, y después analizar la ‘representación de icnitas’ (datos construidos) realizada por sus compañeros para desarrollar los argumentos pertinentes. En la figura 6.1 se muestran estas diferencias en el proceso.

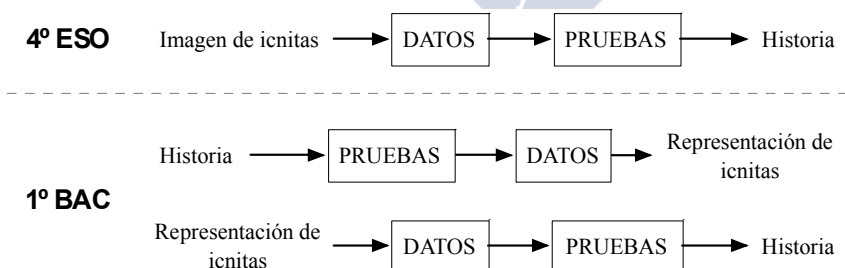


Figura 6.1. *Secuencias en el tratamiento de la información para las actividades de 4º de ESO (“Las icnitas de Soria” y “¿Quiénes fueron los protagonistas?”) y de 1º de bachillerato (“Historieta de icnitas”).*

Este tratamiento de la información tiene como base la transformación de los datos,

ya comentada en el marco teórico, desde los datos brutos hasta la explicación del fenómeno (Duschl y Ellenbogen, 2009). Esta transformación resulta evidente en estas actividades donde los datos están en formato visual, que deben ser interpretados (según sus propias ideas o teorías) para ser empleados como pruebas en los argumentos. Las actividades no requieren que se haga una aplicación de una teoría concreta pero sí hay algunos conceptos que deben considerar: a) la *formación de las icnitas*, que son huellas fósiles por lo que nos llevan a entender que estamos ante un hecho del pasado; b) *el ángulo de zancada*, formado por tres pisadas consecutivas (con alternancia de extremidad) nos indica que a mayor ángulo, mayor velocidad (Lockley, 1993), y sirve para justificar la velocidad relativa en las huellas y el posible comportamiento de los dinosaurios, aunque consideramos válido el término empleado por los estudiantes ‘distancia entre las huellas’ por ser una aproximación aceptable al concepto de ángulo de zancada; c) las *relaciones* que se pueden establecer entre dinosaurios según sean de la misma especie o no, por ejemplo, depredación, competencia territorial, etc.

Siguiendo con lo indicado en el apartado de metodología, los análisis que se llevan a cabo para estudiar el proceso de argumentación y uso de pruebas, en las actividades de icnitas, se centran en tres aspectos. El primero consiste en examinar qué tratamiento realizan de los datos, es decir, qué pruebas obtienen de ellos y si esas pruebas son suficientes y adecuadas. El segundo es establecer los argumentos principales de cada grupo para analizar su discurso argumentativo, para lo cual se hace uso del esquema de argumentación de Toulmin (1958), aunque modificado como se ha comentado en la metodología (apartado 3.5.2), y se analizan los elementos propios del proceso de argumentación que los estudiantes han hecho. Cabe indicar que los argumentos de los grupos fueron elaborados por la investigadora para su análisis, ya que no se pedía a los estudiantes que empleasen este esquema por ellos mismos. El tercer aspecto se basa en identificar los niveles superiores de desempeño de “uso de pruebas” desarrollados por cada grupo de estudiantes, para lo cual se tuvieron en cuenta los niveles establecidos por PISA (OCDE, 2008) adaptándolos a los requerimientos de las actividades. La adaptación de esta rúbrica (tabla 3.6) se describe en el apartado 3.5.3 de la

metodología. En cada subapartado se detallan los aspectos diferenciales del análisis para cada una de las actividades.

6.2 El proceso mediante el cual los estudiantes elaboran y evalúan los argumentos.

En este apartado se analiza el proceso de argumentación que siguen los estudiantes, haciendo hincapié en el uso de datos y pruebas, y se esquematizan los argumentos globales de cada grupo. Una vez conocido cómo se desarrolla el discurso argumentativo en cada grupo, se examinan los niveles de la capacidad en “uso de pruebas” alcanzados por cada uno de ellos, apartado 6.3.

Los apartados siguientes mantienen el orden del tratamiento de la información que han de realizar los estudiantes (figura 6.1). Así, en primer lugar se analizan las actividades de 4º de ESO, comenzando por el proceso argumentativo, desde los datos hasta los argumentos (6.2.1) y después se analiza a qué datos dan mayor importancia (6.2.2) en la segunda actividad. En el caso de 1º de bachillerato, se comienza examinando cómo construyen los datos para que después sean interpretados por sus compañeros (6.2.3) y, a continuación, el proceso argumentativo de los grupos analizados (6.2.4).

6.2.1 El proceso de argumentación durante la actividad “Las icnitas de Soria” en 4º de ESO

El análisis de la resolución de esta tarea partió con la elaboración de los referenciales, tanto para la división de la secuencia de icnitas en tramos (fig. 6c, R) como del argumento referencial, que contiene las observaciones y respectivas inferencias, se puede ver en la figura 6.2. A modo de resumen una de las posibles interpretaciones de la secuencia de huellas es: ‘en el primer tramo ambos individuos van andando; en el segundo, el de huellas grandes empieza a correr, pues su ángulo de zancada aumenta; en el tercero, los dos corren. En el cuarto, el ángulo de zancada no nos ayuda, pero en el quinto podemos volver a afirmar que las únicas pisadas que quedaron registradas indican que el individuo va andando’.

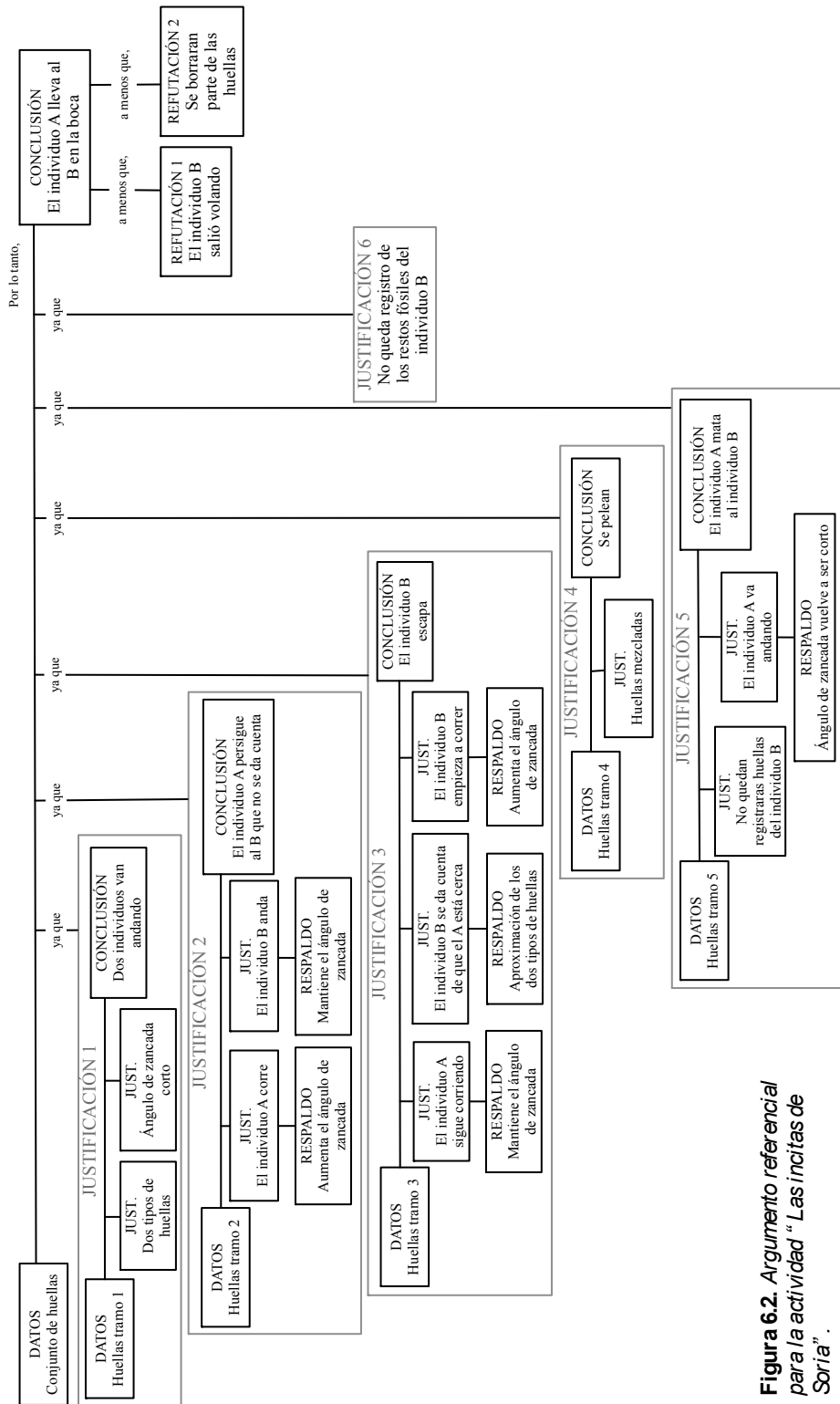


Figura 6.2. Argumento referencial para la actividad “Las incitas de Soria”.

Por lo tanto, queda un último interrogante ¿qué ha pasado con el individuo del que no quedan huellas registradas? Podría ser comido por el otro, salir volando, que sus huellas se borrarán o incluso que las huellas de ambos individuos pertenezcan a momentos diferentes, es decir, que no fueran sucesos simultáneos.

Con la ayuda de los referenciales, procedió a examinar los tramos de la secuencia de huellas, que cada grupo estableció gráficamente para tener una idea de qué información extrajeron de las mismas, para inferir los sucesos que han tenido lugar en cada uno de los tramos. Además se estableció una comparativa entre las divisiones grupales y las de referencia. A continuación se elaboraron los argumentos globales de los grupos, para lo cual fue de gran ayuda el argumento referencial, pues nos dio una idea de las respuestas esperables de los estudiantes.

Siguiendo este esquema de análisis, a continuación se explican los resultados obtenidos, comenzando por el tratamiento de la secuencia de icnitas que realizaron los estudiantes, el cual se ilustra en la figura 6.3. Esta primera parte corresponde con la observación en la que los estudiantes emplean la cinemática de las huellas para establecer la división de la secuencia en tramos, lo cual como se verá después, queda reflejado en los subargumentos que componen el argumento principal.

A modo de simplificar la terminología que se emplea a continuación, se usará la palabra ‘TRAMO’, en mayúsculas, al referirse a los tramos referenciales; mientras que a las divisiones de los estudiantes se les denominará ‘tramo’, en minúscula.

En rasgos generales se observa que todos los grupos han establecido cinco tramos, los grupos G y N de forma idéntica al referencial, mientras que los grupos H y L presentan algunas particularidades a la hora de dividir los TRAMOS 1 y 2. En el caso del grupo H dividen el conjunto según el tipo de pisadas, pues están teniendo en cuenta a los ‘actores’ no a los sucesos. De ahí que la cinemática de las huellas grandes las denominen con una ‘a’ y las pequeñas con una ‘b’. A continuación, consideran que se debe hacer una división entre el patrón de huellas grandes, lo cual corresponde a los tramos 1a y 2a, como se puede ver en la figura 6.3, *“vai tan tranquilo ou vai a acechar, entonces cando se da conta de que éste máis*

pequeño esta aquí, empieza a correr” (Helio, t.40), y mientras tanto consideran que el de huellas pequeñas va andando, lo que representan con la nomenclatura 1b. En el tramo 3 como sólo hubo cambios en la velocidad de las huellas pequeñas, establecen el tramo 2b, en el tramo 4 ambos modifican su movimiento, 3ab, y finalmente sólo se ven las huellas grandes, lo que ellos consideran 4a.

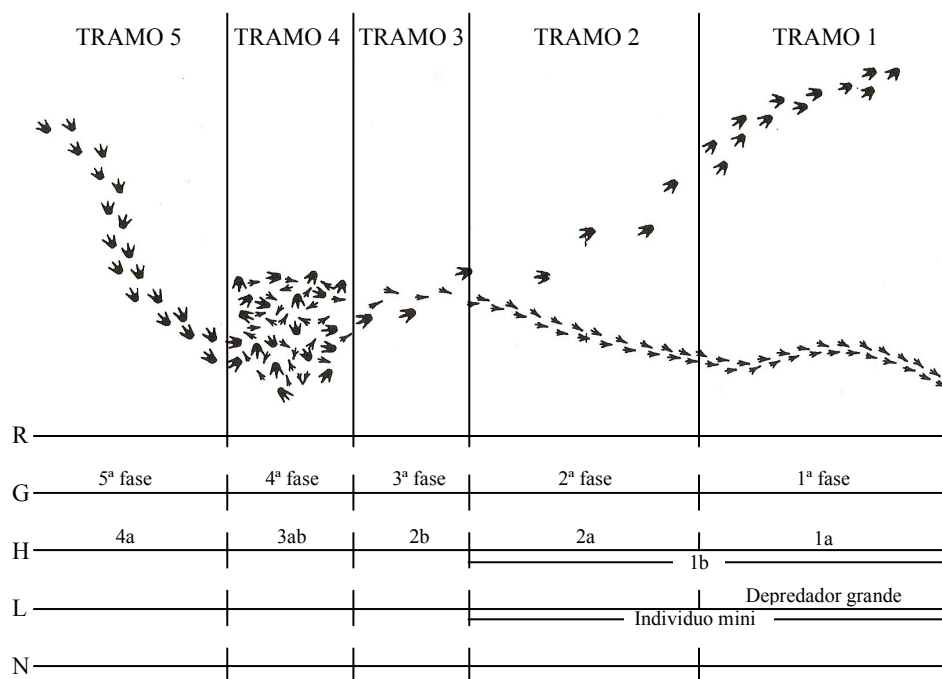


Figura 6.3. Comparación de la división de la secuencia de pisadas del referencial (R) con cada grupo (G, H, L, N), conservando las anotaciones que cada grupo indicó en el informe escrito.

El grupo L, emplea un criterio similar al del grupo H, pero sin hacer uso de una nomenclatura, pues el establecimiento de los tramos 1 y 2 lo realizan atendiendo únicamente a su interpretación de la cinemática de las huellas grandes.

La razón por la que estos dos grupos hicieron una división ligeramente diferente fue provocada por la intervención del docente en cada caso. Es decir, los grupos G y N solicitaron ayuda al docente antes de establecer la división de la secuencia y, en ambos casos los docentes les sugirieron que la división de las icnitas debía ser considerando a ambos individuos simultáneamente, por ejemplo:

Docente A t. 220 *“Ben, as fases é entre a interacción entre os dous animais”* (grupo G)

Docente B t.77. *“As liñas teñen que ser perpendiculares ao rastro das pegadas”* (grupo N)

En cambio, la intervención de los docentes con los grupos H y L tuvo lugar después de que realizasen la división, lo cual favoreció que realizasen su propia interpretación de la secuencia, proporcionando mayor información para el estudio.

Los datos extraídos del conjunto de icnitas los han empleado como pruebas de diferentes maneras en las justificaciones. Estas pruebas deben cumplir los criterios de suficiencia y adecuación. Así, si provienen directamente del dato, la consideramos prueba suficiente, y si realizan una inferencia de los datos en la que la componente interpretativa tenga mayor peso, la prueba no se considera suficiente, pues al no estar directamente relacionada con los datos parece poco objetiva. Además, si los datos están interpretados de forma correcta darán lugar a pruebas adecuadas, por el contrario, las pruebas serán inadecuadas. Lo cual se ha comentado en detalle en el apartado 3.5.2 de metodología.

De las pruebas que emplean los estudiantes en la resolución de la tarea las que nos interesan son aquellas que cumplan ambos criterios, es decir, que sean suficientes y adecuadas, pues esto nos da una idea de la aplicación de los datos en las justificaciones. Para ello se ha elaborado la tabla 6.1, en la que se muestra qué porcentaje de las pruebas empleado cada grupo que cumplen ambos criterios. Queremos indicar que el uso de porcentajes en esta tabla tiene el único fin de poder realizar una caracterización de los grupos.

En general, se observa que no hay una linealidad entre un mayor uso de pruebas con una mejora en la suficiencia y adecuación de las mismas, pues el grupo G fue el que más pruebas ha empleado durante su discurso y no por ello ha logrado un mayor porcentaje en pruebas que cumplan ambos criterios.

Al considerar los datos extremos obtenidos en esta tabla se comprueba que el grupo N es el que ha empleado un mayor número de pruebas que son suficientes, para el apoyo de las conclusiones, y adecuadas con la información que se le

presenta. Un ejemplo de ello es la intervención de Noa, t.42, “*aquí iban juntitos, andando tranquilamente*”, en la que percibe el uso del conocimiento básico anteriormente explicitado por Nuria, t.32, “*si te fijas aquí las pisadas están más juntas*”, por lo que es considerada adecuada y suficiente. Mientras que la prueba “*pero este no se dio cuenta*” (Noemí, L.180.2) es considerada insuficiente pues no hay datos en la representación de icnitas que así lo manifiesten.

Tabla 6.1. Pruebas que cumplen los criterios de suficiencia y adecuación que los grupos han empleado en el discurso argumentativo.

GRUPO	PRUEBAS				INTERVENCIONES	
	Total	Suficiencia	Adecuación	Nº %		
G	17	Insuficientes	Inadecuadas	5	29,4%	23.2, 60.1, 90
			Adecuadas	1	5,8%	24
		Suficientes	Inadecuadas	11	64,7%	23.1, 23.4, 23.5, 28, 31, 37, 54, 56, 63, 96.2, 96.4, 172
			Adecuadas			
H	11	Insuficientes	Inadecuadas	2	18,18%	25.3, 101.2
			Adecuadas	1	9,1%	31
		Suficientes	Inadecuadas	8	72,7%	22.7, 25.2, 44.2, 63.3, 79.2, 87, 90, 228
			Adecuadas			
L	9	Insuficientes	Inadecuadas	4	44,44%	22.1, 22.6, 31.2, 31.4
			Adecuadas	2	22,22%	34, 42
		Suficientes	Inadecuadas	3	33,3%	33.2, 33.3, 35.1
			Adecuadas			
N	14	Insuficientes	Inadecuadas	1	7,2%	180.2
			Adecuadas	0	0%	ninguna
		Suficientes	Inadecuadas	13	92,8%	27.1, 34.3, 49.2, 151, 169, 170, 180.1, 199.1, 213, 217, 244.2
			Adecuadas			

Sin embargo, en el grupo L únicamente el 33,3% de las pruebas cumplen ambos criterios, pues emplearon un alto porcentaje de pruebas consideradas no suficientes y, por lo tanto, no adecuadas por el hecho de que no conectan por sí solas el dato con la conclusión, como es la intervención de Luis, L.22.6, “*Porque tenía hambre y se lo comió*”.

El conjunto de las pruebas que se acaban de analizar han sido empleadas por los estudiantes para justificar sus argumentos, y así tratar de persuadir a sus compañeros para llegar a una conclusión sobre qué ocurrió en ese conjunto de icnitas. De modo que, a continuación se comienza con el perfil detallado de los argumentos de cada uno de los grupos para finalmente hacer un resumen de los

datos, pruebas y conclusiones que emplearon en cada uno de los tramos de la secuencia establecidos.

En líneas generales, se puede indicar que los cuatro grupos analizados han sido capaces de establecer un argumento coherente a la secuencia de icnitas en los primeros turnos, esto es, entre el turno 3 y el 24, y en todos ellos la primera hipótesis se puede resumir en que ‘el depredador mata/come a la presa’. El transcurso de la resolución del problema comenzó con un análisis longitudinal de la secuencia y a partir de ahí se centraron en los diferentes tramos, lo que mejoró el detalle con que analizaban cada uno de los tramos con la consiguiente aplicación de pruebas.

A continuación se prosigue con el estudio detallado de cada uno de los grupos. Así, en el grupo G, Gloria establece la hipótesis inicial en los turnos 5, 6 y 7:

- | | | |
|-----------|-----|--|
| Gloria | t.5 | <i>“A ver eu penso que este é o depredador [pisadas grandes]”</i> |
| Guillermo | t.6 | <i>“Esta era a presa [señala las pisadas pequeñas]”</i> |
| Gloria | t.7 | <i>“E aquí houbo unha revolución [círculo de pisadas] A ver, por aquí ven o depredador, por aquí a presa, pelexaron, o depredador comeu á presa e despois marchou”</i> |

Como se ve en este diálogo, la relación entre ambos dinosaurios queda definida, lo que condiciona la interpretación del final de la secuencia que se establece como que ‘uno se come al otro’, como se aprecia en el turno 7 de Gloria. El argumento de Gloria sirve como base para ir desarrollando la hipótesis de tal forma que su argumento final (figura 6.4) conste de 5 subargumentos, uno por cada tramo que identificaron, con un total de 7 justificaciones de las cuales 3 están respaldadas con conocimiento básico, y de los cuales únicamente uno carece de justificación. En este argumento global hay participación de todos los integrantes del grupo, pero como se muestra en la tabla 6.2, Gloria es la alumna que más contribuye a elaborar un argumento para dicha secuencia de icnitas, pues 13 de las 17 justificaciones han sido enunciadas por ella, le siguen en participación Guillermo, y finalmente Gregorio, quien no ha establecido ningún argumento completo por sí solo.

Un elemento propio de la argumentación que se echa en falta en el discurso argumentativo de este grupo son las refutaciones. Al igual que ocurrió en la actividad “¿A qué nos referimos cuando hablamos de estratos?”, estos estudiantes no cuestionan las decisiones tomadas por sus compañeros de grupo, por lo únicamente Gloria realiza una sugerencia que constituye una condición de excepción o de refutación al argumento proponiendo que “*Igual era un canguro*” (t.73), lo cual cambiaría el tipo de relación entre estos organismos. También Gregorio, en el momento que la sesión está a punto de terminar, propone una hipótesis alternativa: “*Si, pero es que eso... pegadas pegadas, pero puede ser de la noche anterior. ¿Entiendes? Porque esto estaba lloviendo, había barro o echaron cemento*” (t. 189) lo cual, ante el contexto propuesto por la actividad que se sitúa en “un yacimiento paleontológico en Soria”, no tiene cabida. Sus compañeros la ignoran en lugar de refutarla. Debido a la ausencia de refutaciones, y a que todas las opiniones se tienen en cuenta sin valorarlas críticamente, consideramos que el tipo de discurso que se establece en este grupo es de tipo “acumulativo”, considerando las definiciones de Wegerif y Mercer (1997) comentadas en la metodología.

Tabla 6.2. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo G.*

		Total	
Nº argumentos	Gregorio	-	7
	Guillermo	1	
	Gloria	6	
Nº conclusiones	Gregorio	5	16
	Guillermo	2	
	Gloria	9	
Nº justificaciones	Gregorio	2	17
	Guillermo	2	
	Gloria	13	
Nº conocimientos básicos	Gregorio	1	6
	Guillermo	2	
	Gloria	3	
Nº refutaciones	Gregorio	-	1
	Guillermo	-	
	Gloria	1	

En este momento distendido, terminando la sesión, Guillermo propone un contraargumento que consideramos parcial al faltarle elementos, en el que analiza las posibles pruebas (en negrita) con las que le otorga credibilidad:

Guillermo t. 196 “[...] *Esta era a súa nai, este o seu bebe e atopáronse aquí, entónces a nai levouno no colo*”

Gregorio t. 197 “*Pode ser*”

Guillermo t.198 “*Non ves que aquí vai máis lixeira* [en la segunda parte] *cos pasos máis grandes. Mentras que aquí pesa máis* [tramo 5 en el que las pisadas están más juntas], *as pisadas están máis escuras* [señala el tramo 5]”

Gregorio t. 199 “*Si, como máis presión*”

Pese a que Gregorio asiente, no lo consideran como un argumento válido, ya que lo hacen como un juego al margen de la actividad y, por lo tanto, no modifican su argumento principal.

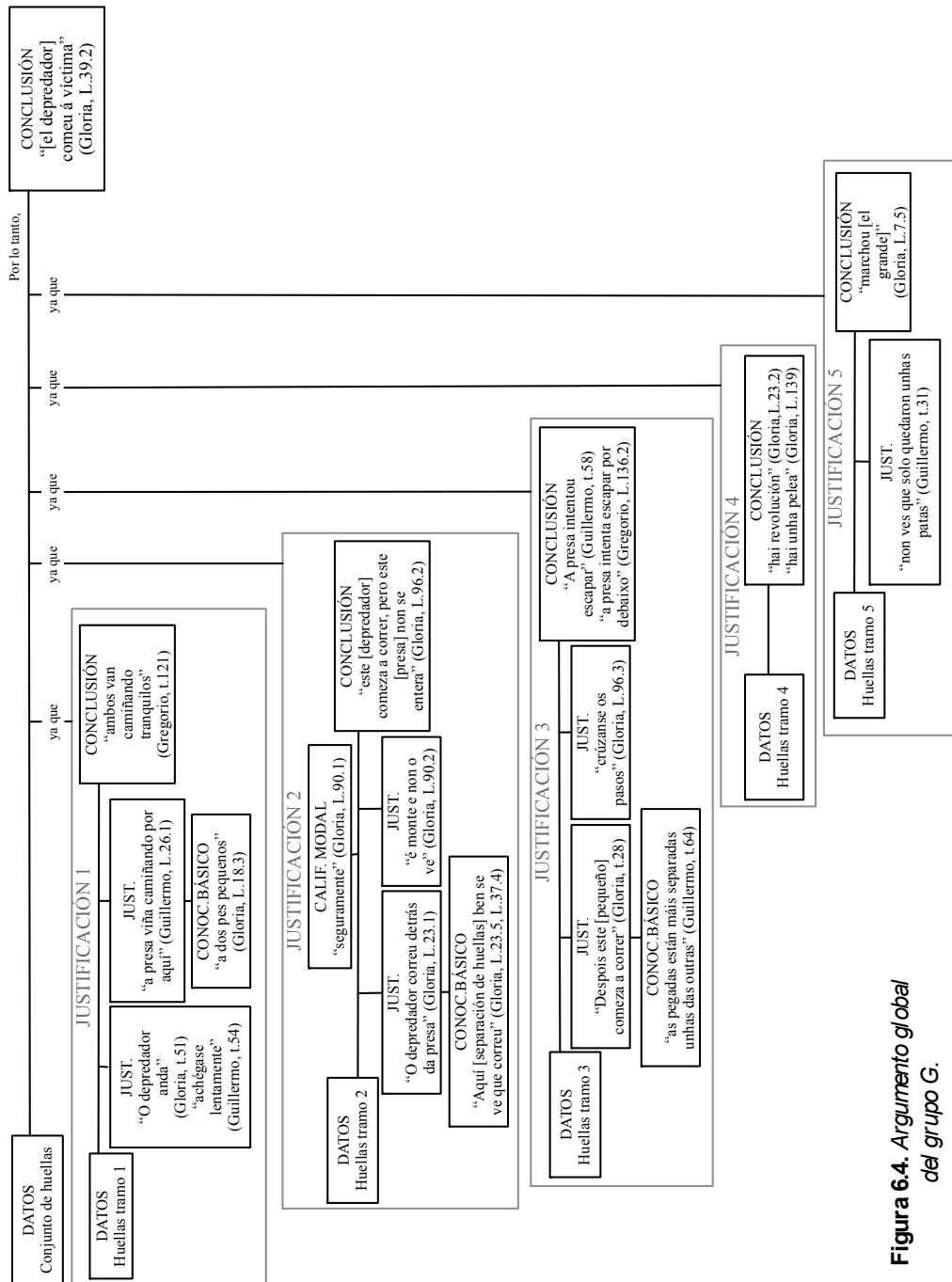


Figura 6.4. Argumento global del grupo G.

El grupo H está liderado por Helio, por dos motivos, el primero se debe a que es quien establece el mayor número de argumentos, justificaciones y el único conocimiento básico, como se muestra en la tabla 6.3; el segundo motivo es que sus compañeros, en especial Hércules, contribuyen a reforzar este comportamiento de Helio, tal y como se puede apreciar en la siguiente intervención, con la que se quiere mostrar también los cimientos del argumento principal:

- Helio t.3 *“No mira, pasea [pisadas grandes], pasea [pisadas pequeñas] este veo, persecución, acelera o ritmo, este se lo devora, se lo papa e sale”.*
- Hércules t.4 *“Pois si, ostia!”*
- Helio t.5 *“Si, claro que é así”*

El argumento de Helio carece todavía de pruebas, lo cual suponemos que es una consecuencia de que sus compañeros no se las soliciten.

Además de establecer el argumento principal, Helio, t.25, es el encargado de asignarles un papel al ‘grande’ y al ‘pequeño’, denominándolos *“este é o cazador e este é a presa”*, respectivamente, con lo que limita el número de hipótesis posibles a indicar por el hecho de que exista una relación trófica entre ellos.

Las siguientes intervenciones las realizan para desgranar ese argumento inicial y dotarlo de algunas pruebas con las que apoyar los subargumentos que han realizado tramo a tramo. De este modo, el argumento global (figura 6.5) está compuesto por cinco subargumentos, con 6 justificaciones de las cuales únicamente 1 presenta un conocimiento básico, que es enunciado por Helio al darse cuenta de que Hércules no está realizando las mismas inferencias que él:

- Hércules t. 31 *“No mira, primeiro vai este rápido e depois vai amodo”*
- Helio t. 32 *“Como que depois vai máis amodo! os pasos están máis separados polo que vai máis rápido”*
- Horacio t. 33 *“Claro, pois aquí vai despacio e depois máis rápido”*

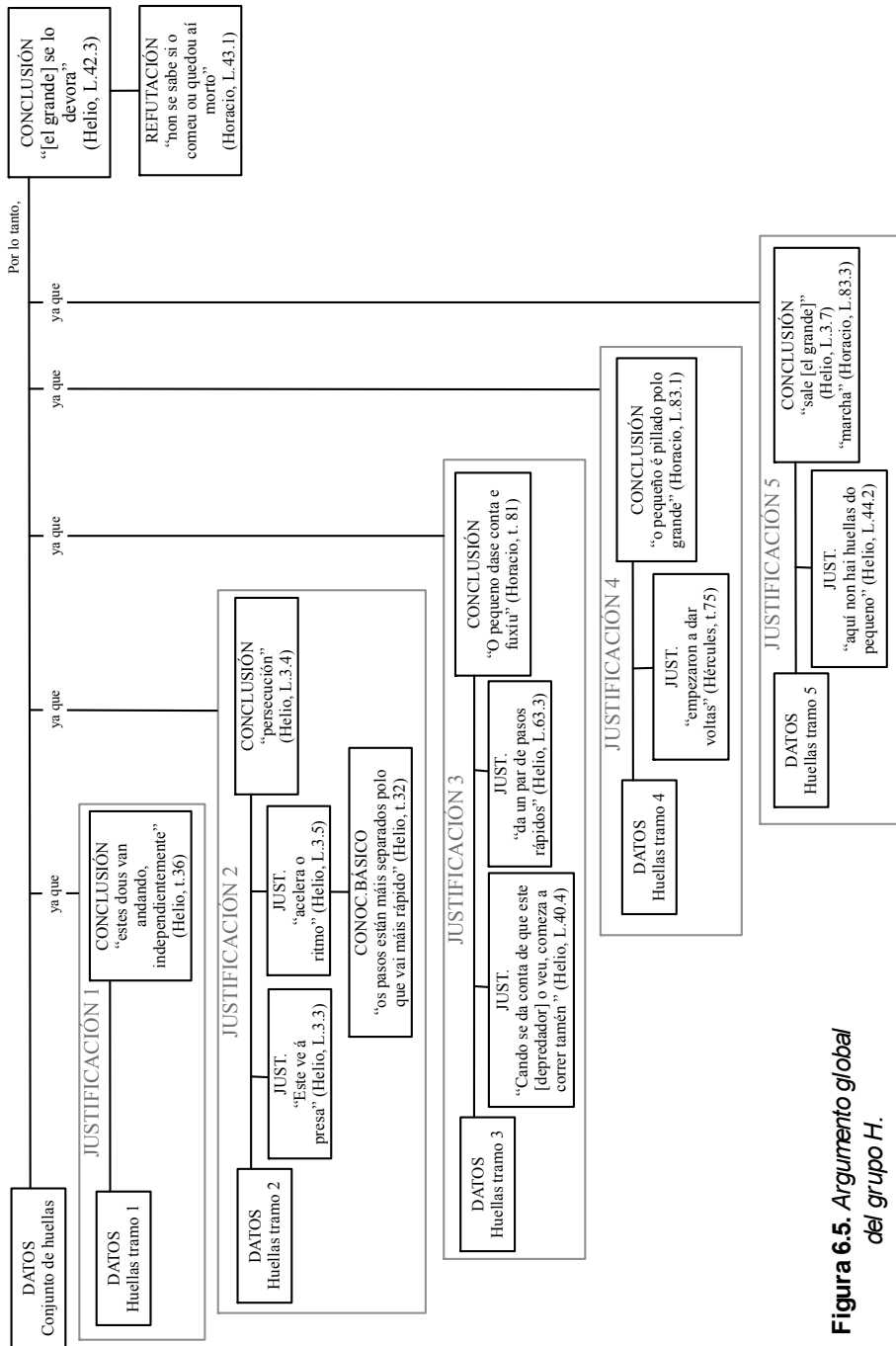


Figura 6.5. Argumento global del grupo H.

Ésta es la única ocasión en la que Helio se apoya en un conocimiento básico para dar consistencia a sus argumentos, pues en la mayoría de los casos sus compañeros aceptan sin discusión sus conclusiones.

En cuanto al nivel de participación de cada integrante, como se observa en la tabla 6.3, el alumno que mayor número de argumentos y justificaciones estableció fue Helio, además de ser el único que empleó un conocimiento básico para respaldar una justificación; en nivel de implicación le sigue Horacio cuyo papel fue importante para proponer refutaciones con las que dotar de complejidad al argumento global y, finalmente, Hércules aporta dos justificaciones y una conclusión. Al igual que en el anterior grupo, consideramos que este grupo ha mantenido un discurso “acumulativo”, pues aunque Horacio realiza alguna refutación no lo hace con intención persuasiva, sino más bien a modo de sugerencia.

Tabla 6.3. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo H.*

Elemento	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Horacio	1	7
	Hércules	-	
	Helio	6	
Nº conclusiones	Horacio	2	4
	Hércules	1	
	Helio	1	
Nº justificaciones	Horacio	3	11
	Hércules	2	
	Helio	6	
Nº conocimientos básicos	Horacio	-	1
	Hércules	-	
	Helio	1	
Nº refutaciones	Horacio	2	2
	Hércules	-	
	Helio	-	

Como se acaba de comentar, Horacio es quien propone las dos refutaciones en las cuales el propósito es el mismo, esta refutación (en negrita) se muestra en la intervención siguiente:

Helio t. 42. *"Entón foi unha especie de lucha, entre un e o outro e un intentando escapar e o outro intentando comelo e despois éste se lo devora e saliu por aquí"*

Horacio. t.43. *"Ou o comeu ou quedou, non se sabe. Pero **non se sabe si o outro o comeu ou quedou por aquí morto**"*

De un modo estricto ésta no constituye una refutación propiamente dicha porque no ataca directamente a una prueba explícita, ya que Helio no expresa en qué dato se está apoyando para decir que lo comió, aunque se presupone porque desaparecen las huellas del pequeño. Es por ello que lo consideramos refutación.

Una vez tienen el argumento establecido y han analizado tramo a tramo, a Helio se le ocurre que podía ocurrir un apareamiento entre ambos individuos, lo cual es un contraargumento en sí, pues consta de conclusión y dos justificaciones, como se muestra a continuación:

Helio t.101. *"Igual se puxo a copular co outro e quedou enganchado no outro e como o outro é máis grande é o que deixa as pegadas no chao"*

[CONCLUSIÓN]
[JUSTIFICACIÓN 1]
[JUSTIFICACIÓN 2]

Lo que ocurre es que no se lo plantean como una posibilidad pues, al igual que el grupo G, lo consideran una opción ‘absurda’ y ajena al propósito de la actividad.

En cuanto al grupo L, sus alumnas están muy dispersas durante toda la sesión siendo Luis el que se centra en la resolución de la misma. Así, en el turno 22 es él quien enuncia el argumento inicial: *"Aquí el depredador fue a por el bichito ese. Y se lo comió. Se pelearon, se lo comió y se piró. Porque tenía hambre y se lo comió"*, aunque el tono del alumno parece irónico este argumento es el que defenderá el resto de la sesión, pues lo repite de forma muy similar en varios turnos pero en cada uno trata de aportar pruebas con las que justificar la idea inicial, en especial cuando Leticia trata de refutar una de las pruebas que aporta Luis:

Luis t. 33 “*Pero yo creo que el grande **empezó a correr** y [PRUEBA 1]
*éste [pequeño] **también comenzó a correr** [PRUEBA 2]
 y se peleó ahí con ese, se lo comió y el grande gana”**

Ledicia t. 34 “*Este [pequeño] no pudo correr [REFUTACIÓN
 DE LA PRUEBA 2]
 porque está siempre igual [JUSTIFICACIÓN DE
 LA REFUTACIÓN]
 [la distancia entre huellas no varía]” [DATO IMPLÍCITO]*

Luis t. 35 “*Nooo porque no ves que las pegadas están aquí más separadas
 [señala el tramo 3]”*

La intervención de Ledicia constituye un argumento en sí, pues consta de datos implícitos, de una justificación y de una conclusión (“este no pudo correr”). Pese a ello entendemos que es una refutación por la función que juega en el discurso, es decir, con ella trata de invalidar una de las pruebas que apoya el argumento de Luis, sin que ello surja efecto, porque entre ellos tuvieron un mal entendido como le hace ver Luis en el t.35.

En la figura 6.6 se muestra el argumento general, el cual está apoyado en cinco subargumentos con 3 justificaciones de las cuales 1 está respaldada con un conocimiento básico. Los cinco subargumentos corresponden a los 5 tramos que ha identificado Luis, siendo capaz de enunciar una conclusión para cada uno. Prácticamente la totalidad de ese argumento ha sido elaborado por Luis, pues es quien se centra en resolver la tarea. Sus compañeras sólo toman parte cuando la profesora se aproxima y en ese momento tratan de decir algo oportuno, como es el caso de Mariña, quien propone lo que sería una condición de refutación “*ou o comeu ou saíu voando*” (t.53), pues no ataca en sí a las pruebas sino que trata de indicar que queda esa posibilidad.

Por lo tanto, la alta participación de Luis queda demostrada tanto en el argumento global del grupo, como en la tabla 6.4, en la que se muestra que de 8 argumentos es él quien enuncia 5, además prácticamente la totalidad de las justificaciones (7/9) las ha propuesto él también. La siguiente integrante que colabora en la

resolución de la actividad es Mariña, pues al menos propone una refutación al argumento de Luis, como se acaba de mostrar. Por último, las alumnas Loreto y Leticia apenas han contribuído al desarrollo de la actividad.

El único momento en que Loreto trata de tomar parte en la tarea propone un contraargumento que se basa en la apareación de los dos individuos:

Loreto t.66 *“Este e o home [pisadas pequenas] e esta a muller [pisadas grandes] [risas]”*

Luis t.67 *“Claro... que no que no, este es el depredador que se iba a comer a este”*

Pero debido a la falta de seriedad con que lo inicia no es aceptado por Luis quien mantiene el rol de líder durante esta sesión, por lo que únicamente presentan una hipótesis. Debido al papel de Luis en el desarrollo de la actividad, consideramos que presentan un discurso de tipo “disputa” pues él propone la hipótesis sin dejar que los demás miembros tomasen parte.

Tabla 6.4. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo L.*

Elemento	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Mariña	2	8
	Loreto	-	
	Luis	5	
	Leticia	1	
Nº conclusiones	Mariña	2	6
	Loreto	3	
	Luis	1	
	Leticia	-	
Nº justificaciones	Mariña	-	9
	Loreto	1	
	Luis	7	
	Leticia	1	
Nº conocimientos básicos	Mariña	-	1
	Loreto	-	
	Luis	1	
	Leticia	-	
Nº refutaciones	Mariña	1	4
	Loreto	-	
	Luis	3	
	Leticia	-	

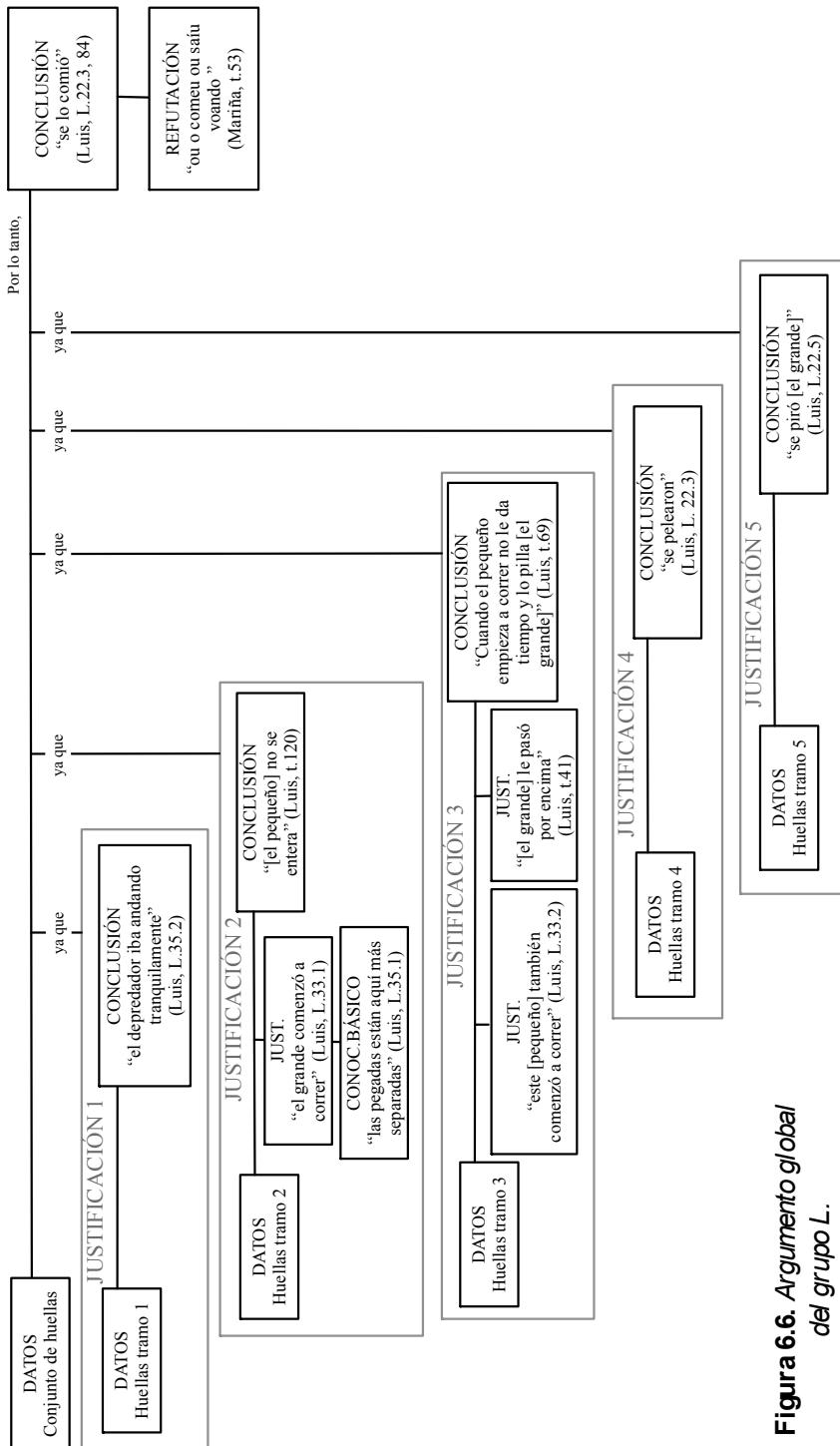


Figura 6.6. Argumento global del grupo L.

Por último, el grupo N Este grupo conformado por cuatro chicas destaca principalmente por su dedicación plena a la resolución del problema planteado, buen ejemplo de ello es que empiezan a establecer las primeras hipótesis antes de que la profesora termine de presentar la actividad. Así, ya en el minuto 3 señalan las dos conclusiones alternativas con las que explicar qué ocurrió en esa secuencia de huellas:

- | | | |
|--------|------|---|
| Noa | t.24 | <i>“¿Sabes qué pasó?”</i> |
| Nicola | t.25 | <i>“Que se lo comió”</i> |
| Nuria | t.26 | <i>“Exactamente [risas]”</i> |
| Noemí | t.27 | <i>“Probablemente porque hubo unha pelea, uno se quedó ahí muerto y el otro se marchara”</i> |
| Nicola | t.28 | <i>“O se lo comió”</i> |
| Noa | t.29 | <i>“Si, se lo comió. Porque si se quedara ahí muerto quedarían ahí la marca del que mató”</i> |

Como se puede ver en este fragmento hay dos posibilidades que quedan establecidas, que el pequeño murió o bien se lo comió, las cuales se pueden ver en el argumento general de este grupo en la figura 6.8.

A continuación, surge un debate sobre qué tipo de individuos son, lo primero en que piensan es en aves o reptiles, lo que les lleva a considerar el buitre, probablemente porque lo asocian a un pájaro carnívoro. Sin embargo, estas alumnas no sienten que llegar a acuerdo en eso sea prioritario, dejándolo de lado y continuando con la actividad hasta que Nicola, t.126, propone que las pisadas grandes pueden corresponder a un cisne para lo cual recurre a sus experiencias previas, aunque sus compañeras no parecen estar conformes:

- | | | |
|--------|-------|---|
| Nicola | t.126 | <i>“Esto es un cisne [pisadas grandes] y esto es un patito pequeñito”</i> |
| Noa | t.127 | <i>“¿Y qué?”</i> |
| Nuria | t.128 | <i>“Y se lo come, ¿no? [irónicamente]”</i> |
| Nicola | t.129 | <i>“Pues sí, porque que sepas que fui una vez a un sitio y había cisnes y patitos pequeñitos y el cisne se comió al pato”</i> |

- Noemí t.130 “¡Cómo se va a comer un cisne a un pato!”
- Nicola t.131 “¡Qué sí! Que le andaban a picar los cisnes y a mi me atacó un cisne y salí corriendo [risas]”
- Noa t.132 “Yo pensé que ibas a decir, este es un cisne y este es el bebé cisne, ¿no? Entonces vino, vio a su hijo, fué corriendo a por él el quería escapar para jugar a la pilla-pilla...”

En este fragmento lo que dice Noa, t.132, constituye un auténtico contraargumento a lo dicho hasta el momento, pues consiste en llegar a una conclusión diferente pero con los mismos datos, el cual se muestra en la figura 6.7

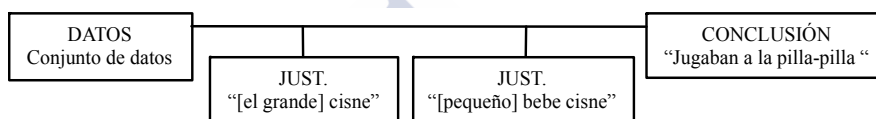


Figura 6.7. Esquema del argumento propuesto por Noa en el turno 132.

Pese a que podría resultar una hipótesis discutible, sus compañeras no la consideran como tal y es Nuria, t.144, es quien rechaza por completo la propuesta de Nicola, al indicar “Te recuerdo que son pegadas de un yacimiento paleontológico, entonces no pueden ser cisnes”, la ventaja de esta intervención es que a partir de ahí, otorgan las huellas a los dinosaurios.

Durante el transcurso de la sesión, van elaborando los subargumentos que componen el argumento global, la figura 6.8. Este argumento es completo, pues está conformado por 5 subargumentos con 8 justificaciones de las cuales 1 presenta un conocimiento básico, el cual emplean para hacer referencia únicamente a que la distancia entre huellas es un indicador de la velocidad. Además de los subargumentos, el argumento principal está apoyado en una justificación (6) aislada en la que se justifica el por qué ‘se lo comió’ pues como indica Noa, L.29.2, “si se quedase muerto quedaría la marca”, lo cual constituye una prueba bastante concluyente. El último aspecto a considerar es la presencia de una condición de refutación indicada por Nicola, t.50, “[el pequeño] se echara a volar”, pero Noemí, t.254, es quien trata de refutarla indicando que “si es un dinosaurio...”, sin embargo Noa, t. 255, le indica “oye que los dinosaurios vuelan ¡eh!”, reforzando la plausibilidad de esta alternativa, con un conocimiento básico.

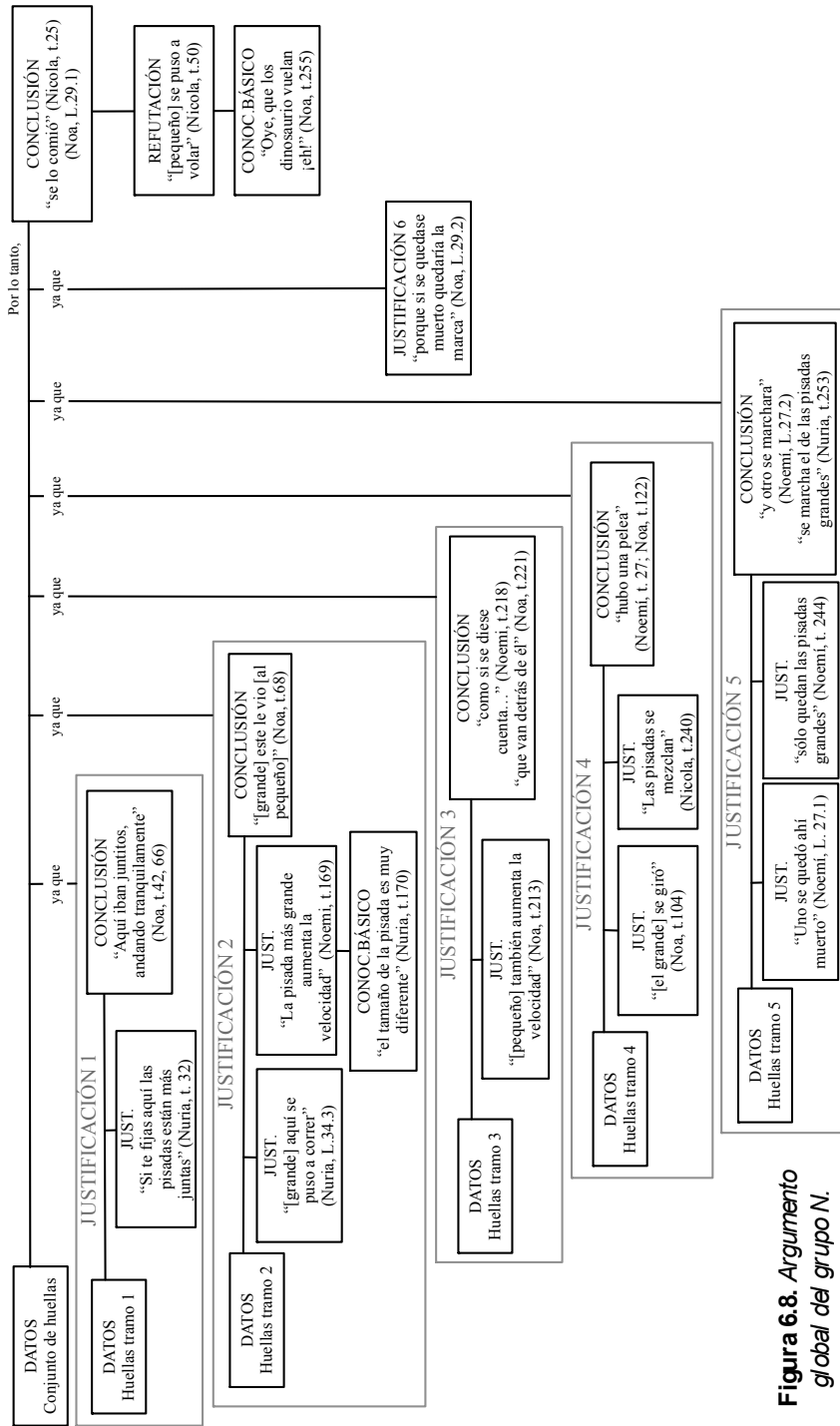


Figura 6.8. Argumento global del grupo N.

En cuanto a la participación de cada alumna en el desarrollo de la tarea, resulta difícil para este grupo, pues todas ellas han tratado de aportar pruebas y argumentos. No obstante, como se ve en la tabla 6.5, Noemí ha sido quien propuso la mayor parte de los argumentos (4/10) y de justificaciones (7/11), La siguiente estudiante en contribuir al discurso argumentativo es Nuria, pues ha indicado 2 conocimientos básicos, con lo que ha mejorado la complejidad del argumento, y entre las alumnas Noa y Nicola las diferencias son pocas, por destacar una y considerando las refutaciones como muestra de la calidad de la argumentación, Nicola ha sido capaz de enunciar dos refutaciones. En cuanto al tipo de discurso, en este grupo podemos catalogarlo como de “negociación” pues todas han participado y además sus intervenciones han sido evaluadas críticamente considerando los datos disponibles, dando lugar a la aparición de contraargumentos y refutaciones.

Tabla 6.5. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo N.*

Elemento	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Nicola	1	10
	Noa	2	
	Nuria	3	
	Noemí	4	
Nº conclusiones	Nicola	2	9
	Noa	4	
	Nuria	1	
	Noemí	2	
Nº justificaciones	Nicola	1	14
	Noa	4	
	Nuria	2	
	Noemí	7	
Nº conocimientos básicos	Nicola	-	4
	Noa	1	
	Nuria	2	
	Noemí	1	
Nº refutaciones	Nicola	2	4
	Noa	1	
	Nuria	1	
	Noemí	-	

A fin de proporcionar un resumen de cómo ha sido el procesado de la información desde los datos a las conclusiones en los grupos, se muestran los datos, pruebas y conclusiones generales en la tabla 6.6 que se presenta a continuación. En ella se pone de manifiesto que la interpretación sobre qué ha ocurrido en esa secuencia de pisadas ha sido unánime entre los cuatro grupos analizados.

Tabla 6.6. *Resumen de los datos y pruebas que generaron las conclusiones en el conjunto de los grupos analizados. Entre paréntesis se muestran los grupos que hicieron explícita cada afirmación.*

	DATOS	PRUEBAS	CONCLUSIONES
TRAMO 1	Las pisadas están más juntas (N)	Ambos van caminando tranquilos (G, H, L, N)	El grande acechaba (H, N)
TRAMO 2	[Pisadas grandes] Pasos más separados (H)	El grande empezó a correr (G, H, L, N)	El grande persigue al pequeño (G, H, L, N)
TRAMO 3	Las pisadas pequeñas están más separadas (L)	El pequeño empieza también a correr (H, L, N)	El pequeño se da cuenta que van detrás de él/ella (H, N) El pequeño intenta escapar (G) El grande le pasó por encima al pequeño (L)
TRAMO 4	Las pisadas se mezclan (G, N)	Pelea (G, H, L, N)	El pequeño se quedó muerto (N) El pequeño salió volando (L, N)
	Pisadas grandes-pequeñas (G, H, N)	Depredador-Presa (G, H, L, N)	El grande se comió al pequeño (G, H, L, N)
TRAMO 5	Sólo quedan las pisadas grandes (G, N)	Acabó la pelea (N)	El depredador se marchó (G, H, L, N)

La interpretación de estas icnitas presenta una segunda parte en la actividad “¿Quiénes fueron los protagonistas?”, que se analiza en el siguiente apartado, para conocer si los grupos mantienen o no sus hipótesis establecidas en el momento en que tienen mayor información sobre esas huellas.

6.2.2 La transformación del dato en una prueba durante la resolución de “¿Quiénes fueron los protagonistas?” en 4º ESO.

La segunda parte de la actividad de las “Las icnitas de Soria” se denomina “¿Quiénes fueron los protagonistas?” y en ella los estudiantes han de emplear un conjunto de datos para justificar qué dos dinosaurios fueron los que dejaron esas huellas. La importancia de los datos en esta tarea es fundamental, pues según el entendimiento de los mismos serán capaces o no de emplearlos como pruebas. En el análisis hemos estudiado la secuencia de pruebas que van aportando, tomando como referencia el análisis realizado por Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl (2000).

Se comienza este análisis por el grupo G, el cual ha dedicado gran parte de la tarea a analizar los tamaños relativos de los individuos con el tipo de huella, para ver si correspondían con las icnitas. Por ello, el primer individuo que consideran es el *Hypsilophodon*, ya que Guillermo, t.9, propone que “*é o máis pequeno de todos*”, pero Gloria, t.10, no está de acuerdo porque “*Non ten nada que ver, tes que fixarte na pezuña. E este [Hypsilophodon] non apoia a parte de atrás*”.

El siguiente candidato es el *Utahraptor*, pero no aportan datos con los que apoyar su viabilidad y al *Giganotosaurus* lo descartan como posible candidato a ser el dinosaurio pequeño, pues tiene un peso y tamaño considerable. Por lo que Gregorio acepta que el *Hypsilophodon* pueda ser el dinosaurio de las huellas pequeñas.

El siguiente dato que consideran es el dato temporal, es decir, el rango de años en que vivieron, pues como indica Gloria, t.31, “*Entonces, este tiene entre 125 y 100*” indicando el momento en que vivió el pequeño, por lo que el grande debe adecuarse a esa información.

El primer dinosaurio descartado es el *Baryonyx*, lo cual se debe a que para ellos la relación entre individuos es depredador-presa (conclusión a la que llegaron en la actividad anterior), lo cual determina que Gregorio, t.52, concluya “*este es imposible que sea depredador, así que hai que tachalo*”. El siguiente candidato a

valorar es el Giganotosaurus, quien vivió hace unos 96 millones de año, pero es rápidamente rechazado porque no fue coetáneo de Hypsilophodon. De tal modo que la posibilidad que les queda es el Utahraptor como depredador, además Gregorio, t.81, emplea el dato temporal de forma muy oportuna “[Utahraptor] *este puede ser, entre estos dous 120-100 e 145-100, pode ser*”, es decir, se percata de que pudieron coexistir.

Llegados a acuerdo deciden escribir sus conclusiones, empleando para ello el argumento que se muestra en la siguiente figura 6.9:

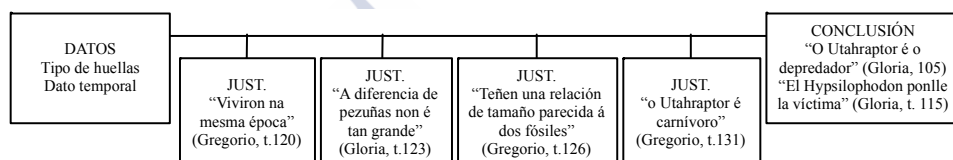


Figura 6.9. Argumento del grupo G para apoyar los dinosaurios que formaron las icnitas.

Además de indicar las pruebas que emplearon para determinar los correspondientes dinosaurios, también argumentaron su decisión de descartar a los otros dos, Gregorio, t.156, “[...] *Descartamos ó Baryonyx porque é piscívoro e o Giganotosaurus é demasiado grande para o tamaño das icnitas*”. En este argumento se echa en falta el uso de un dato que resulta clave en esta tarea, es decir, la edad del Giganotosaurus no corresponde con la época en la que están datadas las icnitas, por lo que debería quedar descartado por ello, no por el tamaño o tipo de huella.

En el grupo H, los estudiantes comienzan tratando de averiguar quién pudo ser el dinosaurio de las huellas grandes, y en ese momento emplean los datos de relación trófica para descartar al Baryonyx, Hércules, t.22, “*porque é piscívoro*”, y al Hypsilophodon, Horacio, t.24, “*este tampouco si é herbívoro*”. Por lo que les quedan dos posibilidades, el Giganotosaurus y el Utahraptor, interrogante que de momento no responden.

Continúan empleando los datos para deducir cuál puede ser la ‘presa’. El primer candidato es el Baryonyx, pero Hércules indica, t.31., “*Non a presa no é porque*

mira que patazas ten, e mira as patañas que hai aquí [en las icnitas]”, por lo que emplean el tamaño de huella como prueba para descartar al *Baryonyx*. Establecido esto, les queda, por descarte, el *Hypsilophodon* como presa.

Tras analizar el peso, la alimentación y el tipo de huella de los dinosaurios, Horacio es quien hace notar que entre la información suministrada se encuentra el dato temporal. Como consecuencia se establece una conversación en la que descartan definitivamente al *Giganotosaurus*:

- | | | |
|----------|------|---|
| Horacio | t.37 | <i>“A ver ti mira os millóns que ten. Este ten...”</i> |
| Hércules | t.38 | <i>“145-100 [Utahraptor], este fai 125-100 [Hysilophodon], estes dous viven no mesmo”</i> |
| Helio | t.39 | <i>“Si”</i> |
| Horacio | t.40 | <i>“Pero ese...”</i> |
| Hércules | t.41 | <i>“Ese [Giganotosaurus] no 96, no ese no”</i> |
| Horacio | t.42 | <i>“Este [Giganotosaurus] no porque 96 ma. E este entre 130-112”</i> |
| Hércules | t.43 | <i>“Puido vivir...”</i> |
| Horacio | t.44 | <i>“Con estes”</i> |
| Hércules | t.45 | <i>“Si”</i> |
| Horacio | t.46 | <i>“Logo centrámonos nestes tres”</i> |

Lo interesante de este fragmento está en que son capaces de interpretar los respectivos periodos geológicos, de tal forma que simplifiquen las opciones que tienen. A partir de los tres candidatos que les quedan se plantean dos hipótesis que pudieron tener lugar, las cuales se muestran en las figuras 6.10 A-B. En las que se muestra el argumento que corresponde a la primera hipótesis, centrada en la relación depredador-presa, lo que les lleva a emplear el dato definitivo de la relación trófica para justificar que son el *Hypsilophodon*, la presa, y el *Utahraptor*, el depredador. En la otra hipótesis o contraargumento, indican que el *Baryonyx* es el de las huellas pequeñas que, para defender su territorio se enzarza en una pelea con el *Utahraptor*, de huellas grandes.

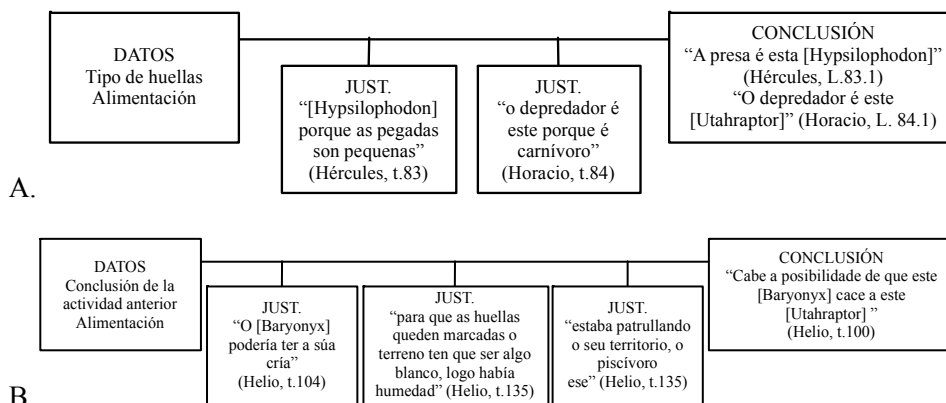


Figura 6.10. Argumentos del grupo H. A) hipótesis del depredador-presa. B) hipótesis de la defensa del territorio.

El grupo L no le dedica mucho tiempo a resolver esta tarea. En los primeros minutos se establece un diálogo entre Mariña y Luis en el que tratan de averiguar cuáles de los dos dinosaurios fueron los protagonistas teniendo en cuenta un dato que no estaba previsto durante el diseño de la actividad, esto es, comparan la separación entre icnitas con la separación entre las piernas representada en los dibujos de los dinosaurios de la actividad. Como esta conversación no les lleva a nada, Leticia, t.15, afirma “*eu penso que son estes dous [Utahraptor y Hypsilophodon]*” justificando que no es Baryonyx “*porque come peces. E este [Utahraptor] es carnívoro*”. Mariña se suma a esta propuesta, pero sin emplear datos con que justificarla. Sin embargo Luis no parece convencido pues, según él, la huella del Utahraptor no coincide con las icnitas: “*Este [Utahraptor] dejaría dos y tres [se refiere a los dedos que quedarían marcados] porque el otro [dedo] lo tiene levantado [la garra]. Y este [Giganotosaurus] tiene tres dedos*”. Luis defiende que el Giganotosaurus pueda ser un candidato, empleando como prueba el tipo de huella. Leticia trata de refutarle empleando el tamaño, pero no surge efecto porque el Giganotosaurus es el más grande, entonces emplea el dato clave, el intervalo geocronológico en que vivieron los dinosaurios, lo que resulta una prueba muy adecuada y a la que sus compañeros no refutan:

Leticia t.34 “*Además también te tienes que fijar en los años. Este tiene entre 125 y 100 y este entre 145 y 100, y este*

- [Giganotosaurus] *ya no entra*”
- Luis t.35 “¿Por qué?”
- Ledicia t.36 “Porque pone 96. Estos dos vivieron juntos [Utahraptor y Hypsilophodon] pero este [Giganotosaurus] no”
- Luis t.37 “Pues este [Giganotosaurus] comió a este [Utahraptor]”
- Ledicia t.38 “¡96 y 135-112!”
- Luis t.39 “Ya, ya lo sé”
- Mariña t.40 “Pero este [Baryonyx] con este [Hypsilophodon] si vivieron juntos”
- Luis t.41 “¡Como se va a comer un piscívoro a un herbívoro!”

Gracias a que Ledicia es capaz de interpretar el intervalo geocronológico, la resolución final de la tarea se simplifica con la exclamación de Luis, lo que hace que claramente consideren que son el Hypsilophodon y el Utahraptor, quedando como argumento final el que se muestra en la figura 6.11.

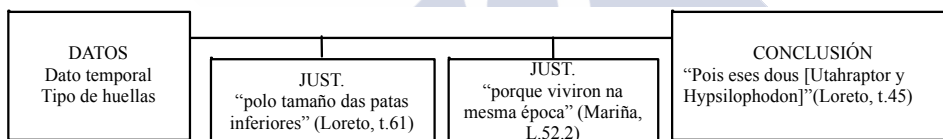


Figura 6.11. Argumento del grupo L para apoyar los dinosaurios que ocasionaron las icnitas.

Finalmente se comenta cómo el grupo N resolvió esta actividad haciendo uso de los datos. La primera alumna en proponer a los dos candidatos es Nuria, t.7, “*Son este [Giganotosaurus] y este [Hypsilophodon]*”, pero su compañera Noa parece estar de acuerdo en que el de las pisadas pequeñas es el Hypsilophodon, pero no en cuanto al de huellas grandes, pues según Noa, t.8, este dinosaurio “*tendría que ser pelín más grande*” pero no tanto como la diferencia que existe entre ambos.

A continuación, Nuria emplea el dato temporal con el que refuta su propuesta, “*Pero mira, 96 millones de años [giganotosaurus] y los de este [Hypsilophodon]... ya no coinciden*” (t.14), de modo que tienen que buscar otra alternativa para el dinosaurio de las huellas grandes y Nuria propone el Baryonyx, a lo que Nicola contraargumenta:

Nuria t.36 “Mira también podría ser este [Baryonyx]”

Nicola t.37 “No este no, no ves que está comiendo pescado”

Tras valorar estas opciones, Noemí, t.57, propone “Yo creo que el depredador es este [Utahraptor] y la presa es este [Hypsilophodon]”, con lo que las demás están de acuerdo, hasta que Nuria, hace su última propuesta, que carece de apoyo por parte de sus compañeras:

Nuria t.82 “¿pero al revés? Este [Utahraptor] se come a este [Baryonyx]”

Nicola t.83 “¡Qué dices! Si este mide de 5 a 7 metros y pesa 1 tonelada [compara el Utahraptor con el Baryonyx]”

Por lo tanto, el argumento con el que dan una respuesta por escrito es el que se muestra en la figura 6.12.

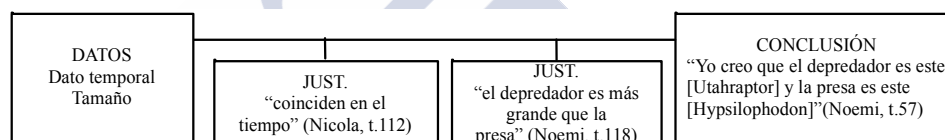


Figura 6.12. Argumento del grupo N para apoyar los dinosaurios que ocasionaron las icnitas.

Finalmente, en la figura 6.13, se muestra la secuencia de datos que cada grupo es capaz de emplear como prueba. A modo de resumen, se ve que el grupo G comienza analizando el tamaño, el tipo de huella y el peso de los dinosaurios, hasta que se percatan de la necesidad de emplear el dato temporal, a partir de ahí tratan que los demás datos se adecúen al dato temporal, para encontrar a los dos dinosaurios. Algo similar ocurrió en el grupo H, entre los primeros datos empleados se encuentra el uso de las relaciones tróficas, para establecer cuál de los dinosaurios correspondía al depredador y cuál a la presa; al usar el dato temporal reconsideran sus elecciones de los dinosaurios para que coexistieran. El grupo L, comenzó empleando un dato implícito, la separación de las patas, la relación trófica y las características físicas de los dinosaurios hasta que Leticia justifica la elección de los candidatos con el dato temporal, lo cual determina la elección de los dos dinosaurios. Por último, el grupo N emplea el dato temporal en sus primeras intervenciones lo que provoca que, una vez eliminan el

Giganotosaurus por no ser coetáneo con los demás, comiencen a emplear los demás datos para llegar a una conclusión.

La resolución de la actividad requiere que el dato más relevante para averiguar los dos candidatos sea el periodo geológico de las huellas y el dato temporal del momento en que vivieron los dinosaurios; el siguiente dato es el tamaño del dinosaurio en proporción a las icnitas; y finalmente, la relación trófica nos ayuda a concretar cuáles fueron los dos dinosaurios.

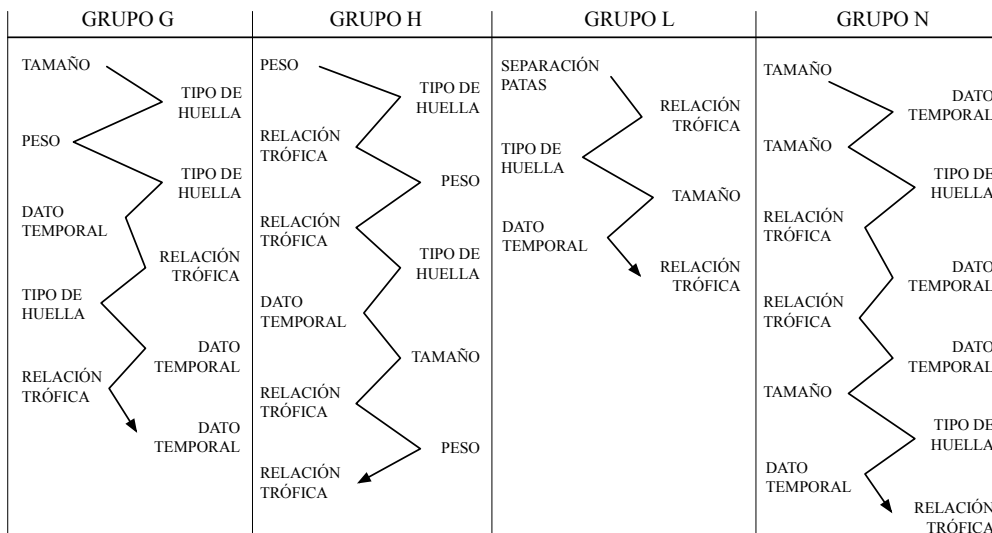


Figura 6.13. *Secuencia de datos empleados por los estudiantes durante la resolución de la actividad “¿Quiénes fueron los protagonistas?”.*

La comparativa entre grupos nos indica que el uso de los datos ha variado mucho entre los grupos. Así, el grupo que más ha integrado el dato temporal en sus justificaciones es el N, mientras que el grupo L lo deja como última opción, hasta que necesitan más datos para resolver el problema. Lo que sí es cierto, es que hay dos pautas comunes entre los cuatro grupos. La primera concierne a que las primeras argumentaciones están apoyadas en los datos de tipo de huellas, tamaño y peso, lo cual no es de extrañar si tenemos en cuenta que esos datos fueron empleados también durante la resolución de la anterior actividad, por lo que les resultan familiares. La segunda está relacionada con el dato temporal, el cual es

empleado en los últimos argumentos para establecer finalmente a los dos dinosaurios protagonistas de la secuencia de icnitas.

6.2.3 La transformación las pruebas en datos: primera parte de la actividad “Historieta de icnitas” en 1º bachillerato.

La actividad desarrollada en 1º de bachillerato presenta una primera parte en la que los estudiantes deben crear una historia empleando las huellas de dos dinosaurios, que serán interpretadas a posteriori por sus compañeros. De modo que, el objetivo de esta primera parte de la actividad consiste en que los estudiantes sean capaces de transformar los diferentes fragmentos de su historia, que actúan como pruebas (ver figura 6.1), en datos que puedan ser interpretados por sus compañeros durante el proceso de argumentación, que se analizará en el siguiente apartado (6.2.4).

A modo de simplificar qué grupos elaboran las placas y qué grupos las analizan, se muestra a continuación esta relación, mostrando en la primera columna los grupos que hicieron cada placa y en la segunda, qué grupo analizó cada placa. En negrita los grupos analizados en profundidad en este estudio:

Placa A → Grupo D

Placa B → Grupo C

Placa J → Grupo M

Placa N → **Grupo J**

Grupo A → Placa C

Grupo B → Placa D

Grupo J → **Placa N**

Grupo N → Placa L

Como se ha descrito en el apartado 3.5.2 de la metodología, para analizar la transformación de las pruebas en datos se examinan las intervenciones en las que los estudiantes tratan de representar las icnitas. Además se tiene en cuenta la validez de los datos construidos, entendiéndola como un parámetro que nos permite conocer si el dato ha sido interpretado con la misma finalidad con que fue construido. Por ello, el análisis se centra en conocer cómo construyen los datos y si son capaces de dotarlos de validez, de modo que al comparar las historias iniciales (pruebas origen), con las historias reconstruidas (pruebas) se pueda

examinar su coincidencia. Esta coincidencia nos hará saber si los datos que han elaborado los estudiantes son o no validos.

Consideramos necesario comentar que en sesiones previas a la realización de esta actividad, se les pidió a los estudiantes que resolvieran la actividad “Las icnitas de Soria” pero de forma individual, para que comprendiesen qué se les estaba pidiendo en esta actividad de “Historieta de icnitas”. Quizás este fue el motivo por el que la mayoría de los grupos optó por elaborar una historia en la que hay una ‘pelea’ y los dos dinosaurios mantienen la relación depredador-presa.

Comenzando por el grupo A, éste ha elaborado una historia basada en la relación depredador-presa entre los dinosaurios (figura 6.14-A). Los dos dinosaurios de los que disponían eran el Tiranosaurio, carnívoro, y el Triceraptor, herbívoro. Debido a la relación trófica que existe entre ambos, Aloia, t.12, parece tener claro cual será el desenlace de la historia “*¡El carnívoro se lo papa!*” (como se puede ver en la tabla 6.7). A partir de ese momento, tratan de buscar una secuencia con la que poner de manifiesto ese desenlace y buscar el contexto en que pudo tener lugar. En este grupo resulta interesante la discusión que presentan sobre en qué medio se desarrolla la escena, pues como se muestra en el siguiente fragmento, Águeda hace referencia a que el medio debe permitir que las marcas queden registradas, entonces según ella la playa es un buen contexto, pero Antón no está de acuerdo:

- | | | |
|--------|------|---|
| Aurea | t.29 | <i>“Iba andando...”</i> |
| Águeda | t.30 | <i>“Pero tiene que ser en un sitio en el que queden las marcas”</i> |
| Aloia | t.31 | <i>“Iba por el monte”</i> |
| Águeda | t.32 | <i>“O en la playa”</i> |
| Antón | t.33 | <i>“No, en la playa no”</i> |
| Aurea | t.34 | <i>“Pero es que un dinosaurio no iba a andar por la playa”</i> |
| Águeda | t.35 | <i>“¡Qué más da!”</i> |
| Aurea | t.36 | <i>“Bueno vale pues si, a ver iba caminando...”</i> |
| [...] | | |
| Aurea | t.39 | <i>“Camiña pola area, ¡non digas praia!”</i> |

Como se puede apreciar en este fragmento, Águeda carece de recursos para explicar el por qué ella considera que debe ser en la arena, es decir, sus

intervenciones nos sugieren que ella sí tiene el modelo mental de cómo se forman las icnitas y por ello considera que la arena es un buen sustrato. No obstante, no se lo explica a sus compañeros, bien porque no es consciente de que posee ese conocimiento, o bien porque está empleando sus experiencias previas sobre dejar huellas en la playa.

A partir de ahí redactan la historia que hemos dividido en 5 partes que se aprecian en el documento escrito, con el fin de facilitar la comprensión de qué datos tratan de representar en cada fragmento de la historia. Lo cual se muestra en la tabla 6.7, cuya primera columna contiene las pruebas que el grupo A ha empleado en la elaboración de los datos. Las intervenciones relevantes durante la representación de cada fragmento se muestran en la segunda columna. En la tercera aparecen cómo esos datos han sido analizados por otro grupo, en este caso el D.

Los integrantes del grupo A, han sido capaces de representar datos para cada una de las escenas que contiene su historia, aunque para del fragmento 4 no tengamos ejemplos en la transcripción.

Las coincidencias entre las pruebas iniciales y las extraídas por el grupo D nos sugieren que los datos presentan validez suficiente para extraer de ellos las pruebas correspondientes. De los miembros del grupo A, el que más atención ha prestado a la adecuada representación de los datos fue Antón, pues es él quien hace énfasis en la distancia de las huellas como representación de la velocidad que mantienen los dinosaurios.

El hecho de que los estudiantes tengan que representar los datos favorece el que tengan que hacer explícito su conocimiento sobre la formación de los fósiles, y en este grupo se detectan ideas alternativas que debemos considerar. Una es el hecho de que Águeda, t.30, indique que el dinosaurio debía estar sobre un material en que las huellas quedaran impresas, lo que les lleva crear una historia en el contexto de la arena de playa, como se viene de comentar. Si bien es cierto que la formación de la huella requiere un sustrato sedimentario moldeable, su persistencia en la arena no sería muy duradera, por no ser un sustrato suficientemente consistente. Otra idea que se muestra confusa es la representación

de un dinosaurio muerto para lo cual se propone “*E despois para decir que morreu poñémolo así [tumbado]*” (Antón, t.91), en este caso el alumno no está considerando que lo que fosiliza son las partes resistentes frente a las blandas, lo cual nos lleva a considerar que hay cierta falta de conocimiento sobre el proceso de fosilización por parte del grupo A al emplear ese conocimiento sin que ninguno de sus miembros lo refutasen. Como se puede comprobar en la tabla 6.7, los estudiantes del grupo D no interpretan el dato del ‘fósil’ de dinosaurio, por lo que consideramos que ese dato construido por el grupo A no es válido.

Tabla 6.7. *Relación entre las pruebas extraídas de la historia del grupo A con los datos representados y las pruebas que el grupo D extrae de los mismos.*

PRUEBAS ORIGEN GRUPO A	DATOS	PRUEBAS GRUPO D (Desiderio, t.81)
O tiranosaurio camiña pola área en busca de alimentos	Águeda, t.30, “ <i>Tiene que ser en un sitio que queden las marcas</i> ” Aurea t.39 “ <i>Camiña pola area</i> ” Antón, t.66, “ <i>Este iba andando</i> ”	Polo lado dereito achegábase o dinosaurio bípedo que ía camiñando
A súa vez o triceraptor estaba nos arredores comendo vexetais	Aloia, t.72, “ <i>Antón, cárgale más que no se ve nada. ¡Mimá! No parece un bicho de 4 patas parece que va saltando</i> ”	E viu ao dinosaurio cuadrúpede.
O tiranosaurio mirou ao triceraptor e non dubidou en ir correndo para cazalo a e alimentarse	Antón, t.74, “ <i>E agora empeza a correr, máis zancada</i> ” Águeda, t.75, “ <i>E agora este para y se lo papa</i> ” Antón, t.82, “ <i>máis lexos unha pata da outra</i> ” Águeda, t.88, “ <i>Sigue haciendo las patas de éste corriendo hasta aquí</i> ” Antón, t.91, “ <i>E despois para decir que morreu poñémolo así [tumbado]</i> ”	O dinosaurio bípede polo seu instinto carnívoro comezou a correr cara o cuadrúpede e, como era máis lento, pois foi cazado e comezaron a loitar. O dinosaurio bípede como era máis áxil saíu vencedor e alimentouse da súa presa,
Cando rematou de alimentarse seguiu o seu camiño		logo marchou para outro lado como se reflexa nas súas pisadas

En cuanto al grupo B, la historia que tratan de representar es escrita únicamente por Bieito, que recoge las ideas de sus compañeros mientras ellos están hablando, los cuales optan por centrarse en una relación depredador-presa, en la que uno mata a otro, como se ve en el siguiente extracto:

- Bieito t.15 *“¿Como se di cando os dous viñan camiñando así?”*
 Benxamín t.16 *“De frente”*
 Breixo t.17 *“Un en sentido contrario ao outro”*
 Bieito t.18 *“En sentido opuesto”*
 Benxamín t.19 *“¿A ti non che entran ganas de xogar como cando eras pequeno?”*
 Breixo t.20 *“Un ve ao outro en intenta escapar...”*
 Bieito t.21 *“No. Cal é o que mata, ¿este?”*
 Benxamín t.22 *“Si”*

En estas intervenciones se aprecia el resumen de la historia (figura 6.14-B), cuyo desenlace es consiste en que un dinosaurio mata a otro, lo cual no es de extrañar, ya que los dinosaurios de los que disponen son: Espinosaurio, bípedo y carnívoro, y el Parasaurolofus, bípedo y herbívoro. La historia escrita por Bieito presenta más información, de ahí que la hayamos dividido en 6 fragmentos, que se muestran en la tabla 6.8, y para los cuales tratan de construir los datos.

En este caso los datos aparentan ser válidos, pues los compañeros del grupo C establecieron una historia muy similar a la que querían representar los alumnos del grupo B, aunque por la escasez de pruebas empleadas por parte del grupo C, carecemos de información suficiente para evaluar la validez de todos los datos construidos. Sí es evidente la precisión con la que el grupo B trata de construir los datos, como se puede ver en la intervención de Benxamín, L.36.2. Sin embargo, Breixo no actúa con el mismo cuidado, pues como se ve en la tabla, para representar el último fragmento de la historia se equivoca de dinosaurio, lo cual podría alterar los datos, pero no le da importancia, pues según su criterio *“as huellas non se distinguen”* (t.44), lo cual finalmente no tuvo ninguna consecuencia en la interpretación de las huellas, por parte del grupo C.

Tabla 6.8. Relación entre las pruebas extraídas de la historia del grupo B con los datos representados y las pruebas que el grupo C extrae de los mismos.

PRUEBAS ORIGEN GRUPO B	DATOS	PRUEBAS GRUPO C
O Espinosauero e o Parasaurolofus ían camiñando hacia un mesmo lugar	Benxamín, L.36.1, <i>“Ti hasta a mitad faino normal”</i>	Iban dos dinosaurios, uno carnívoro y otro herbívoro, cada uno por su camino. Cuando se divisaron
E o Parasaurolofus comeza a correr cara o Espinosauero.	Benxamín, L.36.2, <i>“e despois fainas máis largas, ¿sabes?”</i>	
O Espinosauero vendo que vai ser atacado vota a correr en sentido oposto.	Bieito, t.38, <i>“Si agora ti, como se correrá detrás del”</i> Breixo, t.39, <i>“Creo que as fixen demasiado largas”</i>	
O Parasaurolofus o ser máis rápido alcanza o Espinosauero, teñen unha pelea	Bieito, t.40, <i>“E agora ponas superpostas a estas”</i>	tomaron contacto físico, luchando hasta la muerte del dinosaurio herbívoro,
da que sae victorioso o Parasaurolofus	Breixo, t.41, <i>“E agora ponlle que sae victorioso o que ten o rabo [Espinosauero]”</i> Breixo, t.44, <i>“bueno, da igual, que as huellas non se distinguen”</i>	siendo este comido por el carnívoro

El siguiente grupo es el J, cuyas integrantes dedican mucho tiempo a idear una historia con los dos dinosaurios que se les proporcionaron, el Estegosaurio, cuadrúpedo y herbívoro, y el Megalosaurio, bípedo y carnívoro. Pese al tiempo dedicado a crear la secuencia, desarrollan una historia muy similar a la de los anteriores grupos, basada en que ambos se pelean por la supervivencia, como se puede ver en la tabla 6.9, la cual difiere de las dos anteriores en que no hacen explícito el que un dinosaurio resulte muerto (figura 6.14-J).

Previamente a la redacción de la historia, establecen las pautas generales de la misma empleando como base “las icnitas de Soria”, como se puede ver en el siguiente fragmento:

- Jacinta t.41. *“Escoitade oh! Facemos como poñía o papel, por exemplo, un ven de aquí, o outro ven de aquí”*
- Juana t.42. *“Después uno come al otro...”*
- Jacinta t.43. *“No medio xúntanse”*
- Julia t.44. *“Y luego sale uno solo”*
- Josefa t.45. *“Si, pero hay que escribir una historia, no es hacerlo ahí”*
- Juana t.46. *“Hay que hacer las dos cosas”*

A partir de ese momento, elaboran la historia añadiéndole más detalles que se pueden ver en la primera columna de la tabla 6.9. Esta historia ha sido dividida en 4 fragmentos, para los cuales estas alumnas han construido los datos, aunque para el fragmento tercero no lo realizaron de forma explícita. En el caso del desenlace de la historia, es Josefa, t.140, quien propone que *“salíu victorioso para que proliferara a especie”*, pero Julia, t.141, sugiere que *“salíu co estómago cheo”*. Josefa, t.142, no está de acuerdo con emplear esta expresión pues como ella reconoce *“es que si estamos en biología y le ponemos palabras de calle, pues...”*, aunque realmente no es una cuestión de jerga y, de hecho, ambas interpretaciones podrían tener cabida en la construcción de los datos que realizaron.

El problema a la hora de evaluar la validez de los datos construidos por estas alumnas está en que el grupo M realizó una interpretación de las huellas muy escueta, dejando algunos de los tramos sin interpretar. Lo que nos limita a la hora de poder evaluar la validez de los datos.

Salvando estas dificultades, las pruebas que el grupo J ha querido representar han sido interpretadas de forma adecuada por el grupo M, lo cual podemos considerar como un indicador de que los datos sí son válidos. Esto es debido al conocimiento empleado por las alumnas durante la representación, en particular de Josefa, pues es quien organiza la construcción de los datos, indicándole a sus compañeras cómo tienen que representar al individuo cuadrúpedo y las distancias que deben

mantener entre las huellas, como por ejemplo en su intervención 159 (tabla 6.9). En esta reconstrucción se aprecia que estas alumnas están reproduciendo la historia de “las icnitas de Soria”.

Tabla 6.9. *Relación entre las pruebas extraídas de la historia del grupo J con los datos representados y las pruebas que el grupo M extrae de los mismos.*

PRUEBAS ORIGEN GRUPO J	DATOS	PRUEBAS GRUPO M
El dinosaurio Megalosaurio partía de su hábitat muy tranquilo, iba a buscar comida	Josefa, t.90, <i>“a esto hay que calcularle la distancia”</i>	Hai dúas especies distintas de dinosaurios e
Por el camino se encuentra con otro dinosaurio llamado Estegosaurio	Juana, t.158, <i>“Cuando tu mueves la derecha yo muevo la izquierda”</i> Josefa, t.159, <i>“tenéis que moveros en rombo [cuadrúpedo]”</i> Josefa, t.195, <i>“¡Vuestro dinosaurio anda chocho! Son líneas rectas”</i> Julia, t.199, <i>“Pero después se juntan porque, al andar, las patas de atrás pisan en el medio de las otras”</i>	
Tuvieron una pelea por la supervivencia del Estegosaurio	[mezclan huellas]	teñen nunha pelexa polo territorio despois unha especie imponse sobre a outra
y el Megalosaurio salió victorioso y hizo que proliferase la especie	Josefa, t.178, <i>“no, aquí no porque éste es el que pierde, el que gana es aquel”</i>	e sobrevive

Por último, el grupo N dispone de los dinosaurios Espinosaurio y Parasaurolofus, por el hecho de que son carnívoro y herbívoro, respectivamente, comienzan proponiendo una historia semejante a la del resto de grupos, con 7 fragmentos (figura 6.14-N), lo que les lleva mucho tiempo ya que juegan con el micrófono en lugar de centrarse la tarea, por ello, a continuación se muestran las intervenciones en las que le fueron dando forma a su historia:

- Noe t.48 *“O sea que este come a este”*
- Néstor t.114 *“Botouse sobre o... outro dinosaurio o parasaurolofusus e a este non lle dou tempo a escapar e como foi un sumiso e comeuno”*
- Néstor t.139 *“O espinosaurio estuvo acechando varias veces [con la mano hace círculos] e... e... cando parecía que marchaba”*
- Narciso t.140 *“¡Zás!”*
- Néstor t.141 *“Volveu e atacou”*

Aunque esta historia sea la más aceptada por los integrantes del grupo, Narciso indica que él tenía una historia alternativa en la que ambos dinosaurios se pelean aunque con una particularidad, pues en este caso el herbívoro es quien la gana, siendo Néstor, t.150, quien indica cómo representarla: *“Pero agora vamoslle poñer que este [Parasaurolofus] lle dou ca cola na cabeza [Espinosaurio]”* de forma que el desenlace es que el herbívoro logra defenderse del carnívoro, como se ve en la tabla 6.10.

Esta nueva alternativa es la que pretenden representar, pero la falta de organización entre los estudiantes provoca que la representación de los datos haya sido un tanto complicada, pues no tenían la historia bien establecida de modo que durante la construcción de los datos representan aspectos no contemplados en la historia inicial, llevándoles a tener una sensación de que su conjunto de icnitas *“esta feito todo unha trapallada”* (Nicolás, t.201). El alumno que ha tomado la iniciativa de representar las huellas es Néstor, recibiendo por ello numerosas críticas de sus compañeros de grupo al no dejarles participar y construir los datos con poco cuidado; es por ello que este alumno toma la decisión de borrar las huellas y comenzar a construir los datos de nuevo.

Tabla 6.10. *Relación entre las pruebas extraídas de la historia del grupo N con los datos representados y las pruebas que el grupo J extrae de los mismos.*

PRUEBAS ORIGEN GRUPO N	DATOS	PRUEBAS GRUPO J
O Parasaurolofus estaba comendo no medio dun prado tranquilamente	Néstor, t.184, <i>“Ponlle aquí como se estivera parado”</i>	Aquí entrou o dinosaurio A, por aquí aínda que non se ve moi ben, pero bueno.
Mentres era acechado por un Espinosaurio		
De súpeto, o Espinosaurio botouse sobre o parasaurolofus	Néstor, 184, <i>“claro, empeza a correr, e que correndo ten que dar pisadas máis largas”</i> Nicolás, t.192, <i>“Ahora vaino facendo por aquí [espinosaurio]”</i> Noe, t.196, <i>“Ahora rodéao”</i>	
e a este non lle deu tempo de escapar e optou por ter un carácter sumiso ao espinosaurio		
O espinosaurio rodeou varias veces ao parasaurolofus.	Néstor, t.228 <i>“Este veu correndo e rodéao”</i>	
Despois duns momentos intensos, o espinosaurio ataca ao parasaurolofus e pelexan	Néstor, t.171, <i>“Vou facer círculos no medio”</i>	Despois aquí tiveron unha disputa ou ben pola comida ou ben polo hábitat
Finalmente, morre o espinosaurio debido a un ataque do parasaurolofus (da súa cola)	Nicolás, t.209, <i>“agora colles este [Parasaurolofus] e vas así como si se marchara”</i> Nicolás, t.237, <i>“ponlle unha pata aquí, así sábese que morreu”</i>	E ou ben un, como non era o seu hábitat non logrou sobrevivir e morreu aí xa, e o outro seguiu avanzando Ou ben como non había comida para todos, pois gañou o dinosaurio B, o dinosaurio que estaba alí e marchou

Las alumnas que tuvieron que interpretar los datos elaborados por este grupo fueron las del grupo J. Su interpretación de las huellas coincide sólo en algunos aspectos con las pruebas originales, principalmente en el fragmento de la pelea.

No obstante, para estas alumnas hay falta de coherencia entre las huellas pues no logran comprender cómo el dinosaurio que inicialmente persigue al otro, es decir quien comienza la pelea, es el que no sobrevive a la misma, como se analizará con detalle en el siguiente apartado. Esto podría llevarnos a pensar que los datos construidos por el grupo N no son válidos, sin embargo, opinamos que las alumnas del J estaban muy condicionadas porque en una pelea el carnívoro sea el vencedor, aunque no siempre ocurra así en la naturaleza.

De modo que, pese a que los estudiantes del grupo N construyeron los datos sin mucha precisión, éstos son válidos por la razón de que han sido interpretados de forma adecuada por el grupo J, además de ser originales y contribuir a la argumentación, pues las alumnas de grupo J han mantenido un discurso argumentativo muy completo como se verá en el siguiente apartado.

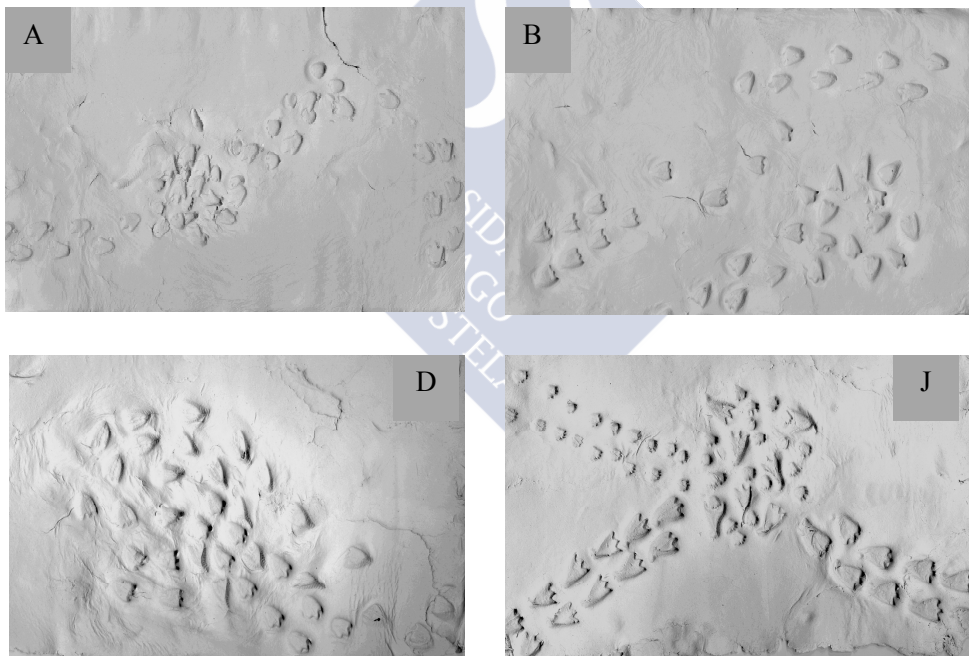


Figura 6.14. Imágenes de las placas elaboradas por los siguientes grupos, A, B, J y N, respectivamente, en las que han construido las secuencias de icnitas.

NOTA: Si en vez de huellas se observan relieves, girar las imágenes.

6.2.4 El proceso de argumentación: segunda parte de la actividad “Historieta de icnitas” en 1º bachillerato.

En este caso se analiza la segunda parte de la actividad, centrada en que los estudiantes analicen las secuencias de huellas creadas por sus compañeros. Para terminar de dar respuesta a la primera pregunta de investigación planteada al comienzo del capítulo, se examinan las pruebas que emplean durante el discurso argumentativo y los argumentos que elaboran en los pequeños grupos, de forma similar al análisis realizado con la actividad de 4º de ESO (apartado 6.2.1).

En primer lugar analizamos la calidad de las pruebas empleando los criterios de suficiencia y adecuación. Recordemos que si la prueba está extraída directamente de la interpretación del dato será suficiente, mientras que si proviene de una inferencia de los datos no será suficiente por sí sola. En el caso de las pruebas suficientes pueden ser adecuadas tanto en que los datos sean interpretados de forma correcta, sino serán consideradas inadecuadas. Como se ve en la tabla 6.11, analizamos los porcentajes de las pruebas que cumplen ambos criterios por el hecho de que nos permiten conocer qué datos han sido incorporados en las justificaciones en forma de prueba suficiente y adecuada, aunque queremos indicar que el uso de porcentajes en esta tabla tiene el único fin de poder realizar una caracterización de los grupos.

Los datos que se muestran en la tabla 6.11, nos sugieren que no un mayor uso de pruebas es sinónimo de mayor suficiencia y adecuación en las mismas, lo cual coincide con los resultados obtenidos también con los datos en 4º de ESO (ver tabla 6.1). Como es el caso del grupo J, en el cual se han identificado 19 pruebas durante el discurso argumentativo, de las cuales 14 sí cumplieron ambos criterios pero 5 no lo hicieron, debido a lo cual obtuvieron un porcentaje bajo en relación a los otros grupos, pese a tener el mayor número de pruebas. Un ejemplo de prueba que no cumpliera ambos parámetros resultó la justificación de Josefa, t. 180, “*O se murió porque no era su hábitat*” pues no poseen datos para identificar el tipo de hábitat, de modo que es considerada una prueba que por sí sola no apoya que se muriese un dinosaurio.

Tabla 6.11. *Porcentajes de las pruebas que cumplen los criterios de suficiencia y adecuación que los grupos han empleado en el discurso argumentativo.*

GRUPO	PRUEBAS				INTERVENCIONES	
	Total	Suficiencia	Adecuación	Nº %		
A	14	Insuficientes		2	14,28%	23, 62
			Inadecuadas	2	14,28%	53, 55,
		Suficientes		10	71,4%	9.2, 25, 26, 33, 46, 60, 64.1,
			Adecuadas			64.2, 70.2, 72.1
B	9	Insuficientes		2	22,22%	36, 58.1
			Inadecuadas	0	0%	ninguna
		Suficientes		7	77,8%	23, 30, 52, 58.2, 63, 17, 18
J	18	Insuficientes		4	22,22%	82.1, 180.2, 180.3, 144
			Inadecuadas	1	5,55%	123
		Suficientes		13	72,2%	17.2, 21.1, 33, 36, 42.2,
			Adecuadas			60.3, 82.2, 82.3, 85.1, 88, 157, 162, 166.1
N	10	Insuficientes		0	0%	ninguna
			Inadecuadas	1	10%	23
		Suficientes		9	90%	20, 21,3, 30.3, 47, 54.1, 55, 70, 93.2, 99

En el caso contrario, el grupo N empleando 10 pruebas de las cuales sólo 1 resultó inadecuada, por lo que el 90% de sus pruebas cumplen ambos criterios. No obstante, el porcentaje de pruebas empleadas que cumplieren los criterios de suficiencia y adecuación ha sido elevado en los cuatro grupos.

El discurso argumentativo de los diferentes grupos se resume en los esquemas del argumento global de cada uno, junto con un recuento del número de elementos propios de la argumentación que han empleado. Para elaborar los esquemas de argumentación de cada grupo y el análisis que realizaron de cada representación de las icnitas, se han dividido las secuencias de icnitas en tramos (ver figura 6.19). Cabe recordar que en la división, realizada por la investigadora, se ha tenido en cuenta la interpretación que cada grupo realizó de la placa que analizaba, con el fin de interpretar la información de un modo fidedigno.

Las comparaciones entre grupos en esta actividad no son posibles, pues cada grupo tuvo que analizar secuencias de icnitas diferentes. No obstante, de un modo general se aprecia un escaso número de justificaciones empleadas en los argumentos globales de cada grupo, como se verá a continuación. Además, hay

una ausencia casi total de los conocimientos básicos que los estudiantes emplean para respaldar las justificaciones.

Las integrantes del grupo A comienzan tratando de averiguar qué ocurrió en la secuencia de icnitas elaborada por el grupo C (ver figura 6.19-A). Al inicio procuran encajar la historia con otras que les resulten familiares, de ahí que Antón, t.10, proponga “*que un come o outro*”, pero Aloia, t.11, se da cuenta de que eso no tiene sentido ya que “*no, porque después siguen las pisadas por aquí*”, que se puede completar con: ‘de los dos dinosaurios, por lo que ninguno murió’.

El siguiente aspecto que les resulta complejo de interpretar es lo que hemos considerado tramo 1, pues en él hay dos huellas paralelas del mismo dinosaurio, lo que un principio les lleva a pensar que puedan ser de un dinosaurio volador:

- Aloia t.24 “*¡Ya se! ¡ya se! Éste hizo que volaba y aterrizó aquí*”
[...]
- Antón t.27 “*¿E ti como sabes que voaba?*”
- Aloia t.28 “*Por la forma de las patas, porque lo vi en otras mesas*”
- Águeda t.29 “*Si tiene pinta de pájaro, pero sabe dios...*”

Esta alternativa justificaría que en el tramo 1 aparezcan unas huellas solitarias, pero como se puede ver en el argumento global (figura 6.15), al final optan por justificar dicho tramo indicando que ese dinosaurio estaba comiendo, y por lo tanto estaba parado. Lo que coincide con lo que el grupo C quería representar “el paquicefalo dinosaurio estaba comiendo un arbusto” (escrito).

Ese argumento global del grupo A, está compuesto por 4 subargumentos, uno para cada tramo que se ha identificado en la secuencia, de los cuales 3 presentan una justificación. Tomando las conclusiones parciales de los subargumentos, la historia extraída por estos estudiantes consiste en que ‘un dinosaurio bípedo estaba comiendo algo cuando un dinosaurio cuadrúpedo le ve y echa a correr; ambos corren pero el cuadrúpedo al ver que no da pillado al bípedo sigue su camino’.

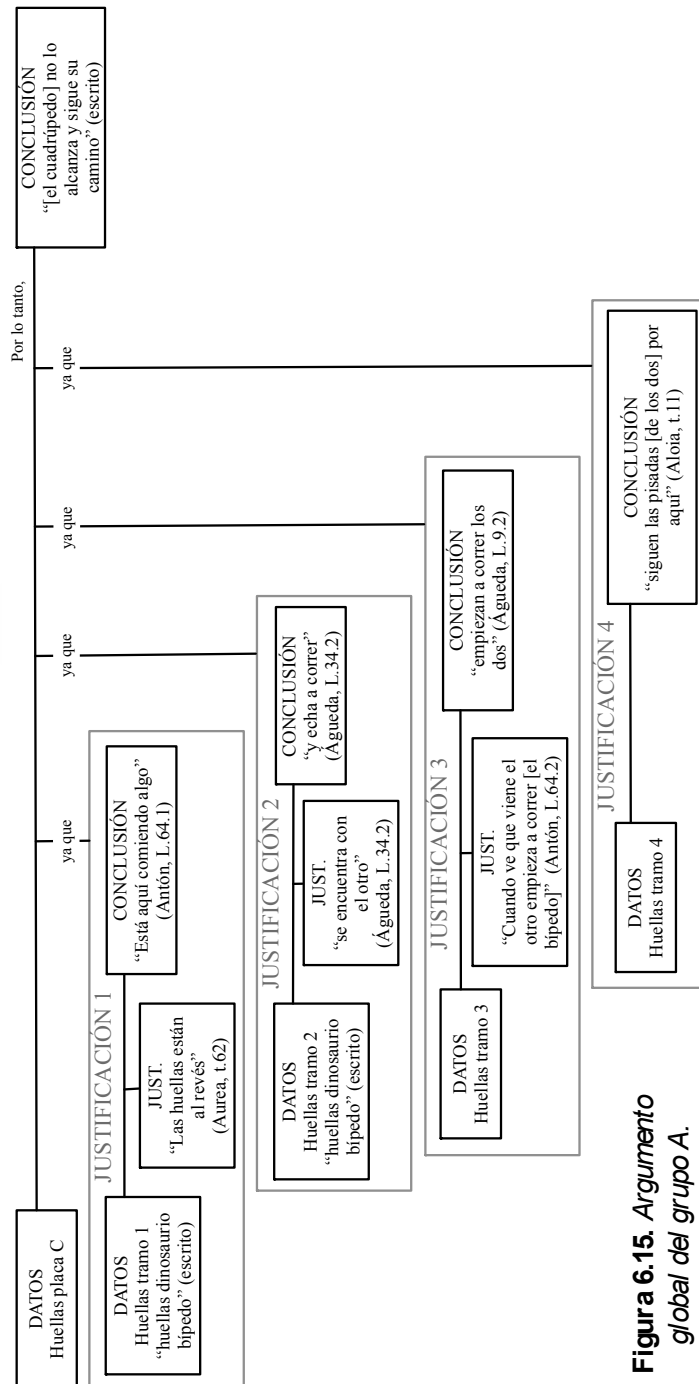


Figura 6.15. Argumento global del grupo A.

Como se aprecia en el argumento global, todos los miembros participan en el proceso de argumentación, aunque no todos del mismo modo. De acuerdo con la tabla 6.12, en la elaboración de este argumento se puede considerar que la integrante del grupo que más aportaciones realizó fue Águeda, pues es quien propone más argumentos (6/8), lo cual consideramos que sirven como base para que sus compañeros justifiquen los diferentes fragmentos de la historia; en especial Antón, pues enuncia 6 de las 13 justificaciones. La participación de Aurea y Aloia resultó ser bastante similar, destacamos a Aloia pues es la que aplica un conocimiento básico y realiza la única refutación (t.11) ya comentada antes, para rechazar la idea de Antón acerca de que un dinosaurio comiese a otro. La poca presencia de refutaciones y a que los compañeros comparten la opinión de Águeda aportando alguna idea, consideramos que el discurso que mantienen es de tipo “acumulativo”.

Tabla 6.12. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo A.*

Elementos	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Águeda	6	8
	Aurea	1	
	Aloia	-	
	Antón	1	
Nº conclusiones	Águeda	-	1
	Aurea	-	
	Aloia	-	
	Antón	1	
Nº justificaciones	Águeda	4	13
	Aurea	3	
	Aloia	-	
	Antón	6	
Nº conocimientos básicos	Águeda	-	1
	Aurea	-	
	Aloia	1	
	Antón	-	
Nº refutaciones	Águeda	-	1
	Aurea	-	
	Aloia	1	
	Antón	-	

El grupo B ha analizado la secuencia elaborada por el grupo D, en la cual hemos identificado tres tramos (ver figura 6.19-B) fácilmente interpretables por estos estudiantes, pues como afirma Benxamín, t.10, “¡Clarísimo, fixeron o mesmo ca nos!”, ya que esta secuencia presenta muchas similitudes con la elaborada por ellos mismos a la vez que con las “icnitas de Soria”.

Este argumento global (figura 6.16) presenta como rasgo principal que está apoyado en 4 subargumentos, de los cuales 2 están justificados. Lo peculiar de estas justificaciones es que lo que emplean como prueba se puede considerar como conocimiento básico ya que como se muestra en las intervenciones de Bieito, t.32, y de Bruno t. 56, lo que tratan con ellas es de respaldar el por qué consideran que un dinosaurio corra o ande, respectivamente. Esto nos indica que estos estudiantes realizaron un análisis en detalle de la escena pues han hecho explícitos los datos con los que interpretaron las huellas.

La conclusión final con la que indican qué ocurrió en las huellas es mencionada por Benxamín, t.79, “O dinosaurio A desapareceu”, la cual es aceptada por sus compañeros, pero ante la cual Bruno, t.80, propone una condición de refutación: “ou o levou no colo”. La consideramos condición de refutación, porque no pretende refutar una prueba concreta, sino que sería una condición de excepción, para la cual esa conclusión no sería válida. Como se puede ver en la tabla 6.13, ésta refutación es una de las dos que propone Bruno. La otra refutación que realiza tiene como finalidad el rechazar la idea de que un dinosaurio fuese cuadrúpedo:

- | | | |
|--------|------|--|
| Bieito | t.34 | “Eh este é cuadrúpedo” |
| Bruno | t.35 | “¿E como o sabes?” |
| Bieito | t.36 | “Porque vai con 4 patas” |
| | | [...] |
| Bruno | t.41 | “Si fuese cuadrúpedo tendría que haber muchas más huellas” |

Haciendo un balance de los elementos argumentativos durante el discurso de estos estudiantes, podemos indicar que tanto los conocimientos básicos, que en el esquema del argumento son en sí justificaciones, como las refutaciones, nos sugieren que el discurso argumentativo de estos alumnos es bastante complejo, pese a no tener muchos elementos argumentativos como se muestra en la tabla 6.13, y se adecúa a los datos de los que disponen en la representación de icnitas.

Tabla 6.13. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo B.*

Elementos	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Benjamín	-	2
	Bieito	-	
	Bruno	2	
	Breixo	-	
Nº conclusiones	Benjamín	4	5
	Bieito	-	
	Bruno	1	
	Breixo	-	
Nº justificaciones	Benjamín	5	9
	Bieito	1	
	Bruno	2	
	Breixo	1	
Nº conocimientos básicos	Benjamín	-	2
	Bieito	1	
	Bruno	1	
	Breixo	-	
Nº refutaciones	Benjamín	-	2
	Bieito	-	
	Bruno	2	
	Breixo	-	

Los datos de esta tabla nos indican que Bruno fue el alumno que más ha contribuido al desarrollo del argumento, pues ha sido capaz de mencionar al menos un elemento argumentativo de cada categoría. Le sigue Benjamín, quien propuso 5 justificaciones de las 9 que emplearon entre todos, mientras que no se aprecian grandes diferencias en la contribución de Bieito y Breixo durante el proceso de argumentación. También en este grupo se aprecia un discurso de tipo “acumulativo” en el que sus integrantes propusieron algún contraargumento, pero sólo Bruno enunció dos refutaciones.

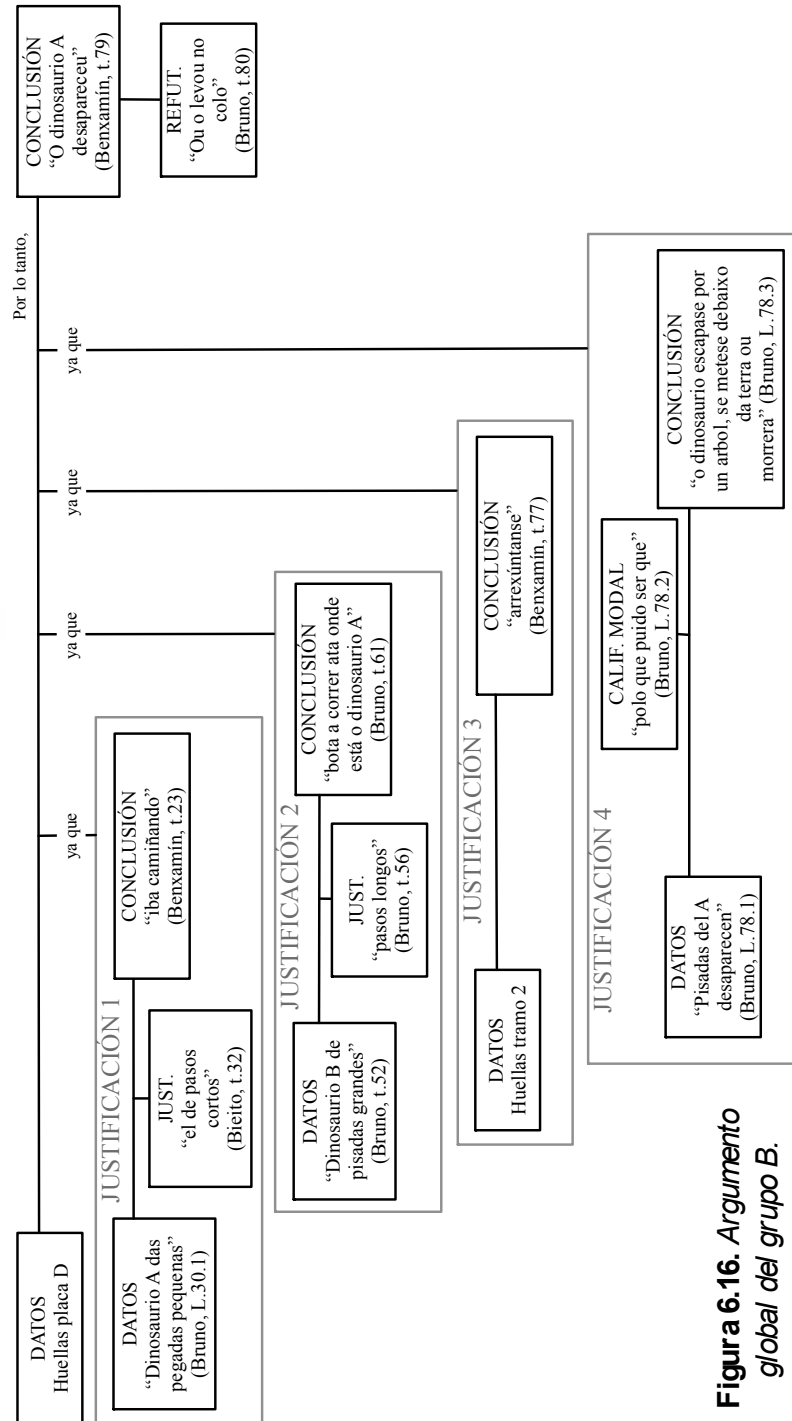


Figura 6.16. Argumento global del grupo B.

En el caso de las alumnas del grupo J, les ha tocado interpretar la secuencia de icnitas creada por el grupo N (ver figura 6.19-C), la cual recordemos fue el resultado de un proceso de representación complicado, como se comentó en el anterior apartado. La división de la secuencia nos sugiere que hay 3 tramos, complejos de separar, pues las huellas están muy juntas y apenas se aprecian los cambios en los ángulos de zancada entre pisadas.

Estas alumnas tratan de encontrar la explicación más adecuada pero les resulta extraño el hecho de *“este é o que entra. E o das pegadas pequeniñas que é o que está quieto é o que consegue sair”* (Juana, t.93), de lo que interpretamos que se refiere a que el dinosaurio que ‘ataca’ sea del que no se ven más huellas después de la pelea. La alumna que primero se percata de que los sucesos sean esos es Juana, t.21, *“Primero llega este y este se supone que ya estaba ahí, quieto ¿no? Hubo una pelea y sale el pequeñito”*. En el siguiente fragmento se muestra una segunda alternativa, aunque Josefa no se muestra muy conforme:

Julia t.165 *“Igual iba a presa e atopouse inconscientemente co dinosaurio”*

Josefa t.166 *“No, o dinosaurio foi cara a presa porque a presa estaba quieta”*

Julia t.167 *“Bueno se iba andando inconscientemente”*

Juana t.168 *“pero por que sale a presa”*

En la última intervención, Juana pregunta acerca de la presa, volviendo a discutir que *“No, porque entonces estamos en la misma... entra el que es comido... y se va el que come”* (Juana, t.174). En ese momento Josefa, t. 175, propone un argumento que consideran definitivo *“Y si es que este estaba aquí y este como era su hábitat este llegó del hábitat de a saber donde y aquí no dio sobrevivido y entonces se fue éste. O vió el hábitat ocupado y...”*, es decir, que plantean la posibilidad de que fuese una pelea por el territorio. De modo que en la conclusión del argumento global, figura 6.17, sea que simplemente el dinosaurio A *“no dio sobrevivido”* (Josefa, t.175).

Estas alumnas elaboraron un argumento global (figura 6.17) que consta de 4 subargumentos, para explicar los 3 tramos en los que se divide la secuencia de icnitas, con 4 justificaciones, y otra justificación (5) aislada, lo que muestra el

nivel de complejidad su argumento. De este modo, la historia que ellas proponen puede resumirse en que ‘Un dinosaurio A va hacia su presa, la cual ya estaba allí. Se pelean por lo mismo y el dinosaurio B sale cojo. Por lo tanto, el dinosaurio A no sobrevivió porque no era su hábitat, aunque si muriese debería quedar fósiles’.

Tabla 6.14. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo J.*

Elemento	Estudiante	Número	Total
N° argumentos	Josefa	3	15
	Jacinta	4	
	Juana	5	
	Julia	3	
N° conclusiones	Josefa	1	8
	Jacinta	2	
	Juana	3	
	Julia	2	
N° justificaciones	Josefa	8	19
	Jacinta	2	
	Juana	9	
	Julia	-	
N° conocimientos básicos	Josefa	-	1
	Jacinta	-	
	Juana	1	
	Julia	-	
N° refutaciones	Josefa	-	2
	Jacinta	-	
	Juana	2	
	Julia	-	

La complejidad del discurso argumentativo de estas alumnas se corrobora con la tabla 6.14, pues enunciaron una gran cantidad de argumentos, en especial Juana 5 de los 15, quien también elabora 9/19 justificaciones, propone el único conocimiento básico y realiza dos refutaciones, con las que eleva la calidad de la argumentación y promueve la argumentación de sus compañeras. También es importante el papel de Josefa, pues enuncia 8/19 justificaciones. Entre Julia y Jacinta hay pocas diferencias apreciables en cuanto a su contribución al proceso de argumentación. Así, el tipo de discurso que desarrollan estas alumnas es de tipo “negociación” con varias refutaciones con las que se evalúan las hipótesis de cada integrante, tratando de llegar a la conclusión que sea más conforme con las ideas de todas.

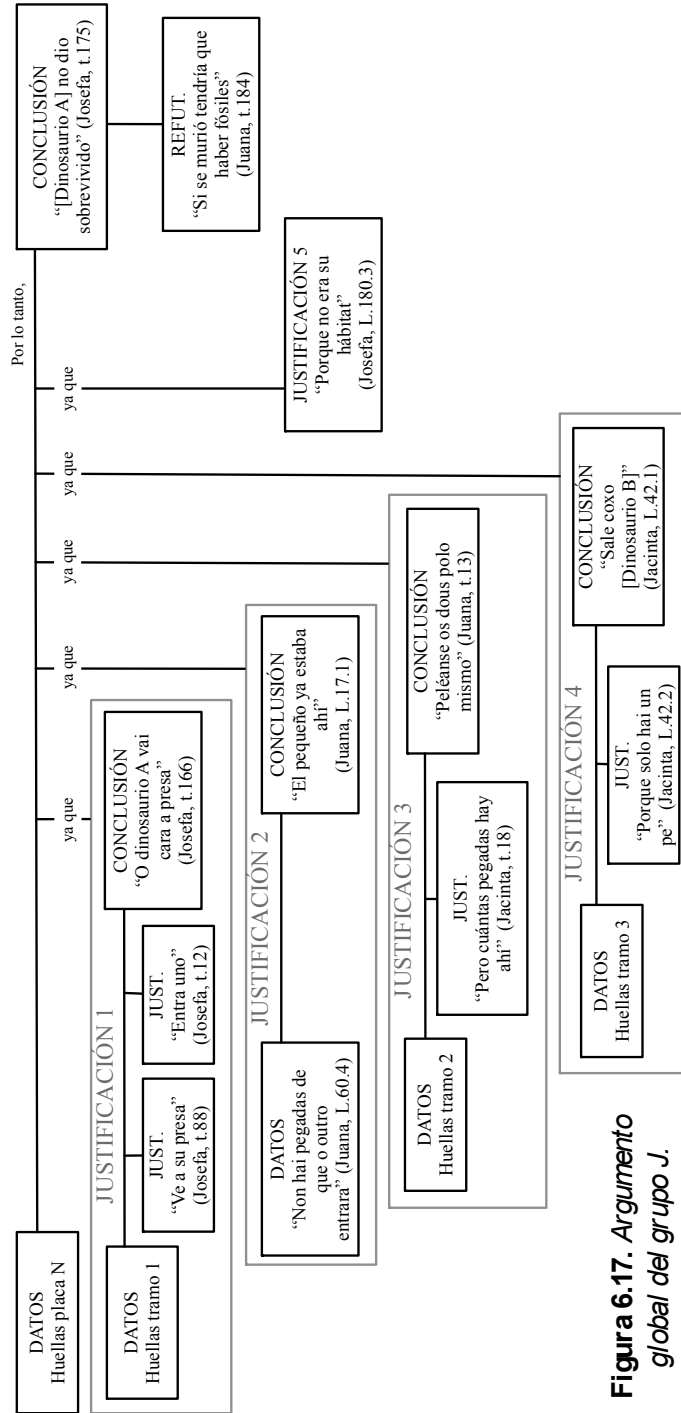


Figura 6.17. Argumento global del grupo J.

Finalmente, el grupo N ha analizado la placa L, que tiene una secuencia muy similar a la propuesta en la actividad de 4º de ESO solo que con dos tramos en los que las huellas se entremezclan. Estos estudiantes identifican rápidamente los principales tramos de la secuencia, indicando qué ocurrió en cada uno de ellos, como se puede ver en la figura 6.18, aunque con una excepción, y es que si observamos la secuencia de icnitas en la figura 6.19-B, se podría apreciar que entre las fases que ellos identifican como “*iban camiñando*” (Néstor, t.47) hasta que “*loitaron*” (Néstor, 30.2), se puede establecer otro tramo en el que el uno de los individuos comienza a correr mientras el otro sigue andando. Sin embargo, estos alumnos no lo han identificado, por lo que tampoco se ha reflejado como división en la placa. Quizás esto sea debido a la falta de reflexión sobre los conocimientos básicos, con los que deberían respaldar sus justificaciones, es decir, prestando atención a los cambios en la cinemática de las huellas.

Como se ha comentado en el anterior apartado Néstor es quien más participa de su grupo, por lo que es el que primero propone un argumento muy general sobre lo que pasó en esas huellas “*Entonces, hai dous dinosaurios. Loitaron. empezou a escapar o dinosaurio, este dinosaurio, o A imos chamarlle. E despois volveuno alcanzar este pillouno e matouno*” (t.30), al que después tratan de ir dotándolo de algunas pruebas.

Su proceso de argumentación se caracteriza por presentar muy pocos elementos argumentativos, tal y como se muestra en la tabla 6.15, apenas proponen argumentos y la única refutación, aunque no sea relevante para el proceso de argumentación, se debe a que al inicio de la sesión Néstor pensaba que tenían los mismos dinosaurios que en la primera parte de la sesión y Narciso le indica que eso no es así:

- | | | |
|--------|------|--|
| Néstor | t.21 | “ <i>Escoita, víronse os dous nunha zona, por exemplo. E deberon loitar un pouco e fuxiu este, o parasaurolofus [non se dan conta que os dinosaurios non son os mesmos]”</i> |
| Noe | t.22 | “ <i>E como sabes que é o parasaurolofus?</i> ” |
| Néstor | t.23 | “ <i>Polas patas, estas son as patas...</i> ” |

Narciso t.24. “*Non porque son diferentes dinosaurios*”

Entre los cuatro integrantes, destaca la participación de Néstor durante todo el discurso argumentativo, pues es quien más argumentos (3/4) y justificaciones (7/10) propone, como también se puede observar en el argumento global (figura 6.18), en la que todas menos una de las intervenciones representadas provienen de este estudiante. Debido a la actitud de Néstor, quien quiere imponer su criterio durante la resolución de la tarea, consideramos que el discurso es de tipo “disputa”, pues sus compañeros ven limitadas las ocasiones en las que hacer una intervención para discutir la conclusión más adecuada.

Tabla 6.15. *Relación de los elementos argumentativos durante el discurso del grupo N.*

Elemento	Estudiante	Número	Total
Nº argumentos	Noe	1	4
	Nicolás	-	
	Narciso	-	
	Néstor	3	
Nº conclusiones	Noe	-	1
	Nicolás	-	
	Narciso	-	
	Néstor	1	
Nº justificaciones	Noe	1	10
	Nicolás	-	
	Narciso	2	
	Néstor	7	
Nº conocimientos básicos	Noe	-	0
	Nicolás	-	
	Narciso	-	
	Néstor	-	
Nº refutaciones	Noe	-	1
	Nicolás	-	
	Narciso	1	
	Néstor	-	

El argumento global del grupo N, no está completo, pues como se ha comentado hay ausencia de uno de los tramos en los que se podría dividir la secuencia de icnitas. Pese a ello está compuesto por 4 subargumentos, con 2 justificaciones, y una justificación (5) aislada en el argumento principal, aunque ninguna presenta conocimientos básicos.

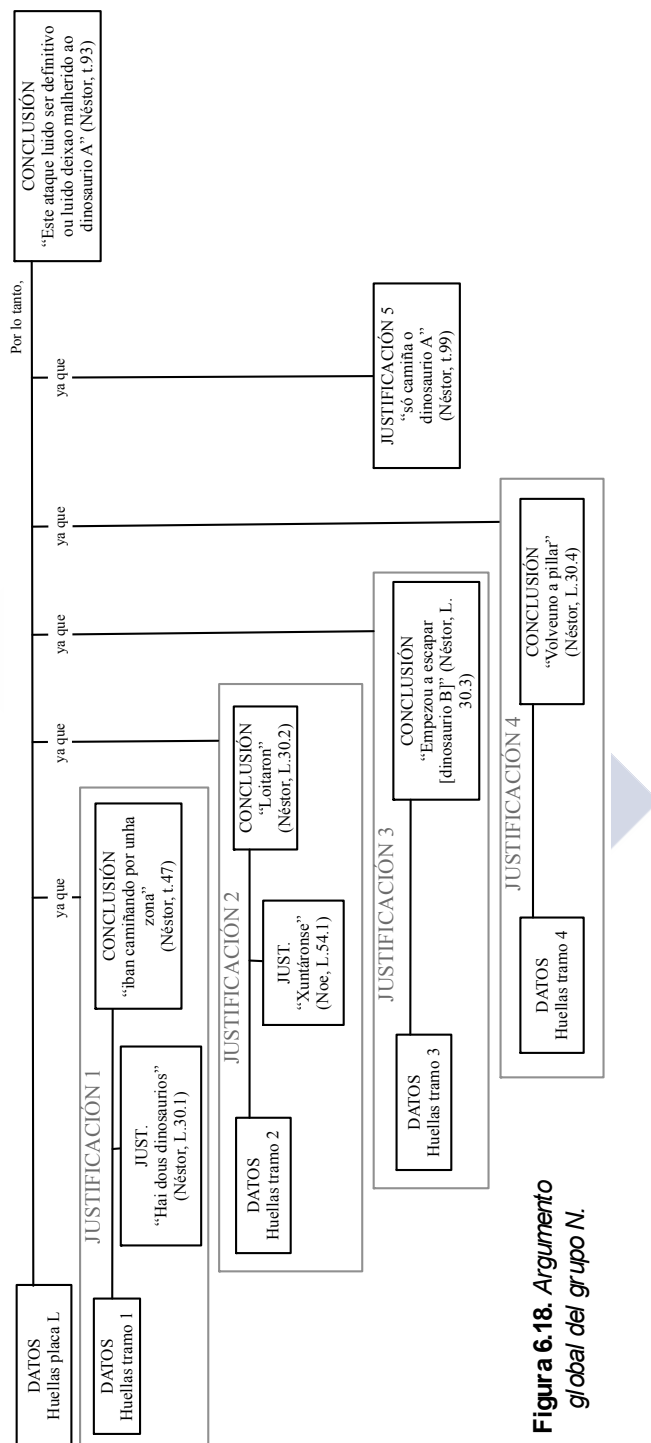


Figura 6.18. Argumento global del grupo N.

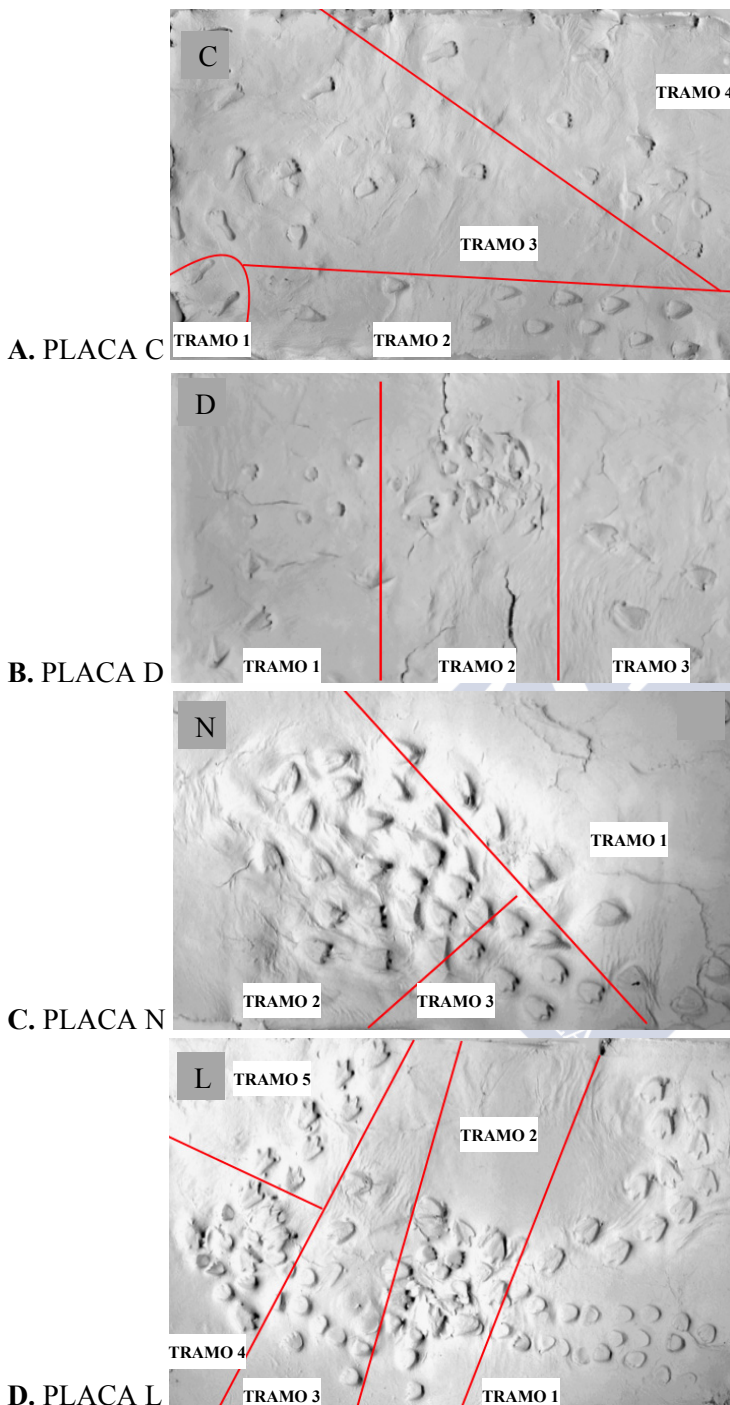


Figura 6.19. Imágenes de las placas elaboradas por los siguientes grupos, C, D, N y L respectivamente, en las que han construido las secuencias de icnitas.

Divisiones y tramos indicados por la autora.

NOTA: Si en vez de huellas se observan relieves, girar las imágenes.

6.3 El “uso de pruebas” desempeñado por los estudiantes.

El análisis del uso de pruebas está justificado para conocer el nivel de desempeño del “uso de pruebas” que, por un lado, permiten desarrollar las actividades propuestas y, por otro lado, el nivel de capacidad que alcanza cada grupo. Anteriormente se describió cómo los estudiantes elaboraron los argumentos para lo cual debieron hacer uso de las pruebas en sus justificaciones. Por este motivo, de lo que se trata en este apartado es de describir el nivel desarrollado por cada grupo y las razones para ello.

La rúbrica empleada en este análisis se presentó en el apartado 3.5.3 de la metodología, en la que se relacionaban los niveles establecidos por PISA (OCDE, 2008) con las tareas que deben desempeñar los estudiantes en estas tareas para cada uno de los niveles. Gracias a que las actividades diseñadas para 4º de ESO y 1º de bachillerato tienen propósitos y requieren habilidades muy similares, esta rúbrica será empleada en ambos. De este modo en los dos apartados que siguen se muestran dichas rúbricas en cuya primera columna se indican los grupos que han desempeñado cada nivel y las capacidades que demostraron para ello.

6.3.1. Niveles de desempeño en 4º de ESO del “uso de pruebas”

Siguiendo la rúbrica que se muestra en la tabla 6.16, se puede decir que los grupos analizados han desempeñado como mínimo el nivel 3. Esto es así porque todos han inferido que se trata de dos individuos (nivel 1) y que se mueven a diferentes velocidades según la ‘distancia de las huellas’ (nivel 2). Con esta información son también capaces de elaborar un argumento simple con el que explicar qué es lo que hace cada individuo en esa secuencia de icnitas y cuál es la conclusión final que se extrae de ello. Sin embargo, la diferencia en el desempeño de esta competencia entre los cuatro grupos está en que no todos son capaces de superar el nivel 3 de competencia, lo cual se detalla a continuación grupo a grupo.

Tabla 6.16. Capacidades desarrolladas por cada grupo, en 4° ESO, durante la realización de la actividad, implicadas en la dimensión “uso de pruebas”, indicando mayor el nivel de desempeño de cada grupo.

Grupo	Son capaces de...	Nivel
	formular posibles argumentos o justificaciones si hubiese datos procedentes de otras fuentes.	6
N	elegir la hipótesis (conclusión) más adecuada basándose en los datos y pruebas disponibles (turnos: 141, 248, 251)	5
G H	inferir el comportamiento de los dinosaurios de forma conjunta, a partir del patrón de huellas de ambos (GRUPO G: turnos 96, 121, 136, 148, 172, 176, 202) (GRUPO H: turnos 40, 79, 213, 217)	4
L	inferir el comportamiento individual de los dinosaurios a partir del patrón de huellas. (turnos 22, 33, 41)	3
	reconocer la velocidad relativa de los dos dinosaurios (grande y pequeño) según la distancia entre las huellas.	2
	identificar dos dinosaurios por simple observación. Atribuir el tamaño de las huellas al tamaño relativo de los individuos (grande y pequeño).	1

El desempeño que el grupo G realiza del uso de pruebas comienza en el nivel 1, cuando Gloria establece la hipótesis sobre la que trabajan durante la sesión ya que en su intervención describe simplemente que hay dos individuos, depredador y presa que se pelean, pero no aporta ninguna prueba de por qué eso es así. A medida que avanza su discurso Gloria y Guillermo hacen explícitos los datos y las pruebas con las que argumentan si un individuo corre o anda:

Gloria t.63 “sabemos que correu porque as pezuñas...”

Guillermo t. 64 “Non, porque as pegadas están máis separadas unas das outras”

Con esta intervención se sitúan en el nivel 2 de desempeño, pues requiere un tratamiento de la información algo más complejo que el nivel 1, esto es, inferir la velocidad de los dinosaurios de la separación de las huellas.

El máximo nivel que desempeñan estos estudiantes es el 4, puesto que son capaces de explicar qué ocurrió en esa secuencia de pisadas considerando las huellas de ambos individuos, pero esto sólo ocurre al final de la sesión, ya que la mayor parte del discurso de sitúa en un nivel 3, por centrarse en lo que hace sólo el ‘depredador’, como si las acciones de la ‘presa’ fuesen secundarias. Un ejemplo de esto es el turno 96 en el que Gloria argumenta que “*a ver, aquí hai un monte, e aquí este [depredador] divisao e comeza a correr, pero este [presa] non se entera*”, ya que explica cuál es el comportamiento de uno considerando el comportamiento del otro.

Cabe indicar que este grupo se toma las molestias de responder a la pregunta ¿necesitaríais conocer alguna otra información?, ante la cual responden “*los restos, tendrían que dejar los huesos*” (Gregorio, t.65), pero no son capaces de solicitar datos con los que corroborar su hipótesis.

El grupo H también comienza su discurso argumentativo en el nivel 1 cuando identifican dos individuos, que considera “*depredador e presa*” (Helio, t.38), en el momento que proporcionan pruebas para justificar por qué argumentan si corren o andan adquieren el nivel 2 y al integrar esta información para decir qué suceso ha podido tener lugar en ese conjunto de huellas pasan directamente al nivel 4. Consideramos que es así porque Helio, que es quien toma la iniciativa para resolver la actividad, en todo momento lo hace considerando a ambos individuos de forma conjunta, como se comprueba en la intervención de Helio t.40: “[...] *Moi bien, **entón este vai por eiquí tan tranquilo e este vai por eiquí andando tranquilo tamén. Ben, bueno non sabemos si este vai tranquilo ou vai a acechar. Entonces cando se da conta de que éste, máis pequeno, está aquí colle e empeza a correr. Cando se da conta éste de que o veu empeza a correr tamén, correu un pelín de nada. Pero resulta que o que pasou foi que o outro pegoulle un mordisco ou algo polo estilo***”. En negrita se resalta cómo este alumno tiene en cuenta a ambos individuos a la vez, lo cual se mantiene en las demás explicaciones.

La razón por la que consideramos que este grupo no obtuvo un nivel de desempeño superior es porque la actitud autoritaria de Helio no favorece el que sus compañeros le soliciten pruebas ni juzguen sus argumentos, por lo que la calidad argumentativa se ve limitada.

El desempeño de la competencia “uso de pruebas” por parte del grupo L adquiere el nivel 3 gracias a la implicación constante de Luis. Este estudiante es quien infiere el papel de los individuos según las características de las huellas “*Este es el depredador [pegadas grandes] y esta la presa [pegadas pequeñas]*” (t.52), lo que hace que desempeñe el nivel 1; también es el que emplea las distancias entre huellas como dato para justificar si los individuos corren o andan, lo que sitúa su discurso en el nivel 2, por ejemplo, Luis, L.35.1, “*las pegadas están aquí más separadas*”.

Finalmente, el nivel 3 se logra ya al comienzo de la sesión, pues es el momento en que Luis analiza el comportamiento de los individuos de forma aislada. Consideramos que este es el máximo nivel desarrollado por los estudiantes de este grupo, aunque hacia el final de la sesión la investigadora establece un diálogo con estos estudiantes en la que proporciona demasiada información, lo que promueve que Mariña (t.127) genere un argumento que se situaría en el nivel 4.

Por último, el grupo N alcanza el nivel 5. La progresión en el desempeño hasta ese nivel se debe a que han sido capaces de discutir a qué tipos de organismos pudieron corresponder las huellas, llegando a identificarlas como huellas de dinosaurios; han justificado la velocidad de los individuos por la distancia entre las huellas y, en el momento de argumentar sobre el comportamiento de los animales siempre los han tenido en cuenta de forma conjunta, por lo que han integrado ambos conjuntos de contenidos para dar una explicación conjunta. Esto último es lo que nos indica el desempeño del nivel 4, como se ve en el turno de Nuria, t.179, “*Éste acechó al pequeño pero el pequeño no vio al grande, pero el grande lo acechó y fue a por él*”.

La diferencia entre el grupo N con los grupos G y H es que las integrantes del N fueron capaces de discutir qué hipótesis de entre las planteadas se adecuaba más a

los datos de lo que disponían, por lo que consideramos que han desempeñado hasta el nivel 5. En el grupo N se propusieron tres hipótesis, de las cuales dos fueron rechazadas tras un análisis individual, quedando como aceptada la hipótesis 3:

1. ‘que se quedara muerto’ (Noemí, t.27) → ‘quedarían ahí marcas’ (Noa, t.29)
2. ‘que el pequeño echase a volar’ (Nicola, 50) → ‘no, si es un dinosaurio’ (Nuria, t.254)
3. ‘que se lo comiera’ (Nicola, t.25)

Para terminar con este subapartado cabe mencionar que ningún grupo alcanzó el nivel 6, lo cual fue debido a que no se plantearon qué datos necesitarían para corroborar alguna de sus hipótesis o bien para formular alguna alternativa diferente. Un ejemplo de respuesta esperada en el nivel 6 sería ‘si conociésemos la profundidad de las huellas en el TRAMO 1 y el 5 podríamos inferir si el dinosaurio grande llevaba a otro encima’. De modo que, el nivel máximo desarrollado por el conjunto de estudiantes analizados fue el 5.

6.3.2. Niveles de desempeño en 1º de bachillerato del “uso de pruebas”

En el caso del discurso argumentativo de 1º de bachillerato hay que realizar dos salvedades con respecto a la consideración de los niveles de uso de pruebas establecidos en la tabla 3.6, que se puede ver en la metodología. La primera salvedad consiste en que todos los grupos tienen en cuenta que son dos dinosaurios, lo cual puede ser debido a que se percaten de que hay dos tipos de huellas en la placa o bien al hecho de que previamente hayan empleado dos dinosaurios para elaborar su secuencia de icnitas. La segunda salvedad se debe a que consideramos que algunos de estos grupos no hacen explícita la velocidad de los dinosaurios mencionando la distancia o el ángulo entre huellas, ya que tuvieron que emplear estos parámetros en la construcción de los datos, de modo que consideran trivial el tener que reforzar sus argumentos con esta información. Dicho esto, a continuación se describen las razones que nos llevan a incluir a cada

grupo en sus niveles máximos de desempeño (tabla 6.17), no obstante ningún grupo se situará entre los niveles 1 y 2 por las razones que se acaban de comentar.

Tabla 6.17. *Capacidades desarrolladas por cada grupo, en 1º de Bac., durante la realización de la actividad, implicadas en la dimensión “uso de pruebas”, indicando mayor el nivel de desempeño de cada grupo.*

Grupo	Son capaces de...	Nivel
	formular posibles argumentos o justificaciones si hubiese datos procedentes de otras fuentes.	6
J	elegir la hipótesis (conclusión) más adecuada basándose en los datos y pruebas disponibles (turnos:)	5
N A	inferir el comportamiento de los dinosaurios de forma conjunta, a partir del patrón de huellas de ambos (GRUPO N: turnos 47, 54, 93) (GRUPO A: turnos 12, 15, 25-26, 51)	4
B	inferir el comportamiento individual de los dinosaurios a partir del patrón de huellas. (turnos: 22, 26, 46, 56, 58, 61, 68, 76, 78)	3
	reconocer la velocidad relativa de los dos dinosaurios (grande y pequeño) según la distancia entre las huellas.	2
	identificar dos individuos por simple observación. Atribuir el tamaño de las huellas al tamaño relativo de los dinosaurios (grande y pequeño).	1

En primer lugar consideramos al grupo B por ser el que alcanzó el menor nivel de desempeño en el uso de pruebas, el nivel 3. Aún así, previamente desarrolló el nivel 1, hacer explícito que había dos dinosaurios, y el nivel 2 en el momento en que indican:

Benjamín t.47 “[Dinosaurio A] considerado o dos pasos cortos”

Bruno t.56 “[Dinosaurio B] considerado o das pegadas pequenas e pasos longos”

En ambas intervenciones lo que ponen de manifiesto es que consideran distancia entre huellas como referencia para indicar la velocidad relativa de los dinosaurios, lo que les sitúa en el nivel 2. No obstante, el mayor nivel que han desarrollado es

el nivel 3, pues han sido capaces de describir el comportamiento de ambos dinosaurios pero de forma independiente, por ejemplo: “[dinosaurio A] *iba caminando tranquilamente*” (Benxamín, t.23), “*aquí é onde este se bota a correr*” (Benxamín, t.45), es decir, que no analizan el comportamiento de ambos individuos de forma conjunta, lo cual es todavía más visual en la figura 6.15, en la cual presentan dos argumentos independientes, uno para cada individuo. Esto es un indicativo de que no son capaces de interpretar un conjunto de datos en dos patrones, que sería lo que requiere el nivel 4.

En cuanto al grupo A, es importante resaltar que no mantienen ninguna intervención explícita que se pueda situar en los niveles 1 y 2, no obstante, como ya se ha explicado, consideraremos que han desempeñado ambos niveles. Si presentan intervenciones en las que muestran el nivel 3 de desempeño, es decir, cuando analizan cada dinosaurio por separado, aunque no son muy numerosas, pues durante el discurso suelen referirse a las acciones de los dinosaurios de forma conjunta, como es el caso de Águeda, t.12, “*pues que uno viene por aquí y el otro por aquí*” o Aurea, t.51, “*despois cada un bota a correr para un lado*”. Las cuales son intervenciones que nos muestran la capacidad de estas alumnas para interpretar ambos patrones de huellas de forma conjunta, o lo que es lo mismo, que alcancen el nivel 4 de desempeño del uso de pruebas.

En el mismo nivel que el grupo A se encuentra el grupo N pues, al igual que las anteriores, han sido capaces de describir el comportamiento de ambos dinosaurios simultáneamente, ejemplos de ello son las intervenciones de Néstor, t.47, “*iban caminando por unha zona*”, Noe, t.54 “*Xuntáronse e aquí pelexaron*” y Néstor, t.93, “*E desta vez foi definitivo porque o dinosaurio B non avanza máis e o dinosaurio A marcha*”. En todas estas intervenciones, se muestra como comentan el comportamiento de ambos individuos, aunque la acción que estén realizando sea diferente, como ocurre en la última intervención.

Finalmente, el grupo J es el que desarrolla el mayor nivel de uso de pruebas de los cuatro grupos analizados. Aún así, al comienzo de la tarea las intervenciones tienen en cuenta únicamente a cada dinosaurio de forma individual, hasta que no

logran esclarecer cuáles pudieron ser los hechos. Esto no es de extrañar, pues en la secuencia el único momento en que ambos individuos realizan una acción de forma conjunta es en el tramo 2, con las huellas entremezcladas, lo cual dificulta el tratamiento de ambos individuos conjuntamente. Pese a ello Juana, t.60, es capaz de interpretar el conjunto de las huellas “*Hai un dinosaurio A e un dinosaurio B. Entra un dinosaurio e había outro xa. Porque non hai pegadas de que o outro entrara, así que o foi buscar. Viuno, oletea a súa comida*”, de modo que consideramos que alcanzan en nivel 4 de uso de pruebas. Como se ve en la tabla 6.17, el máximo nivel en la capacidad uso de pruebas es el 5, debido a que son capaces de proponer tres hipótesis alternativas a qué pudo ocurrir en esa secuencia:

1. Juana t.62 “*Entra, da unas voltas arredor del, cómeo e pírase*”
2. Jacinta t.143 “*igual a presa pasou por diante do dinosaurio*”
3. Josefa t.175 “[dinosaurio de huellas grandes] *murió porque no era su hábitat*”

No aceptan la primera hipótesis porque sale el de huellas pequeñas que ellas consideran presa, por lo que una presa no se va a comer a su depredador. La segunda tampoco les convence, pues parece absurdo que una presa se acerque tanto a su depredador. Por lo tanto, debido a la falta de datos más concretos, optan por la alternativa que menos las compromete, es decir, el dinosaurio de huellas grandes “no dio sobrevivido” por que no era su hábitat.

6.4 Discusión y conclusiones parciales sobre la argumentación y el uso de pruebas.

En este apartado se pretende dar respuesta al segundo objetivo de investigación *Caracterizar el proceso de argumentación de los estudiantes y su desempeño de la dimensión “uso de pruebas”*, tratando de dar respuesta a las dos preguntas de investigación que derivan del mismo. La organización de este apartado comienza con una síntesis de las conclusiones que derivan de ambos niveles educativos,

para después centrarnos en las conclusiones específicas, primero dando respuesta a la tercera pregunta y después a la cuarta pregunta de investigación de este estudio.

Atendiendo a la pregunta de investigación, *¿Cómo relacionan los datos y las pruebas que emplean en los argumentos?*, de un modo global, podemos concluir que los estudiantes ha relacionado los datos visuales, es decir, las representaciones de icnitas, con las pruebas durante el proceso de argumentación.

En primer lugar, la interpretación de las secuencias de icnitas, en ambos niveles educativos, se ha realizado de forma adecuada pues han establecido los principales tramos, lo cual nos indica que extrajeron los datos más relevantes de las mismas. Si bien es cierto, la división de las secuencias presentaba mayor simplicidad en “las icnitas de Soria”, mientras que en el caso de las historietas elaboradas por los alumnos de 1º de bachillerato, la división fue bastante más compleja, quizás por el hecho de presentar mayor realismo al estar representadas en una placa de arcilla, en lugar de impresas en papel. De hecho, el único grupo que, a nuestro juicio, no ha identificado los tramos principales de la secuencia, fue el grupo N de 1º de bachillerato. En el establecimiento de estos tramos, todos los grupos emplearon como justificación la cinemática de las huellas, aplicando la distancia de las mismas para determinar la velocidad relativa de los dinosaurios.

La transformación de los datos en pruebas, que han realizado durante el proceso de argumentación, ha tenido un porcentaje bastante alto, es decir, que en 6 de los 8 grupos analizados, el porcentaje de pruebas suficientes y adecuadas a los datos ha sido superior al 70%, exceptuando el caso del grupo G con un 64% y el L con un 33%, ambos en 4º de ESO. Una de las razones por las que consideramos que esto ha tenido lugar, es porque en ambos grupos hay un tipo de discurso considerado ‘acumulativo’ considerando a Wegerif y Mercer (1997). Este tipo de discurso consiste en que los estudiantes que conforman un grupo comparten la información pero no la cuestionan, por ello, aunque empleen pruebas, si estas no son juzgadas por sus compañeros no mejoran, o lo que es lo mismo, no serán

respaldadas por conocimientos básicos, por lo que un alto porcentaje de sus pruebas serán insuficientes e inadecuadas.

Con respecto a las pruebas incluidas en las justificaciones, los datos que se muestran en la tablas 6.1 y 6.11, 4º ESO y 1º de bac. respectivamente, nos permiten concluir que no un mayor uso de pruebas es sinónimo de mayor suficiencia y adecuación en las mismas. Ejemplo de ello ha sido el grupo G y el J, los cuales pese a haber empleado el mayor número de pruebas de sus respectivos cursos educativos, no han empleado el mayor porcentaje de pruebas que cumpliesen los criterios de suficiencia y adecuación.

Gracias al análisis del discurso argumentativo hemos podido establecer los argumentos globales de cada uno de los grupos, los cuales están conformados por varios subargumentos. Los grupos han sido capaces de co-construir argumentos para cada uno de los tramos en que dividieron las huellas de los dinosaurios. No obstante, algunos de estos subargumentos únicamente presentan la conclusión y los datos a los que hacen referencia. En opinión de autores como Zohar y Nemet (2002) la presencia de una conclusión sin justificación no constituye un argumento. En cambio, nosotros coincidimos con Schwarz et al. (2003) y con Puig (2013) en que las conclusiones precedidas por unos datos sí son conclusiones, aunque con un nivel de calidad bajo.

Podemos concluir que el uso de justificaciones en los subargumentos ha sido mayor en los estudiantes de 4º de la ESO que en los de 1º de bachillerato, lo cual adquiere sentido si consideramos que los estudiantes de 1º de bachillerato habían representado previamente una secuencia de icnitas, de modo que durante esa representación ya habían hecho explícitas las pruebas necesarias para interpretar si un dinosaurio iba andando, corriendo, etc. En cambio, en el caso de 4º de ESO, los estudiantes se enfrentaban por primera vez a una interpretación de icnitas, lo que favoreció que hiciesen explícitas sus justificaciones para dar validez a sus conclusiones. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Kelly, Druker y Chen (1998) en cuanto a que los estudiantes terminan la tarea sin justificar algunas de sus conclusiones; para lo cual estos autores concluyen que si un

estudiante siente que su compañero entiende un concepto que se está empleando, es probable que no considere necesario hacer explícita la justificación. Además, relacionamos estas conclusiones con el hecho de que haya una carencia en el uso de conocimientos básicos, es decir, de afirmaciones con las que respalden sus justificaciones, precisamente por el mismo motivo, en otras palabras, los estudiantes podrían considerar trivial el hecho de hacerlos explícitos.

En el momento de analizar la adecuación y suficiencia de las pruebas, se hace importante el conocer si todas ellas, cumplan o no estos criterios, son las pruebas que respaldan las conclusiones en los subargumentos, o si incluso apoyan a la conclusión final; pero no fue así. Los argumentos globales de los diferentes grupos se han reconstruido empleando aquellas intervenciones que representan la conclusión escrita que se les pedía al finalizar la tarea. De tal manera que si prestamos atención a estos argumentos, se ve que casi todas las pruebas que emplean como justificación cumplen los criterios de suficiencia y adecuación.

Otros elementos de gran importancia durante el proceso de argumentación han sido la presencia de contraargumentos y de refutaciones, los cuales, como se ha comentado en el marco teórico, son muestra de la calidad de la argumentación (Erduran et al, 2004). En cuanto a los contraargumentos destaca la falta de los mismos, puesto que sólo 4 grupos han sido capaces de establecer contraargumentos, esto es, argumentos alternativos al principal pero en los que se emplean las mismas pruebas. De hecho aunque cuatro grupos propusieran contraargumentos dos de ellos, el G y el H de 4º de ESO, los hacen una vez establecido el argumento principal, de modo que no los valoran ni los discuten. En cambio los otros dos grupos, N de 4º ESO y el J de 1º de bachillerato, propusieron dos contraargumentos al argumento principal y los discutieron, lo cual muestra un nivel de complejidad mayor y, por lo tanto, un mejor desempeño. En cuanto a las refutaciones, todos los grupos han sido capaces de establecer al menos una refutación, aunque en algunos casos fueron muy débiles y no se mostraron en el argumento global. Cabe destacar que las refutaciones que aparecieron durante el discurso, en ambos niveles educativos, constituyen realmente condiciones de

refutación, es decir, muestran aquellas circunstancias en las que la conclusión no se cumpliría (Toulmin, 1958), pero sin invalidar directamente a las pruebas que apoyan el argumento. La única refutación en sentido estricto que se ha identificado es la del grupo N de 4º de ESO, cuando Noa, t.255, remarca que los dinosaurios también volaban.

Los grupos que alcanzan mayor calidad en la argumentación, es decir, aquellos que emplearon un mayor número de refutaciones y formularon contraargumentos, presentan un discurso “exploratorio” (Wegerif y Mercer, 1997) o de “negociación” (Evagorou y Osborne, 2013), que hace referencia a que los integrantes actúan de forma crítica pero constructiva, elaborando conclusiones apoyadas en justificaciones. Los dos grupos que han manifestado este tipo de interacción han sido el grupo N, de 4º de ESO, y el grupo J, de 1º de bachillerato. Ambos grupos estaban constituidos por chicas, las cuales cuestionaron de forma continua las justificaciones y argumentos de sus compañeras, lo que contribuyó notablemente a que tuviesen que reforzar sus argumentos con pruebas y con conocimientos básicos, así como a favorecer la presencia de refutaciones y de contraargumentos. Lo cual también coincide con la opinión de Kuhn (2005), de que para que se establezca un diálogo argumentativo debe haber desacuerdo entre los participantes.

La actividad “Las icnitas de Soria” (4º ESO) fue implementada en otros contextos de forma previa a la realización de este estudio. En esa primera experiencia (Blanco Anaya y Díaz de Bustamante, 2014) los grupos analizados adquirieron una mayor calidad de la argumentación, pues los cuatro grupos, propusieron hipótesis alternativas (contraargumentos) y varias refutaciones. Suponemos que la variación en la calidad se debe en gran medida a la docente implicada, quien apenas intervino ni dio pautas a los estudiantes para que estos resolvieran la actividad. En cambio, al llevar a cabo esta actividad en el marco de esta tesis, los docentes priorizaron el que los grupos establecieran los tramos en la secuencia, lo que implicó que le dedicasen un tiempo considerable a esta cuestión, en lugar de

emplearlo en la argumentación sobre qué pudo ocurrir en esa secuencia de pisadas.

Una conclusión que surge de los datos obtenidos tras el análisis de la actividad “¿Quiénes fueron los protagonistas?” de 4º de ESO, procede de la estrategia de los estudiantes durante la resolución de la misma. De los datos proporcionados: datos temporales (etapa geológica de las icnitas y intervalos geocronológicos en que vivió cada dinosaurio), tamaño y peso de los dinosaurios y el tipo de alimentación de los mismos; los estudiantes comienzan empleando los datos que les resultan familiares en sus primeros argumentos, estos son, el tamaño y el peso, junto con el tipo de alimentación. A medida que progresan en el discurso, se percatan de que esos datos por sí solos no les permiten llegar a una conclusión, por lo que integran el dato temporal. El único grupo capaz de emplear el dato temporal ya en las primeras intervenciones fue el grupo N, en el turno 14, Nuria hace uso de esos datos. Debido a ello, concluimos que los estudiantes avanzan desde los datos conocidos a los desconocidos, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por Grotzer y Basca (2003) o Bravo (2012), cuyos estudiantes focalizan su atención en los eventos concretos y activos, como el hecho de que un dinosaurio se coma al otro lo cual implica una relación de carnívoro-herbívoro, en lugar de prestar atención a los eventos abstractos y pasivos, es decir, los datos temporales. Los motivos por los que esto pudo ocurrir son dos: a) el que hayan tenido que interpretar primero la secuencia de icnitas ha condicionado el uso del tamaño de los dinosaurios y han concluido que la relación entre ellos es de depredador-presa, lo cual concuerda con el hecho de que uno sea carnívoro y el otro herbívoro (aunque esto no sea estrictamente necesario en la naturaleza); y b) existe una amplia literatura en la que se pone de manifiesto que los estudiantes presentan dificultades a la hora de manejar los datos que conciernen al tiempo geológico (Pedrinaci, 2001; Burton y Mattiotti, 2011).

Los resultados obtenidos de la construcción de los datos en la primera parte de la actividad “Historieta de icnitas” (1º de bachillerato), han puesto de manifiesto que los estudiantes prestan mucha atención a la elaboración de los datos, otorgándoles

validez, de modo que han sido interpretados por sus compañeros de forma adecuada. En este caso sale a la luz otra dificultad asociada al contenido empleado en la actividad, ya que como se ha comentado en los resultados, la precisión con la que trataron de crear una escena de icnitas ha llevado a Águeda a proponer un contexto en que las huellas de los dinosaurios permaneciesen. Entonces, ella propone la arena de playa, que es un sustrato sedimentario, aunque con poca consistencia como para que perduren las huellas hasta ser fosilizadas. Esto muestra una falta de conocimiento sobre el proceso de formación de icnitas del conjunto de alumnos del grupo A, por no saber refutar la idea de Águeda.

Para finalizar con las conclusiones vinculadas al proceso de argumentación, hay que tener en cuenta las limitaciones que presenta la aplicación del esquema de argumentación de Toulmin puesto que, una vez resuelto el problema de la complejidad de la estructura del argumento mediante el uso de argumentos subsecuentes (Kelly y Takao, 2002), nos surgió la dificultad asociada a la identificación de las conclusiones, justificaciones y demás elementos argumentativos, por el hecho de que los comentarios realizados por los estudiantes pueden ser clasificados en diferentes categorías, lo cual ya ha sido previamente destacado por autores como Sampson y Clark (2008) y Kelly, Druker y Chenn (1998), entre otros.

En cuanto a la otra pregunta de investigación, *¿Qué niveles de desempeño de la dimensión “uso de pruebas” son desarrollados por los estudiantes?*, los 6 niveles de desempeño para “uso de pruebas” establecidos por PISA (OCDE, 2008) han sido adaptados a los requerimientos de las actividades, cuya resolución se analizó en este capítulo. Dicha adaptación ha sido idéntica para ambos cursos educativos, aunque ha presentado bastantes complicaciones, sobre todo porque los niveles PISA mantienen una noción matemática del ‘dato’, es decir, más cuantitativa, mientras que los datos que los estudiantes deben manejar en estas actividades son cualitativos.

En las rúbricas empleadas para este análisis (tablas 6.16 y 6.17), se muestra que ninguno de los grupos ha desempeñado el nivel 6, el cual requería que fuesen

capaces de identificar otros datos necesarios para corroborar algunas de las hipótesis planteadas. Sin embargo, dos grupos han mostrado un desempeño del “uso de pruebas” que los sitúa en el nivel 5, éstos han sido el grupo N y J, 4º ESO y 1º bachillerato respectivamente, es decir, aquellos grupos cuya argumentación ha mostrado ser de mayor calidad. Esto no es de extrañar si tenemos en cuenta que con esta rúbrica lo que se trata es de medir el nivel de competencia de los estudiantes ante el uso de pruebas. Estas pruebas forman parte de las justificaciones, de modo que más justificaciones implica mejoras en el uso de pruebas, así como de más argumentos que sustentar, generando contraargumentos.

En el nivel de desempeño 4, se encuentra la mayor parte de los grupos (G y H, de 4º ESO, y N y A, de 1º de bac.). En este caso, los estudiantes han sido capaces de proponer subargumentos en los que las acciones de los dos dinosaurios eran analizadas de forma conjunta, demostrando que podían analizar de forma simultánea dos patrones de datos.

Por último, en el tercer nivel de esta capacidad se encuentra en los grupos L, de 4º de ESO, y el N, de 1º de bachillerato. Pues como observa en sus argumentos globales, presentan subargumentos específicos para cada uno de los dinosaurios, es decir, que no integraron ambos patrones de datos.

No obstante, los niveles que se acaban de indicar corresponden con los de mayor capacidad de desarrollados por cada grupo. Aunque el proceso de uso de pruebas fue progresivo, de modo que hubo intervenciones en las que los niveles de competencia eran inferiores y fueron evolucionando, especialmente en aquellos grupos que negociaron sus respuestas tratando de escoger entre las alternativas que satisfacían las opiniones de cada uno de sus integrantes.

Como la argumentación es un proceso social, el desarrollo de esta competencia se consigue trabajando en grupos en los que todos sus integrantes puedan participar. Asimismo, el tipo de interacción que se establezca entre las personas que intervengan en un proceso argumentativo es crucial para la calidad y complejidad del mismo, como han indicado Evagorou y Osborne (2013). Lo cual ha quedado reflejado en estos resultados según los cuales, aquellos grupos capaces de discutir

los datos interpretados y las pruebas aportadas han precisado de refutaciones y contraargumentos elevando notoriamente su calidad de argumentación y, por consiguiente, su nivel de desempeño del “uso de pruebas”.



CAPÍTULO 7

LA ARTICULACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE MODELIZACIÓN Y ARGUMENTACIÓN

7.1 Introducción

En este último capítulo de resultados se aborda el análisis conjunto de las prácticas de modelización y argumentación, con el fin de dar respuesta al tercer objetivo: *Examinar cómo se articulan las prácticas de modelización y argumentación*, el cual hemos concretado en las siguientes preguntas de investigación:

1. *¿Qué modelos emplean los estudiantes en sus justificaciones?* La tarea propuesta tiene como propósito que éstos reorganicen un conjunto de datos, o piezas de información, para modelar un fenómeno (el sinclinal del Courel), que sea acorde a los datos. Para ello, el alumnado deberá integrar sus modelos teóricos en las justificaciones con las que conectar los datos proporcionados con sus conclusiones.
2. *¿Cómo contribuye el proceso de argumentación a que los estudiantes cambien su modelo?* Una de las finalidades de la argumentación es el persuadir a la audiencia, lo cual puede contribuir a que, durante el trabajo en grupo, los estudiantes negocien sus modelos.

La importancia de abordar estas cuestiones se justifica por dos motivos: 1) la literatura ha manifestado la relación que existe entre ambas prácticas científicas, y 2) a la escasa investigación encontrada destinada al análisis de la interrelación entre ambas prácticas, modelización y argumentación, en un contexto real de aula, como se indica en el apartado 2.5 del marco teórico.

Con el fin de dar respuesta a las preguntas de investigación, se examina el proceso de resolución que siguen los estudiantes de 1º de bachillerato durante la tarea “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?” (ver apartado 4.4.2). El planteamiento de esta actividad requiere que los estudiantes tengan que manejar varias piezas de información en diferentes formatos (noticias de prensa, datos geocronológicos y descripciones de fósiles), haciendo uso de sus modelos relacionados con la formación de un sinclinal (tectónica de placas, sedimentación, fosilización y principios estratigráficos), para generar una explicación adecuada a cómo es y cómo se formó el sinclinal de O Courel. Por lo que, como en cualquier desarrollo de una historia geológica, debemos tener presentes dos tipos de explicaciones:

1. Explicación sobre la composición geológica del sinclinal de O Courel, para lo cual los estudiantes deben ser capaces de identificar los patrones que subyacen en los datos lo que permitirá establecer tanto el orden de los estratos como su edad y composición. Para ello precisarán tener conocimientos sobre la geocronología y la superposición de los estratos.
2. Explicación acerca de cómo se formó este plegamiento, lo cual requiere que extraigan datos de la noticia de prensa y empleen los modelos de tectónica de placas y de plegamiento de los estratos. O lo que es lo mismo, elaboración de una explicación de tipo *causal*, que se caracteriza por proceder de la inducción de las causas que subyacen en un fenómeno a partir de los patrones de datos (Braaten y Windschitl, 2011), es decir, deben proporcionar las causas que llevaron a la formación del sinclinal de

O Courel, incorporando en sus explicaciones las pruebas que proceden del conjunto de datos.

Con ambas explicaciones, lo que se espera es que los estudiantes sean capaces de reconstruir la historia geológica del Sinclinal de O Courel. Para el análisis se ha elaborado esta reconstrucción de referencia:

“A comienzos y mediados del Paleozoico hubo una fase de sedimentación en la cuenca oceánica que estaba situada entre los dos grandes continentes: Gondwana y Laurasia. Tras esta fase de sedimentación, se formaron los estratos que datan de diferentes periodos del Paleozoico:

- 1. Cámbrico: predominan los esquistos con intercalaciones de calizas en las que encontramos fósiles de Archaeocyatha.*
- 2. Ordovícico: la litología es la misma que en el Cámbrico, pero los fósiles presentes en las calizas corresponden a Didymograptus. Estos dos materiales presentan una potencia de 12000 metros.*
- 3. Silúrico: las rocas que predominan son pizarras, en las que se encuentran fósiles de Monograptus, con una potencia de 3000 metros.*
- 4. Devónico: predominan las calizas, donde se encontraron fósiles de braquiópodos, de potencia indeterminada.*

A comienzos del Carbonífero (orogenia Hercínica), la aproximación de las placas litosféricas originó el choque de los continentes Gondwana y Laurasia provocando el levantamiento y plegamiento de los sedimentos que hoy constituyen el sinclinal de O Courel. Esto explica la aparición de fósiles marinos en las montañas de esta sierra.”

El hecho de que tengan que articular datos con sus modelos hace de esta actividad una herramienta potencialmente útil para que los estudiantes trabajen simultáneamente las prácticas de modelización y de argumentación. La relación que se establece entre ambas prácticas científicas se analiza en los siguientes apartados, comenzando por una visión general de cómo integran los modelos en las justificaciones, para después centrarnos en cómo el proceso de argumentación contribuye a la evolución de los modelos de los estudiantes a lo largo de la explicación del sinclinal de O Courel.

7.2 La integración de modelos en las justificaciones para generar una explicación

A lo largo del proceso de generación de explicaciones se favorece en varias ocasiones el uso de la argumentación (Duschl, 2003, en Duschl y Ellenbogen, 2009), especialmente por ser una resolución de la tarea en grupos. En el caso concreto de esta actividad, los argumentos juegan un papel 1) en la selección de los datos que tendrán relevancia para la explicación de la formación de dicho sinclinal, 2) en el establecimiento de patrones de datos, en especial aquellos datos que caracterizan a cada uno de los estratos, 3) en el uso y la evaluación de los modelos empleados durante la explicación y 4) en la justificación de por qué esa explicación es adecuada en cuando a los datos disponibles. Como se puede ver, estos momentos están relacionados con el continuum desde la transformación de los datos hasta la generación de explicaciones, ya descrita en el apartado 2.3.

Para dar respuesta a la pregunta *¿Qué modelos emplean los estudiantes en sus justificaciones?* se han identificado los argumentos elaborados por cada grupo, independientemente del nivel de complejidad, por ello también se han tenido en cuenta las justificaciones y las conclusiones aisladas. En segundo lugar se han inferido los modelos auxiliares, es decir, los modelos teóricos que los estudiantes emplean para respaldar sus justificaciones. Para simplificar la denominación de estos modelos auxiliares se han agrupado, en la tabla 7.2, aquellos que son aplicados por los estudiantes en la resolución de esta tarea y, para cada uno, se indican los criterios empleados en el análisis para determinar su uso, junto con un ejemplo de identificación.

Tabla 7.2. Modelos empleados en la resolución de la actividad “¿Cuál es la verdadera historia del Sinclinal de O Courel?”, indicando los criterios a tener en cuenta para determinar su uso por los estudiantes y ejemplos.

MODELO AUXILIAR	CRITERIOS	EJEMPLOS
Superposición de los estratos	M1 Ordenar los estratos según su posición relativa	Bruno, t.11: “ <i>entonces pon los abaixo, son los más viejos</i> ” Narciso, t.49: “ <i>Empezamos do máis antigo ao máis novo</i> ”
Geocronológico	M2 Colocar los fósiles según su cronología Colocar los estratos según su cronología Asociar cada fósil a un estrato.	Breixo, t.57: “ <i>O máis antigo pertence ao Cámbrico</i> ”
Tectónica de placas	M3 Explicar el levantamiento del material por el movimiento de las placas	Juana, t.354: “ <i>O choque de placas foi o que dou lugar a Galicia</i> ”
Erosión	M4 Retirada de material por agentes geológicos externos	Antón, t.95: “ <i>Porque a erosión que se produce no medio, tanto a auga coma o vento, eliminaron aos estratos máis recentes</i> ”

Comenzando el grupo A, cabe indicar que sus integrantes han limitado la resolución de este problema a indicar las etapas en las que ha transcurrido la formación del sinclinal y los fósiles que en él aparecen, pero no integran los datos, de modo que no caracterizan los diferentes estratos que componen el sinclinal, sino que simplemente recogen toda la información que consideran importante en el documento escrito. En este grupo Antón fue el encargado de proporcionar respuesta a la actividad, mientras que sus compañeras hablaban sobre cuestiones ajenas al problema. Es por ello que disponemos de pocas intervenciones en las que se muestre cómo Antón abordó la tarea, lo que nos ha llevado a considerar el documento escrito:

“A formación desta serra transcurriu hai 350 millóns de anos, polo que pertence ó Paleozoico e dentro desta cara o principio, incluíndo o Devónico, Silúrico, Ordovícico e Cámbrico. Os estratos deste pregamento están formados por esquistos con intercalacións de caliza que pertencen ó Ordovícico e Cámbrico, nos seguintes estratos aparecen pizarras pertencendo ao Silúrico, logo no Devónico aparecen calizas. Respecto os fósiles atopados nesta época son: Didymograptus, pertence o Ordovícico. Archaeocyata, Cámbrico inferior. Braquiopodos, Cámbrico e Devónico. Monograptus, Silúrico”

El este informe escrito se observa que no han establecido relaciones entre los conjuntos de datos.

Los integrantes del grupo A únicamente hicieron explícito el uso del modelo de ‘erosión’ durante el desarrollo del argumento con el que dar respuesta a la pregunta final, *¿Por qué no quedaron registrados más datos después del Devónico?*. El alumno que generó este argumento (figura 7.1) fue Antón en los turnos 92 y 93, empleando el modelo de ‘erosión’, tanto en la conclusión como en el conocimiento básico.

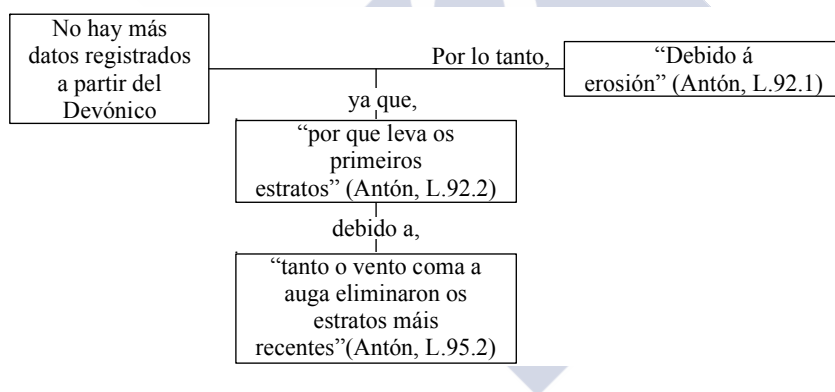


Figura 7.1. Esquema del argumento elaborado por Antón en el que emplea el modelo de ‘erosión’.

En el grupo B, sí se aprecia un tratamiento de los datos en la explicación del sinclinal. No obstante, esta explicación hace referencia únicamente a la composición geológica del sinclinal, al igual que el grupo A. Aunque en este grupo sí integran los datos, caracterizando a cada estrato, lo cual pone de manifiesto que aplicaron dos modelos auxiliares. Así, el primer modelo que emplean es el de ‘superposición de los estratos’ de forma conjunta con el ‘geocronológico’, lo cual les sirve para establecer un patrón en los datos,

ordenando los fósiles de más antiguos a más recientes, como se ve en el argumento que se muestra en la figura 7.2.

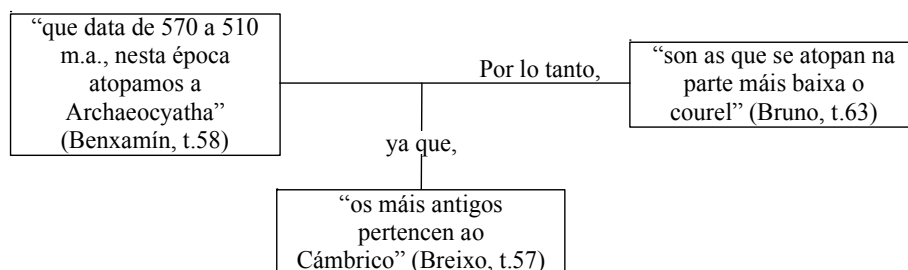


Figura 7.2. Esquema del argumento elaborado por el grupo B en el que integran el modelo de ‘superposición de los estratos’ y el ‘geocronológico’.

Estos alumnos fueron capaces de establecer las características de cada uno de los estratos que componen el sinclinal, para lo cual emplearon los datos y aplicaron los modelos de ‘superposición de los estratos’ y ‘geocronológico’. Este grupo ordena los periodos, para a cada uno atribuirle un fósil característico y el tipo de roca predominante, como se muestra a continuación:

<u>Cámbrico</u>	Breixo	t.57	“Ponlle o máis antigo pertence ao Cámbrico”
	Benxamín	t.58	“O máis antigo foi o cámbrico que data de 570 a 510 millón de anos. Bien. Nesta época atopamos ás Archaeo..”
	Bruno	t.63	“Y le pongo que son as que se atopan na parte máis baixa do Caurel”
<u>Ordovícico</u>	Benxamín	t.69	“Logo veu o Ordovícico que abarca 510-438 millóns de anos”
	Benxamín	t.71	“Didymograptus, que eran animais coloniais mariños, os seus fósiles se preservan en pizarras e arxilas”
<u>Silúrico</u>	Bruno	t.82	“O seguinte periodo foi...”
	Benxamín	t.83	“O Silúrico”
	Breixo	t.88	“430-408, monograptus”
<u>Devónico</u>	Benxamín	t.92	“Logo o devónico”
	Benxamín	t.94	“408-360”

Benxamín t.110 “[Braquiópodos] *Pon que apareceu no Cámbrico, pero a súa máxima extensión foi durante o Devónico*”

Las integrantes del grupo J han hecho uso de los modelos comentados anteriormente en el orden que se comenta a continuación. En el momento de enfrentarse a la tarea las alumnas han empleado en primer lugar el modelo de la ‘tectónica de placas’, con el que tratan de determinar qué datos son relevantes para elaborar la historia geológica, dando prioridad a la información contenida en la noticia de prensa. Este modelo ha sido abordado de dos formas diferentes, constituyendo así dos argumentos opuestos:

Juana t.9. *“Esto antes no estaba junto. Estaba dividido en dos partes y lo que las separaba, que luego al final se acabaron uniendo es lo que quieren hacer...”*

Josefa t.10 *“No. Estaba unido el continente de Laurasia y de Godwana y había un mar. Bueno pues al separarse los continentes es cuando se empezó a formar el territorio de lo que actualmente es Galicia y esta [el sinclinal] es una prueba de que se separaron”*

En este extracto se ve cómo Juana es quien interpreta de forma adecuada la información contenida en la noticia de prensa, aún así, Josefa la rechaza con un contraargumento, en el que explica cómo se formó Galicia empleando el modelo de ‘tectónica de placas’ incorrectamente. Aunque ninguna de sus compañeras lo refuta, en una conversación que mantienen a posteriori es la propia Josefa que se percata de que no había interpretado de forma correcta esa información *“espera, porque aquí pone que hace más de 350 millones de años Galicia no existía, estaba separada en dos partes...”*, por lo que Julia, t.66 concluye que *“el plegamiento es la unión de los dos”*.

Esclarecida la disposición inicial de los continentes, empiezan a interpretar los datos contenidos en las fichas de los fósiles y en las tablas, momento en el que aplican el modelo ‘geocronológico’, cuando Julia, t.103, indica *“hay que empezar por abajo”*, lo cual Jacinta, t.122, relaciona con el océano que separaba a ambos continentes: *“había un océano e estas cousas non estaban todas iguais, unas viñeron antes e outras despois”*, lo que Josefa, t.123, puntualiza añadiendo

“según la época”, en donde muestra que Josefa está empleando el modelo ‘geocronológico’. A partir de ahí son capaces de establecer patrones entre los datos, para caracterizar así a los estratos que conforman en sinclinal:

<u>1º estrato</u>	Juana	t.184	<i>“A principios do Cámbrico había un océano onde se atopaban os Archaeocyatha”</i>
	Josefa	t.185	<i>“grupo de animais mariños”</i>
	Julia	t.188	<i>“fossilizados nas rochas calcáreas”</i>
<u>2º estrato</u>	Jacinta	t.215	<i>“co paso dos anos, entrando nunha nova etapa, Ordovícico”</i>
	Jacinta	t.224	<i>“presérvanse os fósiles”</i>
	Jacinta	t.226	<i>“Didymograptus, nas pizarras e arxilas”</i>
<u>3º estrato</u>	Josefa	t.238	<i>“Silúrico vai de 438-408”</i>
	Jacinta	t.250	<i>“Si, 30 millóns de anos despois”</i>
	Jacinta	t.252	<i>“os Monograptus”</i>
	Jacinta	t.265	<i>“Fossilizados nas pizarras”</i>
<u>4º estrato</u>	Julia	t.282	<i>“Na etapa do Devónico”</i>
	Jacinta	t.283	<i>“os máis recentes”</i>
	Josefa	t.284	<i>“No, estos son... estamos antes de que se formara o Courel”</i>
	Juana	t.286	<i>“Claro, pero son los más recientes”</i>
	Josefa	t.287	<i>“igual había más en el Pérmico”</i>
	Josefa	t.314	<i>“Etapa do Devónico, atopamos Braquiópodos”</i>
	Jacinta	t.316	<i>“cuyos fósiles se preservan nas calizas”</i>

Establecidos los patrones de datos, explican cómo se formó el sinclinal haciendo uso de nuevo del modelo de tectónica de placas (figura 7.3), que en este caso lo aplican en la explicación de cómo se produjo el levantamiento de los materiales que estaban en el océano:

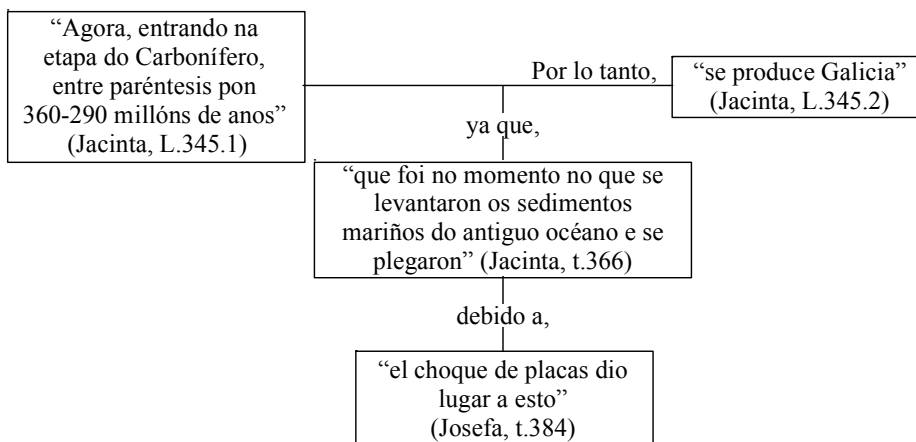


Figura 7.3. Esquema del argumento elaborado por el grupo J en el que integran el modelo de ‘tectónica de placas’.

De este modo, el grupo J ha elaborado una explicación para el Sinclinal de O Courel que comprende tanto la composición geológica como el mecanismo de formación.

Por último, la explicación generada por el grupo N ha comenzado por una exploración de los datos disponibles, de modo que Narciso, t.45, señala que “*fai máis de 350 millóns de anos*”, con lo que acota el momento de formación del sinclinal. Y a continuación establece que los fósiles deben ir ordenados según su antigüedad, empleando el modelo de ‘geocronológico’, Narciso, t. 49, “*Empezamos do máis antigo ó máis novo*”. Así como el modelo de superposición de los estratos identificando al fósil *Archaeocyatha* como el más antiguo y el que deben estar en el fondo, así a partir de ahí ordenan los materiales, caracterizando a cada estrato, empleando estos dos modelos, tal y como se muestra en las intervenciones que siguen:

<u>1º estrato</u>	Néstor	t.93	“ <i>Por exemplo, analizando os seguintes estratos...</i> ”
	Narciso	t.94	“ <i>Encontramos os seguintes fósiles</i> ”
	Narciso	t.96	“ <i>Os seguintes animais. Mellor os seguintes fósiles. O máis antigo é o... Archaeocyatha</i> ”
<u>2º estrato</u>	Narciso	t.125	“ <i>Va, agora o seguinte. O seguinte que hai é o... é</i> ”

			<i>este o Didymograptus”</i>
	Néstor	t.126	<i>“Veña agora poñémoslle: encontramos tamén un estrato con pizarras e arxilas onde se encontran Didymograptus ¿non?”</i>
	Narciso	t.127	<i>“Este pertence ó Ordovícico”</i>
	Narciso	t.129	<i>“Aí ponlle que foi entre 510 e 438 millóns de anos”</i>
<u>3º estrato</u>	Narciso	t.158	<i>“O Monograptus”</i>
	Néstor	t.159	<i>“Ehhh entonces nun estrato de pizarras”</i>
	Néstor	t.161	<i>“¿Que vivían? [segue escribindo e fala con Narciso] ¿canto é o silúrico?”</i>
	Narciso	t.164	<i>“438 a 408”</i>
<u>4º estrato</u>	Narciso	t.168	<i>“Os braquiópodos”</i>
	Néstor	t.172	<i>“¿E vivía?”</i>
	Narciso	t.173	<i>“No devónico [colle a noticia]”</i>
	Néstor	t.174	<i>“Que pertence ó Devónico... fai cantos anos?”</i>
	Narciso	t.175	<i>“408-360”</i>

En estas intervenciones se puede apreciar que los estudiantes realizan una descripción de los estratos que conforman el sinclinal, integrando los datos proporcionado.

Tras realizar esta explicación de la composición geológica, en el momento en que se les pide que den respuesta a la última pregunta, *¿Por qué no hay más datos registrados a partir del Devónico?*, es cuando explican cómo se formó el sinclinal de O Courel, aplicando dos modelos en su argumento (figura 7.4), de forma que proporcionan una explicación a la ausencia de estratos más recientes y a la formación del sinclinal. Estos dos modelos son el de ‘erosión’, empleado por Néstor, L.207.2, y el de ‘tectónica de placas’, aplicado tanto por Néstor como por Nicolás.

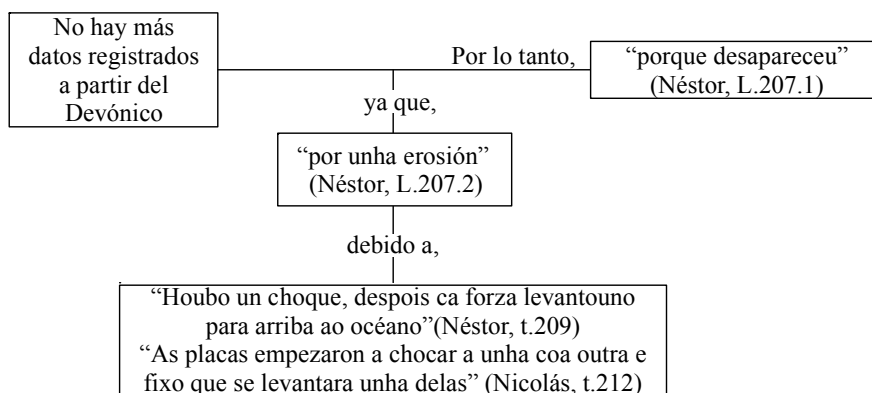


Figura 7.4. Esquema del argumento elaborado por el grupo N en el que integran el modelo de ‘erosión’ con el de ‘tectónica de placas’.

Consideramos que en este caso el modelo de tectónica actúa como conocimiento básico del modelo de erosión por su papel en el discurso, lo cual puede ser debido a que estén considerando el hecho de que para que el material se erosione debe ponerse en contacto con los agentes geológicos externos y por ello debe levantarse, o simplemente en ese momento surgió la necesidad de explicar cómo tuvo lugar el levantamiento de ese pliegue.

7.3 La contribución del proceso de argumentación a la modelización

En el apartado 2.5 se detallaron algunas de las contribuciones de la argumentación al proceso de modelización, entre ellas se encuentra la de evaluar el conocimiento (Jiménez Aleixandre, 2010), con lo cual esto podría tener como consecuencia que los estudiantes modifiquen sus modelos mentales debido a que adaptan su modelo mental a las ideas nuevas introducidas por sus compañeros. No obstante, debemos ser precavidos, pues el hecho de que los estudiantes manifiesten un cambio de modelo a lo largo de una actividad no tiene por que suponer que hubiese un cambio conceptual permanente sobre ese modelo en cuestión.

Con el fin de analizar estas cuestiones nos basamos en el marco de análisis presentado por Böttcher y Meisert (2011), ya comentado en el apartado 3.5.4 de

metodología, quienes proponen un análisis de la argumentación en un contexto de modelización, pues según estos autores “*en el contexto de una propuesta basada en modelos, el objetivo de la argumentación es la evaluación de modelos para determinar su adecuación*” (pp.109). El análisis de estos dos autores está basado en los estudios previos de Clement y Rea-Ramirez (2008) en los que estructuran el proceso de modelización desarrollado en el aula, lo que permite conocer el propósito de ese modelo y los procesos relacionados con la argumentación que subyacen en él. La diferencia entre lo que estos autores proponen y este trabajo está en que el proceso de argumentación que tuvo lugar en las aulas que tomaron parte de este trabajo apenas hubo participación del docente, sino que el discurso argumentativo y el proceso de generación de modelos, ha tenido lugar dentro de cada grupo de estudiantes, de modo que son ellos mismos los encargados de evaluar sus modelos a través de la argumentación.

Los resultados que se comentan a continuación son el resultado del análisis de los datos obtenidos de los grupos J y N, por ser los dos grupos de los cuatro analizados que han desarrollado un discurso argumentativo a lo largo de la actividad, durante el cual se han evaluado y modificado los modelos de sus estudiantes. El proceso de evaluación de los modelos se presentan en las tablas de la 7.3 a la 7.7, cuya primera columna recoge los turnos y los estudiantes, en la segunda se muestran las intervenciones, hay que indicar que se muestran los turnos relevantes para el análisis, obviándose aquellas intervenciones ajenas a la actividad. En la tercera columna se representan las aplicaciones de los modelos auxiliares que hace cada estudiante, para ello se utiliza la abreviatura de cada modelos indicada en la tabla 7.2, esto es, M1, M2, M3 y M4., aunque para las diferentes aplicaciones del mismo modelo que hacen los estudiantes se les añade una letra minúscula (ej.: M1a, M1b), la flecha ancha en esta columna muestra cuál es el modelo definitivo adoptado por los estudiantes, tras el consenso, lo cual podría no corresponder con el modelo mental de cada una de ellos. Finalmente, en la cuarta columna se muestran los elementos que constituyen el proceso argumentativo, así en cada rectángulo se indica el tipo de elemento

argumentativo, a lo cual puede acompañar un *dato* (indicado en el círculo) y un *modelo auxiliar* (en un hexágono).

A lo largo de la tarea, se han encontrado cuatro momentos en los que las alumnas del grupo J han modificado sus modelos a través de la argumentación, los cuales se comentan a continuación.

El primer modelo que discuten se presenta en la (tabla 7.3) está relacionado con la ‘situación inicial de los continentes’, pues en la noticia de prensa les indicaba que ‘Galicia como tal no existía. Estaba separada en dos partes’, lo cual fue interpretado de diferentes maneras por Juana y Josefa. En primer lugar Juana, t.9, expresó que los continentes estaban separados y se unieron, haciendo uso del modelo de tectónica de placas al que denominados M3a. No obstante Josefa, t.10, refutó la interpretación de ese modelo indicando que el pliegue manifestaba la separación los mismos (M3b). En ese momento Juana no justifica por qué su modelo es correcto, de modo que las alumnas toman por válido el modelo de Josefa, hasta que ésta se da cuenta de que su modelo es contradictorio con la información indicada en la noticia de prensa, rechazando su anterior modelo “*Espera porque aquí pone, hace más de 350 millones de años Galicia como tal no existía, estaba separada en dos partes la occidental y la oriental, o sea*” (Josefa, t.54), enunciando el M3a expuesto por Juana, de modo que el modelo con el que explican la situación inicial de los continentes es el M3a, al cual Julia, t.66, trata de reforzar con una justificación “*este plegamiento es la unión de los dos*”.

El segundo momento que ha supuesto un debate entre las alumnas se muestra en la tabla 7.4, y en él abordan cuál es la ‘ordenación de los sucesos’, es decir, desde la fosilización hasta la aparición de los fósiles en la montaña. Como se puede ver en la primera intervención que se puesta en ese extracto, Josefa, t.101, indica que antes del Carbonífero los fósiles están entre los continentes y, tras este periodo, se juntan los continentes. Pero en ese momento Juana expone su punto de vista, t.102, que no coincide con el de Josefa, “*a lo mejor habría que decir cuáles estaban en un trozo y cuales en otro*”, pues en nuestra opinión lo que Juana considera es que los fósiles ya estaban en los continentes antes de la colisión, lo

cual hemos consideramos M2a por el hecho de que están tratando de ordenar los fósiles, haciendo uso del modelo auxiliar ‘geocronológico’. Es por ello que Josefa refuta este modelo justificando que los fósiles son marinos, por lo que estaban en el océano (M2b), empleando para ello los datos que aparecen en las fichas de los fósiles. Debido a que Juana no puede refutar ese argumento de Josefa, pues los datos que tienen indican claramente que los fósiles tienen procedencia marina, Juana opta por adaptar esa información a su modelo inicial (M2a), modificándolo a un M2c, en el que integra que los fósiles sean marinos porque la montaña estaba cubierta por agua, como se deduce de su intervención 113, *“En primer lugar, entonces es que la montaña, o lo que fuera estaba cubierta de agua. Y por eso quedaron ahí los fósiles pegados”*. Pero en ese mismo momento Josefa rechaza el modelo M2c, de Juana, justificando que *“No, porque la montaña no existía que se formó con el choque de las placas, no es que estuviera la montaña ahí”* (114), justificación en la que se aprecia que aplica el modelo de tectónica de placas. En las siguientes intervenciones las alumnas explican que los fósiles están ordenados en el océano *“según la época”* (Josefa, t.123), pero en cuanto Juana se dispone a redactar la organización de los fósiles en los estratos propone de nuevo que el océano cubriese a la montaña, de modo que Josefa le vuelve a refutar empleando la misma justificación, pero en esta ocasión es Jacinta quien consigue que Juana modifique su modelo indicándole *“No fondo do océano habería area ou así, onde quedarían enterrados os diferentes cousos [fósiles]”* (t.157). Así consiguen que Juana cambie su modelo (M2c) por el modelo M2b, relacionándolo con la tectónica de placas (M3), al indicar *“Claro, quedaron fosilizados como no fondo do océano e cando colisionaron todo veu hacia arriba”* (t.159-161). La importancia de que Juana modificase su modelo se debe a que es quien está redactando la historia geológica del sinclinal, por ello sus compañeras tratan de que comprenda cómo fue el orden de los sucesos.

Tabla 7.3. Evolución del modelo empleado para explicar la situación inicial de los continentes. Círculo=fuente del dato

t	Estudiante	Transcripción	Modelo	Proceso argumentativo
<i>Situación inicial de los continentes</i>				
8	Josefa	Que quieren hacer esto [sinclinal] espacio protegido para...		
9	Juana	Esto antes no estaba junto. Estaba dividido en dos partes y lo que las separaba, que luego al final se acabaron uniendo, es lo que quieren hacer...	M 3a El pliegue indica la unión de las dos partes	
10	Josefa	No. Estaba unido el continente de Laurasia y de Godwana y había un mar. Bueno pues al separarse los continentes, es cuando se empezó a formar el territorio de lo que actualmente es Galicia y esta es una prueba de... o sera, es una prueba de... que se separaron	M 3b Los continentes estaban unidos y al separarse se formó el pliegue	REFUTACIÓN El pliegue es una prueba de que se separaron
11	Juana	Y ahora lo quieren hacer espacio protegido		
12	Juana	Y ahora, la Consellería de medio rural y eso todo lo quieren hacer espacio protegido		REFUTACIÓN El pliegue es una prueba de la colisión
13	Julia	Pero non estaba Galicia separada... estaba compuesta por dos...		NOTICIA DE PRENSA
14	Juana	Si, vale		
15	Josefa	Por dos continentes		
16	Juana	Es que entendí yo mal		
54	Josefa	Espera porque aquí pone, hace más de 350 millones de años Galicia como tal no existía, estaba separada en dos partes la occidental y la oriental, o sea	M 3a Galicia estaba separada en dos partes	
55	Juana	Ves! Lo que yo decía que estaba partido		
56	Josefa	Yo decía que pertenecía a dos continentes		
61	Josefa	[lee] Desde entonces se ha quedado unida y la prueba visible de esta gigantesca colisión de placas es el gran plegamiento acostado de O Courel	M 3a El pliegue indica a unión de las dos partes	
62	Juana	Ves, es lo que dije yo Josefa.		
63	Josefa	Entonces...		
64	Julia	Es la unión		
65	Juana	Como estaba separada...		
66	Julia	Este plegamiento es la unión de los dos		JUSTIFICACIÓN El plegamiento es la unión de los dos

Tabla 7.4. Evolución del modelo empleado para explicar la ordenación de los sucesos. Hexágono=modelo teórico, Círculo=fuente del dato

t	Estudiante	Transcripción	Modelo	Proceso argumentativo
<i>Ordenación de los sucesos</i>				
101	Josefa	Si, vale entonces, cuando estaban separados había estas diferentes cosas [fósiles]. Después cuando ya llegamos al carbonífero es cuando ya están juntos		
102	Juana	A lo mejor habría que decir cuales estaban en un trozo y cuales en el otro	M2a Fósiles repartidos en los continentes	
103	Julia	Y una cosa... a lo mejor hay que empezar por abajo, en plan si hay que empezar por abajo...	M1 Ordenación de estratos	
104	Josefa	Es que claro si se juntaron hace 350 ma...		
105	Julia	Es que entonces habrá que empezar por el Cámbrico, luego por el Ordovícico...		
106	Josefa	claro		
110	Jacinta	A ver, ¿que poño? O primeiro fósil será, ¿no? E que eu non sei como poñerlle		FICHAS FÓSILES
111	Julia	Escribe tu [le dice a Juana]		
112	Josefa	Para empezar, estos todos estaban en esa zona, no estaban en ningún continente, porque son todos mariños, así que	M2b Fósiles en el océano	REFUTACIÓN Fósiles marinos
113	Juana	En primer lugar, entonces es que la montaña, o lo que fuera estaba cubierta de agua. Y por eso quedaron ahí los fósiles pegados	M2c Fósiles en la montaña, montaña cubierta por océano	
114	Josefa	No, porque la montaña no existía que se formó con el choque de las placas, no es que estuviera la montaña ahí		REFUTACIÓN Montaña resultado del choque
115	Julia	Entonces, a lo mejor, antes de haber esa montaña había agua	M2b Fósiles en el océano	Tectónica de placas
116	Josefa	Es lo que te estoy diciendo		
117	Jacinta	Claro, son mariños, auga tiña que haber		
122	Jacinta	Había un océano pero estas cousas non estaban todas iguais, unhas viñeron antes e outras despois, non estaban todas aí ala! No océano	M2b y M1 Fósiles en el océano ordenados según época	
123	Josefa	Claro... según la época, primero llegaron estos, ahora llegan estos y después estos		
124	Jacinta	É como o que estamos vendo agora en Biología que co tempo van, aínda que haxa mar co tempo vaise sacando		
125	Juana	É como o cómic ese que puso das viñetas, primero había mar, apareceron unhos, sacouse o mar pero despois igual volveu outra vez o mar	M2c Fósiles en la montaña, montaña cubierta por océano, hasta que se retiró el mar	
126	Jacinta	Claro, e que a ver, antiguamente había un océano.		
127	Josefa	A principios do Cámbrico		
136	Jacinta	Había un océano		
137	Julia	Do que se conservan...		
138	Josefa	Do que só quedan as rochas calcáreas		
154	Juana	O océano, o océano non cubriría...		
155	Jacinta	E que non podía haber ningunha montaña. A montaña formouse cando chocaron, cando se produciu o golpe		REFUTACIÓN Montaña resultado del choque
156	Julia	Claro, pero en lugar de haber la montaña ¿no? ¿Tu dices eso? [habla con Juana]		Tectónica de placas
157	Jacinta	No fondo do océano habería area ou así, onde quedarían enterrados os diferentes cousos [fósiles]		JUSTIFICACIÓN Fosilización en la arena
158	Josefa	¡Estaban separados os continentes!		
159	Juana	Claro, quedaron fosilizados como no fondo do océano e cando colisionaron		
160	Chicas	Claro		
161	Juana	Todo veu hacia arriba		
162	Josefa	Claro, muy bien Juana	M2b y M3 Fósiles en la arena del fondo oceánico, que con el choque se levantaron	

En la tabla 7.5, la evolución del modelo hace referencia a la ‘cronología de los estrato’, puesto que cuando Jacinta propone que los fósiles más recientes datan Devónico (M1a) Josefa indica que podría haber más fósiles en el Pérmico, lo cual resulta interesante, pues entiende que pudo haber fosilización después de la formación del pliegue. En cambio, Juana no comprende por qué mencionan el Pérmico, si ella considera que el siguiente periodo al Devónico es el Silúrico y le sigue el Ordovícico (M1b), es decir, está interpretando la cronología de los periodos en sentido opuesto, y eso es lo que trata de explicarle Josefa, t. 300, “*Juana, ¿qué es antes? hace 570 millones de años o 510*” y Julia, t. 310, “*Porque antes no se contaba 1000, 1001. Se contaba 1001, 1000*”, de ese modo Juana indica que comprendió lo que sus compañeras trataban de explicarle, adoptando así el M1a.

El último momento, se muestra en la tabla 7.6, en la que lo que tratan de acordar es la terminología empleada para denominar a la estructura que se forma como ‘resultado del choque de placas’, en lo que consideramos que subyace el modelo de tectónica de placas. El M3a es expuesto por Jacinta, quien indica que el choque tuvo lugar en Galicia, y a lo cual Juana le refuta indicándole que el choque dio lugar a Galicia (M3b), es decir, no tuvo lugar en Galicia. Tras esta puntualización, Josefa y Jacinta modifican el M3b, pues consideran que el choque generó O Courel (M3c), pero en opinión de Juana y Julia tras el choque se formó Galicia (M3b), modelo que es el que queda representado en la historia geológica, pues es Juana quien está redactando la respuesta. Aunque Josefa y Jacinta no se muestran conformes pues, como indica Josefa, t.389, “*Galicia quedó como Galicia hace pocos años, cuando se murieron los Reyes Católicos estes, así que no dio lugar a Galicia porque era el reino nosequé, no era Galicia*”, es decir, Galicia es el nombre con el que se denominó a esta región a posteriori.

Tabla 7.5. Evolución del modelo empleado para explicar la cronología de los estratos. Hexágono=modelo teórico, Círculo=fuente del dato

t	Estudiante	Transcripción	Modelo	Proceso argumentativo
<i>Cronología de los estratos</i>				
282	Julia	Na etapa do... Devónico		<p>REFUTACIÓN Hay más periodos</p> <p>TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA</p>
283	Jacinta	Os máis recentes		
284	Josefa	No, estos son... estamos antes de que se formara el Courel		
285	Jacinta	Claro		
286	Juana	Claro, pero son os máis recentes		
287	Julia	A ver, que igual había más en el pérmico		
288	Josefa	Claro, claro		
289	Julia	Ponle, y por último		
290	Jacinta	¡Qué Pérmico!		
291	Josefa	Aquí en estos		
292	Jacinta	Pero eso xa despois de falar de esta [Devónico]		<p>REFUTACIÓN El orden de los estratos es en el otro sentido</p> <p>Geocronológico</p> <p>TABLA CRONOESTRATIGRÁFICA</p>
293	Juana	Estamos no Silúrico despois sólo poden haber os do Ordovícico		
294	Jacinta	eses xa están, estamos no Devónico		
295	Juana	Que nooo		
296	Josefa	¡Pero si lo acabas de poner! Vamos a ver Juana, vamos para arriba		
297	Julia	Puede haber muchas más etapas		
298	Josefa	Esto va para arriba		
299	Juana	¿cómo para arriba?		
300	Josefa	Juana, ¿qué es antes? hace 570 millones de años o 510		
305	Juana	Eu o que non entendo é que si estamos no Carbonífero		
306	Josefa	Juana, no empezamos en el Carbonífero		
307	Julia	Empezamos en el Cámbrico		
308	Juana	Y ¿por qué?		
309	Jacinta	Porque es el más antiguo		
310	Julia	Porque antes no se contaba 1000, 1001. Se contaba 1001, 1000		
311	Josefa	Aquí se cuenta lo mismo, sólo que es, hace 570 millones de años a 400		
313	Juana	Vale, xa o entendín		

Tabla 7.6. Evolución del modelo empleado para explicar el resultado del choque de las placas.

t	Estudiante	Transcripción	Modelo	Proceso argumentativo
<i>El resultado del choque</i>				
345	Jacinta	Vale. Agora entrando na etapa do carbonifero, e entre paréntesis pos 360-290. Vale. É cando se produce en Galicia	M 3a El choque de placas tuvo lugar en Galicia	REFUTACIÓN Hasta que se juntaron no era Galicia
348	Josefa	O choque de placas...		
349	Jacinta	Ah, o choque de placas entre os continentes		
350	Josefa	Entre Laurasia e Godwana		
351	Julia	E cando se produce en donde		
352	Juana	En Galicia non era de aquela		
353	Josefa	O choque de placas...		
354	Juana	E que eu penso que foi o choque de placas que dou lugar a Galicia	M 3b El choque de placas dio lugar a Galicia	
362	Jacinta	Ó Courel	M 3c El choque de placas dio lugar al Courel	
363	Juana	A Galicia		
364	Jacinta	No, ao Courel		CONCLUSIÓN El pliegue generó Galicia
365	Juana	Cando estaba separado non era Galicia		
366	Jacinta	Que foi o momento no que se levantaron os sedimentos mariños do antigo océano e se plegaron	M 3b-c El choque de placas dio lugar al Courel y éste a Galicia	
373	Juana	E que eu o que decía era que parte da formación do Courel dou lugar a Galicia, porque antes estaban separados	M 3d El choque de placas dio lugar al pliegue	
374	Jacinta	Que no, que o choque dou lugar a esto [pliegue], non a Galicia enteira		
375	Juana	Claro, pero se antes estaban separados non era Galicia, era un e outro		
377	Josefa	Juana pero es que esto lo hay que redactar correctamente y no es que esto diera lugar a Galicia		
386	Julia	No grites tanto que luego te duele la cabeza. Produjo esto pero, si no fuera por el choque de placas no habría Galicia		
387	Josefa	Es que Galicia no era Galicia		
388	Jacinta	Pero el pliegue no produce Galicia, produce o Courel		
389	Josefa	Galicia quedó como Galicia hace pocos años cuando se murieron los Reyes Católicos estes, así que no dio lugar a Galicia porque era el reino nosequé, no era Galicia	M 3b El choque de placas dio lugar a la actual Galicia	REFUTACIÓN No era Galicia
390	Juana	Pero podemos poner que dio origen a la que ahora es la actual Galicia		
391	Jacinta	Que deu lugar non.. que a partir de eso empezariase a formar....		
392	Josefa	porque eso non dou lugar a Galicia		
393	Jacinta	Co paso do tempo comezouse a formar Galicia		
394	Juana	Eu solo digo eso de que polo choque se formou a actual Galicia. Como non houbera o choque, o que hoxe é Galicia estaría separada	M 3b El choque de placas dio lugar a la actual Galicia	JUSTIFICACIÓN Sin choque de placas Galicia no existiría

En el caso del grupo N, el único momento en que discuten los modelos a través de la argumentación es al final de la tarea, cuando se les pregunta por los motivos de que no tengamos más datos registrados a partir del Devónico, lo cual ya ha sido comentado en el apartado anterior. Como se ve en la tabla 7.7, proporcionan dos explicaciones, una de ellas es proporcionada por Narciso al emplear el modelo de ‘superposición de los estratos’ (M1) en su argumento, t.201, “*porque posiblemente non se depositaron máis fósiles aí*”. La otra explicación es indicada por Néstor, quien aplica el modelo de ‘erosión’ (M4), de modo que genera un contraargumento, t. 207, “*porque desapareceu, por unha erosión puido desaparecer*”, aunque no parece convencer a sus compañeros, de modo que Néstor recurre a otro modelo, el de la ‘tectónica de placas’, con el que explica la formación del pliegue, y refuta al M1 de Narciso.

Tabla 7.7. Evolución del modelo empleado para explicar la situación inicial de los continentes. Círculo=fuente del dato

t	Estudiante	Transcripción	Modelo	Proceso argumentativo
<i>Por qué hay más datos registrados a partir del Devónico</i>				
201	Narciso	Ponlle... porque posiblemente non se depositaron máis fósiles aí	<p>M1 no hubo deposición</p> <p>M4 Erosión elimina materiales</p>	<p>CONTRAARGUMENTO</p>
202	Nicolás	E que non se depositaron máis fósiles		
203	Noe	Porque non se depositaron ¿que?		
204	Narciso	Máis fósiles e bueno... non temos máis datos		
205	Néstor	A ver déixame ver un momento		
206	Nicolás	Veña escribe ti		
207	Néstor	Porque desapareceu, por unha erosión puido desaparecer		
208	Narciso	Ou... porque non se depositaron máis fósiles...		
209	Néstor	Dixeron que había un choque, unha colisión. E que depois ca forza levantouno para arriba o océano	<p>M1 no hubo deposición</p> <p>M3 Levantamiento por colisión</p>	<p>REFUTACIÓN el choque levanta los materiales que se erosionan</p> <p>NOTICIA PRENSA</p>
210	Nicolás	¿Pois?		
211	Néstor	Pero... ¿como llo poño?		
212	Nicolás	A ver, as placas empezaron a chocar a unha coa outra e entonces eso fíxo que se levantara unha delas		
213	Néstor	Se levantou o Courel... [copia y escribe lo que quiere]		

!

7.4 Discusión y conclusiones parciales

Analizados los resultados, en este apartado se procede a dar respuesta al tercer objetivo de investigación de este estudio, *Examinar cómo se articulan las prácticas de modelización y argumentación*, abordando las respuestas a las preguntas de investigación que derivan del mismo.

Antes de dar respuesta a las preguntas de investigación, consideramos necesario comentar que se han apreciado diferentes estrategias de resolución de esta actividad entre los cuatro grupos analizados. En parte, estas diferencias se han debido a: a) tiempo dedicado a la propia resolución, siendo los grupos A y B los que menos tiempo le han dedicado y b) tipo de explicación generada, los grupos A y B, se han ceñido a una explicación sobre la composición geológica o estratigráfica del sinclinal, en cambio los grupos J y N han desarrollado explicaciones causales sobre cómo de originó ese plegamiento.

La principal consecuencia de estas dos estrategias se ha encontrado en los modelos y argumentos que los estudiantes han desarrollado a lo largo de la actividad, lo cual nos lleva a dar respuesta a la primera pregunta, *¿Qué modelos emplean los estudiantes en sus justificaciones?*. Los grupos, A y B, que han abordado una explicación ‘estática’ del sinclinal, esto es, sin explicar los mecanismos de formación del mismo, han precisado de un menor número de modelos teóricos, aplicando el modelo geocronológico y el de superposición de los estratos, con los que justificaron el patrón de los datos establecidos, para caracterizar a cada uno de los estratos que componen el sinclinal de O Courel. El que los estudiantes hayan seleccionado unos datos, de entre los disponibles, nos ha permitido apreciar el modelo que subyace en sus razonamientos, o dicho de otro modo, los datos empleados en sus justificaciones dependen de los modelos que presenten (Duschl y Ellenbogen, 2009). Además, el proceso argumentativo de estos dos grupos ha sido escaso, en términos de empleo de pruebas y justificaciones con las que apoyar sus conclusiones, lo cual lleva implícita la cultura escolar de que cuenta es tener la historia correcta, sin tener que respaldarla

con pruebas, por lo que no consideran que las pruebas sean necesarias para justificar sus explicaciones (Sandoval, 2003).

En cambio las explicaciones de los grupos J y N han adquirido un mayor nivel de complejidad al incluir la respuesta al cómo se formó ese sinclinal, partiendo de la formación previa de los estratos en el océano. Así, en estos dos grupos la argumentación ha sido más compleja, pues han introducido un modelo a mayores del geocronológico y de superposición de los estratos, el de la tectónica de placas. El hecho de que únicamente dos grupos fueran capaces de proporcionar una explicación al mecanismo de formación de esta estructura, nos lleva a considerar que los datos proporcionados fueron demasiado complejos, por lo que elaborar una explicación causal de este fenómeno supuso un gran reto para el alumnado, lo cual ya se ha puesto de manifiesto en otras investigaciones, como en Puig (2013), en la que se les pedía a los estudiantes que eligiesen una explicación causal haciendo uso de un conjunto de datos proporcionados en el que los estudiantes tenían que interpretar el significado de los mismos.

Un aspecto interesante que emerge de las respuestas a la última pregunta planeada en este problema es el hecho de que únicamente dos grupos han sido capaces de dar una respuesta aceptable a la ausencia de datos registrados a partir del Devónico. Estos grupos fueron en A y el N, pues ambos consideraron que la erosión había retirado los estratos superiores, sin embargo, el grupo J, que proporcionó la explicación de la historia geológica más compleja, asoció esta falta de estratos con la propia formación del plegamiento.

En cuanto a la segunda pregunta de investigación, *¿Cómo contribuye el proceso de argumentación a que los estudiantes cambien su modelo?*, conviene recordar que esta cuestión sólo ha podido ser analizada en los grupos J y N, pues en los demás, como ya se ha indicado, la explicación fue pobre, de modo que los procesos de modelización y la argumentación han sido limitados. Esto no fue así entre las integrantes del grupo J, en el que el afán de las alumnas para que sus respectivas ideas constasen en la explicación que se les solicitaba les ha llevado a intentar persuadirse unas a otras casi de forma constante. En los cuatro ejemplos

que se muestran (tablas 7.3, 7.4., 7.5 y 7.6) ha habido un cambio de modelo, más o menos profundo, ocasionado por las refutaciones y justificaciones empleadas, en las que el respaldo teórico y el uso de los datos suministrados fue clave. Lo mismo tuvo lugar en el grupo N aunque en un solo ejemplo (tabla 7.7) y con menor presencia de elementos argumentativos. Estos datos, concuerdan con las conclusiones obtenidas en el estudio de Mendonça y Justi (2014), sobre la argumentación en un contexto de modelización, en el que se encontró que las justificaciones eran simples durante las primeras etapas del diagrama de modelización (producción y expresión de un modelo), lo cual correspondería al momento de buscar patrones en los datos sobre el sinclinal de O Courel, es decir, en las fases iniciales de la explicación, cuando la argumentación estaba formada casi exclusivamente por conclusiones. No obstante, esta argumentación se vio mejorada en el momento de evaluar sus modelos, pues en ese momento la argumentación pasaba a ser de tipo persuasiva (Mendonça y Justi, 2014), o retórica en términos de Driver, Newton y Osborne, (2000). En el caso particular de esta actividad, la calidad de los argumentos mejora por el hecho de que en la evaluación y modificación de los modelos hay predominancia de contraargumentos y refutaciones (Erduran et al., 2004) cuya finalidad es poner esos modelos en conflicto con los datos de los que se dispone.

La adaptación del marco de análisis diseñado por Böttcher y Meisert (2011) ha nuestro estudio de caso, nos ha permitido analizar la evolución de los modelos expresados de los estudiantes, desde el modelo inicial hasta el modelo final. No obstante, debido a que en su estudio únicamente emplean datos hipotéticos, sin emplear casuísticas reales de aula, no podemos contrastar nuestros datos con sus estudios.

Como se ha comentado al inicio del apartado 2.3, a la hora examinar la evolución en los modelos expresados de los estudiantes debemos considerar que el cambio de modelo puede ocurrir a nivel verbal, es decir, de la articulación de cómo las ideas se expresan, pero que no conlleve un cambio del modelo a nivel cognitivo, que sería lo que consideraríamos cambio conceptual. Para representar esto, nos

basamos en el cambio de modelo experimentado por Juana en la discusión de ‘ordenación de los sucesos’ (tabla 7.4), en la que el modelo inicial de Juana era que “la montaña estaba preformada y el océano la cubría por ello los fósiles se quedaron en la montaña” mientras que su modelo final consistió en que “en el océano había unos fósiles y al levantarse el plegamiento los fósiles aparecieron en la montaña”. Este cambio de modelo fue impulsado por el aporte de datos conjugado con la teoría de la tectónica de placas que sus compañeras articularon para favorecer ese cambio. No obstante, convendría analizar si Juana es capaz de explicar un fenómeno similar en un contexto diferente o es un aprendizaje en un contexto determinado (Brown, Collins y Duguid, 1989).

En resumen, la argumentación es inherente al proceso de modelización, en lo que coincidimos con Passmore y Svoboda (2012), es por ello que a modo de conclusión general de este capítulo podemos afirmar que los grupos que han empleado un mayor número de modelos han sido los que han desarrollado un proceso argumentativo más complejo, dando lugar a un mayor número de argumentos, de forma análoga a los resultados obtenidos por Evagorou, Nicolaou y Lymbouridou (en revisión).



III CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS





CHAPTER 8

CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS

8.1. Introduction

The organization of this chapter starts drawing the main conclusions from this study. Then, the educational implications, derived from the conclusions, are presented, inasmuch as one purpose of this research consists on finding ways to improve learning and teaching science issues. Finally, some final considerations are proposed regarding: a) study's limitations; b) those aspects that could be improved along the study; and c) future lines of research based on the findings from this thesis.

The main purpose of this research is to analyse the modelling and argumentation processes developed by students when solving geology problems. In order to do that, three objectives and their related research questions (RQ) have been established:

Objective 1: *To characterize the modelling process used by students and their achievement for the dimension of “explaining phenomena scientifically”.*

1º RQ: How do students develop and use models to generate the explanations required for each problem?

2º RQ: What levels of achievement for the dimension “explaining phenomena scientifically” students have attained?

Conclusions 1, 2 and 3 refer to this objective, which is addressed in chapter 5.

Objective 2: *To characterize the argumentation process performed by students and their achievement for the dimension of “use of evidence”.*

3° RQ: How do students relate data and evidence on the arguments?

4° RQ: What levels of achievement for the dimension “use of evidence” students have attained?

Conclusions 4, 5, 6, 7 and 8 refer to this objective, which is addressed in chapter 6.

Objective 3: *To examine how modelling and argumentation practices contribute to each other.*

5° RQ: Which models students use on their justifications to generate an explanation?

6° RQ: How does argumentation process contribute to the model change in students?

Conclusions 10 and 11 refer to this objective, which is addressed in chapter 7.

Apart from the research questions, conclusions 9, 12, 13, 14 and 15 are drawn from the methodological characteristics and content knowledge employed in the activities.

8.2. Conclusions

The results presented in chapters 5, 6 and 7, jointly with their respective discussions and partial conclusions, have allowed us to propose the main conclusions:

1. In the modelling process, students showed some difficulties, which derived on an important interactivity in the process of developing the models.

1.1 The “group consensus model” includes the individual expressed models.

From our point of view, the consensus model must be expressed, which entails a modification of MMD developed by Justi and Gilbert (2002) when it is adapted to

modelling process in groups. Thus, individual mental models would be expressed and, with all “individual models expressed” the “group consensus model” would be constituted, that is to say, that one which all members agree with.

That simplification, about how the mental model is transformed into an expressed model, involves a complex process in which students have to articulate their own knowledge in order to understand what they really know about the topic, particularly in the case of sedimentary basin. In addition, they should articulate that knowledge with the activity requirements and the information provided, to be able to express their model. Therefore, the group consensus model is elaborated from the interaction of individual models.

An important issue that must be considered, regarding the analysis of models, is if such group models are actually consensus or, in contrast, corresponding to an acceptance model of a single group member which meets the needs of the task, being considered as the "more acceptable". Consequently, the choice of consensus model by students depend on the options available and the criteria for the election and may result in a 'capture' of ideas that come together in a consensual model, following the ideas of Hewson and Beeth (1995).

1.2 Instead of “convincing their partners through specific reasoning”, some students accept the planning established by one of them.

The purpose of this step, on the modelling process, consists on justifying why a planning is more convenient than another in order to build the material model. Some groups did not develop this step, because they accepted the planning proposed by one member straightaway.

Instead, in those groups that discussed the different execution materials models, this phase was crucial, since theoretical knowledge should be applied to persuade their peers. That increases the number of scientific models encompassed in the speech, which means improving directly their performances in the "explanation of phenomena scientifically" and it is related to the following conclusion.

2. The modelling encourages students to use different models that they own, making them interact to each other to develop the model that requires the task.

We consider that the sedimentary basin modelling process has promoted the activation of students' mental models, establishing relations among them. This contributes to their learning process because they develop and reformulate their models while they discuss with each other, agreeing with those reported by Justi (2006). Specially, this takes place on step 1 of modelling process, where individual mental models interact with the information and materials supplied, being modified and extended by interaction with new ideas, which represent the idea indicated by García-Rodeja and Lima (2012) that the explanatory models are generative, and therefore evolve as students acquire knowledge.

An example of this is found in group G, whose members were not able to answer how the materials reach the sedimentary basin until Gloria mentioned that the wind carries sediment, which leads them to associate the transport model to the explanation of sedimentary basin formation the model.

3. Four performance levels have been identified for the dimension “explaining phenomena scientifically”.

The lower level of performance attained by groups L and A was level 1, which is considered the lowest because they applied a small number of scientific ideas, in particular using only one scientific data to develop the task. The next level is 3, developed by the groups G and N (11th grade), which employed one or more specific scientific ideas or concepts in the development of the phenomena explanation. Following, the level 4, which implies being able to apply various scientific ideas, establishing relationships between those ideas, so the level of complexity is higher, this level has been reached by groups H and B. Finally, the greatest level of performance has been attained by the groups N (10th grade) and J, as they developed a larger number of models and also that have been linked together. This shows that only two groups develop this competence at the highest

level of performance, which indicates either that the activity has been demanding or students need more practice in these issues.

The ability to “explain phenomena scientifically” is conditioned by the integration of a large number of scientific ideas increasing in complexity in explanations, taking into account the levels established by PISA 2006 (OCDE, 2008). In our study this corresponds to implement a larger number of models for the modelling of the sedimentary basin.

Analysing this performance, in both educational levels, has allowed us to verify that the highest level of performance in 10th grade (level 5) corresponds to the lowest in 11th grade (level 1), which shows us the growing complexity of the activities and the improvement in scientific competence of the 11th grade students.

4. The majority of justifications include evidences that are sufficient and appropriate, showing a proper interpretation of the data.

The results show that six of the eight groups have interpreted the data correctly, since the percentage of tests that gather both criteria, sufficiency and appropriateness, exceeds 70%. This indicates that they were able to apply the knowledge required for analysis of data since, as Koslowski (1996) indicates, the transformation of data to evidence –sufficiency and appropriateness- depends heavily on prior knowledge of a person. Hence, in our work we have focused on understanding those evidences that meet the criteria of sufficiency and appropriateness, as we believe that not only is interesting that students justify, but also must justify using the appropriate knowledge (Zohar & Nemet, 2002).

That is why, not a higher number of evidence used in the justifications implies a higher number of evidence to fulfil both criteria. This is shown in groups G and J, who did not get the highest percentages of sufficiency and appropriateness evidence despite using the largest number of evidence.

5. The kind of argumentative process is a consequence of the discourse, which is established among the members, determining the quality of argumentation.

Taking into account Wegerif and Mercer's (1997) study, three types of argumentative discourse have been found, the "negotiation or exploratory talk", for instance when students maintain constructive discussions assessing ideas critically; the "disputational talk" in which students maintain a competitive attitude; and the "cumulative talk" when they build answers integrating information without presenting a critical attitude.

Regarding these three types of discourse the one, which favours a higher quality argumentation, is the "negotiation" one, as it was maintained by the groups N (10th grade) and J. Both groups have considered the ideas proposed by their members and have undertaken them into evaluation, producing a final argument that satisfies all of them. The characteristic of these two groups is that the students were able to make rebuttals for some justifications and to propose counterarguments, with an attempt to persuasion.

Regarding the other two types of discourse, there are few results to discern what kind of talk is the least contributes to the quality of argumentation, if the "cumulative" or the "disputational". The "cumulative talk" has taken place in the G, H, A and B groups, where an atmosphere of trust is established to offer counterarguments and any rebuttal, but not with persuasive intent. Instead, the discourse of "disputational talk" was identified in groups L and N (11th grade), in which one member has imposed its criteria without other members refuting him, as a result the number of counterarguments and rebuttals was limited.

Comparing these with the results obtained by Evagorou and Osborne (2013), we agree that the "negotiating a shared understanding" enhance the quality of argumentation. Furthermore, although these authors have concluded that a discourse of "cumulative talk" involves a lower quality level, in our study this has not taken place.

6. The students go forward the known to the unknown, as a strategy in the use of data.

This conclusion comes from the data analysed in 10th grade, particularly from the activity “who were the protagonists?”, in which students have to select which dinosaurs were those who left their footprints marked. Firstly, students used the information about the trophic relationship and the size and weight of the dinosaurs, and secondly used the temporal data. This agrees with the results obtained in previous studies, such as Grozter and Basca (2003) and Bravo (2012), in which the strategy of the students analysed was to focus attention on the concrete and active elements (trophic relationship and the size and weight), instead of attending to the abstract and passive (temporary data).

7. The students have been coherent with the evidence to data transformation, in the activity, which was required.

From the results obtained in 11th grade, we conclude that students have paid much attention on how they built the data that would be analysed later by other group. As it is shown by the similarity between the intention these data were built and its subsequent interpretation. As a result, we conclude that students have been able to produce valid data for a sequence of footprints, which has favoured their classmates to interpret them in a logical way.

This process of elaborating data had an influence in the second part of the activity, that is to say, during the analysis of data built by other groups, students have used less justifications, because the reasoning implicit in them has already been agreed during the data elaboration. This agrees with indicated by Kelly, Druker and Chen (1998) concerning that if a student feels that he and his partner share the same understanding of a concept, it is no necessary to make explicit the justification.

8. Three levels of performance have been identified for the dimension of “use of evidence”.

The adequacy of PISA levels for dimension "use of evidence" entails that the gradual improvement in this skill is determined by the appropriate interpretation

of the data to justify conclusions. Therefore the three levels are: a) level 3, in which they were required to infer individual behaviour of dinosaurs, which was the highest level developed by L and B groups; b) level 4, which means to infer the behaviour of dinosaurs together, in other words, interpret two data patterns at the same time, comprising the level achieved by more groups: G, H, A and N (11th grade); and c) level 5, in which they must choose what is the most suitable conclusion from among those established by the members, this level was achieved only by groups N (10th grade) and J. We want to highlight that no group reached level 6, which implies to be able to apply more data to support the hypothesis or conclusion.

That is why, as mentioned, levels 4 and 5 that require critical evaluation of the argument, using counterargument and rebuttals to judge and select the most appropriate conclusion (Kuhn, 2005), also the presence of both figures in argumentative discourse is an indicative of a high quality of argumentation (Erduran et al., 2004).

9. The levels established by PISA 2006 (OCDE, 2008) require a complex adaptation to be able to assess the group's achievement levels of “explaining phenomena scientifically” and “use of evidence”.

The decision to use PISA levels to assess the levels of attainment in groups for each of the dimensions, modelling and argumentation, has been a major challenge on methodology.

Firstly, the reason for that is because the characteristics of PISA tasks, which means based on multiple or short answers, allowing simple categorization of the responses of students at these levels. However, this does not happen when student's responses are complex, which underlies a more or less complex reasoning about the phenomenon that is being worked. Hence, this adaptation has implied establishing the answer profiles using the criteria to discern at what levels each group was. In fact, in the same group is common to find interventions corresponding to different achievement levels from 1 to 5.

Secondly, we consider quite confusing that PISA propose activities with a closed answer if the purpose is that a student acquires the scientific competency, or what is the same, "*capable of applying scientific knowledge [...] and make decisions about the natural world*" (OCDE, 2004, pp. 290), for which the problems to face must be authentic (Jiménez Aleixandre, 1998), that is to say, close to reality contexts for which there is no single response.

10. The better use of models involves an improvement in the argumentative process.

When we analyse the models that underlie on the arguments made by the groups, it can be concluded that between modelling and argumentation there is a positive relationship, in terms of establishing a complex argument. Those groups whose members have used a larger number of models have developed more complex arguments, which have contributed to provide a complete Courel's Syncline explanation. Likewise, in the groups where the argument has supposed an important part of discourse, because they have redrafted some models of its members in order to be adapted to the data provided and to solve the task, which is discussed in the following conclusion. According to Evagorou, Nicolau and Lymbouridou (submitted) an improvement in one of these scientific practices promotes the best performance of the other one.

11. The argumentation process in a modelling-based activity contributes to a change of model.

As it has been found from groups N and, especially, J, assessing models through argumentation promotes a change of model. In particular this is promoted by rebuttals that criticize students' models until one of them is the most consistent with data, which was also obtained in studies of Mendonça and Justi (2014) who indicate "*the most appropriate model is the one that manages to survive refutation due to its justifications*" (pp. 193). This is related to the fact that modelling is a fundamental activity to learn and develop scientific concepts, and integrates them into models, which is essential to help conceptual change (Nersessian, 1999;

Megalakaki & Tiberghien, 2011), which has been shown in study of Vosniadou and Brewer (1994) who analysed models of students about the day/night cycles.

Nevertheless, due to the lack of evidence, we have to consider this conclusion with caution as this model change has been found in one group, also we should take into consideration whether these students' changes in the model are restricted to the context of that particular activity (Brown, Collins & Duguid, 1989) or whether it is a change that lasts over time and is applicable to other circumstances, what meaningful learning (Ausubel, 2002) is considered.

12. The instructions made by teachers determine the students' decision made during solving problem.

Along the data collection in the classroom, the intervention of teachers has consisted on giving the initial instructions and solving any questions arising in the groups. However, there have been two situations in which its intervention has conditioned the resolution of the proposed activities.

The first one took place during the resolution of the task "Rebuilding the sedimentary basin of As Pontes" (11th grade). In which the first stage implies analysing the stratigraphic columns and satellite photograph. However, teachers indicated that they had to start by explaining the use of each given material, which corresponds to stage 3. As already mentioned, this really was not a huge disturbance in the process modelling of the sedimentary basin, because students have been able to go back to step 1 to manage the problem.

The second case occurred in the activity "The Soria's footprints" in 10th grade, in which teachers indicated to divide the sequence of footprints into sections, focusing students on this issue, reducing the time for argumentation about the possible hypotheses to explain what happened in that sequence of footprints. This has made a difference to the results obtained in Blanco Anaya and Díaz de Bustamante (2014), in which the teacher did not indicate that the sequence should be divided into tranches until the end of the session, encouraging greater variation of arguments about the interpretation of the sequence.

13. Differences have been identified regarding the knowledge among students, which come from different subjects of 11th grade.

In 11th grade, along the first two activities there were almost no differences between the groups which came from the subject of CmC (groups A and B) and ByG (groups J and N). However the last problem, “what is the true story of the Courel’ syncline?”, these differences have been remarkable. CmC groups have only developed the explanation of geological composition, establishing an order in the data provided, what is more, in these groups the solution was given by students who was studying ByG as well. While ByG groups (J and N) have also explained the formation of syncline.

The main reason we considered for that is the fact that the last activity demands knowledge and the articulation of various models. However, the resolution of the activities of "Rebuilding the sedimentary basin of As Pontes" and "The Soria’s footprints" is more simple, as they imply using stratigraphic principles, which is already taught in 10th grade, and applying their knowledge of bipeds and quadrupeds locomotion.

14. Misconceptions related to geology have been detected.

The formation of the sedimentary basin

In 10th grade, we detected two difficulties associated with the formation of the sedimentary basin. One of them is related to the role of water in this process. Thus, the groups G and L have presented difficulties to integrate water in the formation of the sedimentary basin. The other difficulty has been perceived in the L group, in which Loreto considers the order of sediments should be done by colour, which coincides with the results of the study conducted by Ault (1982).

Lateral continuity principle

In 11th grade, the three stratigraphic columns were presented to students as data, requiring them to apply the lateral continuity to represent the same stratum in the three basins. This principle was not applied in the case of groups A and N, in the first case, students developed material model considering the legend of the

materials, while the group N developed a material model for each columns, that means, without establishing a relationship among them.

Using the temporal data

In 10th grade, activity “who were the protagonists?”, the students had to use temporary data based on the time the dinosaurs lived, because temporary data allowed them to conclude which dinosaurs were contemporaries and, in turn, which had existed during the Cretaceous. Nevertheless, three of the four groups used temporary data at the end, when they realized that was the key data. This gives us an idea of rejection that students feel about this kind of information, despite this, all groups used them properly at the end of the task.

For 10th grade, during the resolution of “what is the true story of the Courel’ syncline?”, it was noticed that Juana understood the chronology of millions of years the other way round, that is she ordered the strata from youngest to oldest. Although as it has been shown, after a discussion with her peers she was able to modify that alternative idea.

15. Differences on the achievement of scientific competency have been found regarding the members group gender.

The rubrics to categorize levels of "explaining phenomena scientifically", in chapter 5, and levels of "use of evidence" discussed in chapter 6, show the highest level of performance on both capabilities are achieved by groups composed exclusively by girls, followed by the boy groups and the lowest performance was presented in mixed groups. This pattern is obtained for both educational levels, 10th grade and 11th grade.

In our view, these differences are a consequence of kinds of talk within groups (negotiation, cumulative or dispute). Comparative gender studies conducted in Spain, are linked to other areas of content knowledge, but not in geology, and they affirm that in natural sciences, in general, boys reach higher performance than girls in scientific tasks (Póstigo, Pérez & Sanz, 1999), which is inconsistent with our results.

We are aware that there are studies about the role of gender conducted in other countries, however, we do not consider appropriate to relate them to our study, since gender issues are heavily conditioned by the social and cultural context of a region.

8.3. Educational implications

The educational implications, drawn from the conclusions, are presented above:

From conclusions 1, 2 and 3, that is to say, for the first research objective: *To characterize the modelling process used by students and their achievement for the dimension of “explaining phenomena scientifically”*, the educational implications are:

In our opinion, one of the most favourable aspects for the modelling consists on giving students the opportunity to exteriorize their ideas, enabling teachers to reformulate alternative ideas. Moreover, if we asked students to build a material model even better because that engages them in reasoning based on models, instead of doing a task to merely reproduce the knowledge.

For the task development, students have been supplied with different resources (material and information) to employ them as they express their ideas about the sedimentary basin. As Justi (2006) point out this implies another skill because the students have to assess what representation should develop considering their own criteria. From our perspective, designing activities such these favours students to disconnect from the typical proceeding of "school culture", in which they are trying to generate the response expected by the teacher, despite making decisions for themselves, facing the best procedure for solving the problems.

We agree with Justi (2006) in which elaborating models is a teaching strategy with the potential for students to do science and think about science. Furthermore, since the models include tacit knowledge, that is, knowledge that we are not aware that we have (Franco & Colinvaux, 2000), it is expected that students become aware of that knowledge they have and its deficiencies. According to Duschl and Ellenbogen (2009) *“when students become aware of their own*

learning processes, they gain much richer understandings of the context of their learning” (pp.117).

Related to that, this study has shown that modelling activities have a great advantage allowing students to activate different models, which leads them to generate both fruitful and increasingly complex explanations about systems explained in natural science classes. Although more research is needed to corroborate this increased interaction among models in scientific explanations.

From conclusions 4, 5, 6, 7 and 8, which correspond to the second research objective: *To characterize the argumentation process used by students and their achievement for the dimension of “use of evidence”, the educational implications are:*

The tasks development requiring the argumentative process, allow students to make use of argumentation to assess conclusions drawn by their peers, as it has been identified in this study.

The use of evidence is itself an operation that integrates: 1) theoretical knowledge of a discipline, since the transformation of data in evidence depends on knowledge of the person, and 2) the assessment of knowledge, because with the use of evidence students can justify or refute arguments and models, as it was seen in chapter 7. This reinforces the need to apply the use of evidence in science classes, which has been widely reported in the research.

In our case, the opening of the activity, the number of possible answers, has allowed students to create and assess several arguments. We also believe that the activities related to the footprints are simple in terms of knowledge content, since no specific scientific knowledge is required, which facilitates initiation into the justification and the discussion or evaluation of different theories (Jiménez-Aleixandre, 2008).

Nevertheless, justifications in 11th grade have been few, by the fact that students do not feel the need to justify their arguments as indicated by Sandoval and Millwood (2005), which shows that it must emphasize the usefulness of

justifications, to support the established conclusions, so students can improve their scientific practice of communication and knowledge assessment.

In addition, group work contributes to the practice of argumentation, especially those in which there is a negotiation of understandings, because in that case the quality of the argument is greater. Therefore, we agree with Jiménez Aleixandre (2011), in terms of work groups is essential for: 1) the co-development of the arguments, which, according to Jiménez Aleixandre, predominates attempt to persuasion among group members; and 2) an argumentation debate is established, in which students should consider opposing arguments, which is part of critical thinking (Jiménez Aleixandre, 2010). We consider necessary the last point to strengthen the modelling phase, which involved "convince peers by specific reasoning", because as it was said before, it was missed.

Finally, it needs to be noted that argumentation enables students to acquire knowledge and use it to make judgments (Kuhn, 2005), contributing to an improvement in their critical attitude on scientific issues on which society is immersed.

From conclusions 10 and 11 related to the third research objective: *To examine how modelling and argumentation practices contribute to each other, educational implications are:*

One finding for this thesis implies that the development of both practices together promotes that learning communities are established in which knowledge of its members can be improved and even reinforced. That is why counterarguments and refutes should consider different strategies to express their knowledge and thus persuade their peers. However, more research is needed in this field to reinforce this educational commitment.

In order to achieve that is not enough to establish two-dimensional analysis, modelling and argumentation, but the development of activities that promote so is needed, considering necessary: 1) theoretical models to be employed for solving the task, and 2) the use of different kind of data that may be used by students as

evidence, and that help them to establish the model that fits better to that information. Since the relationship between the two practices focuses on "*the model provides an important anchor to which argumentation can be attached and made productive*" (Passmore & Svoboda, 2012, pp.1551-1552).

In our opinion, the design of teachings sequences involving both practices favours students, first, acquiring and applying scientific knowledge by explaining phenomena and, secondly, justifying and persuading their peers through argumentation.

Finally, as discussed in section 2.5 of the theoretical framework, we believe that the great potential of development of both scientific practices is because being competent in both contributes to provide better explanations scientific phenomena, which is itself the aim of science.

From conclusions 9, 12, 13, 14 and 15, which have been developed apart from research objectives, some educational implications have been found:

The establishment of categories that take into account the progression of students' abilities, in terms of scientific competence, should be considered as a powerful tool for the assessment of competences by secondary teachers. The importance of this lies in the introduction of competencies in the educational curriculum, which has caused some concern among teachers, not so much to develop activities that promote competencies, but to find strategies to evaluate them. Therefore, we believe that the development of categories for the dimensions of scientific competency can serve as a basis for teachers to evaluate these aspects.

Regarding the difficulties concerning the geology content knowledge, we show that students are able to apply several models in solving activities, but it is necessary to put more emphasis on this and dedicate time to think about how the scientific models are related on some phenomena. In sense to favour a geology learning from a global perspective in order to students "*have an overview about how the Earth works and how to use the basic knowledge to explain [...] some of the factors that can cause global changes on the planet*" (Pedrinaci et al., 2013).

8.4. Final considerations

The last section of the thesis discusses what are the limitations that have been found throughout the research process, and to establish future lines of research that emerge from the study.

8.4.1. Limitations of the thesis

The limitations of the thesis are:

a) The application of multiple case studies involves not being able to generalize from the results obtained, which has been discussed in the methodology. However, the main advantage of case studies is that allows us to know in depth the reality (Cohen, Manion & Morrison, 2011), with a better understanding of the interactions established among the students to build models and arguments.

b) The time dedicated to the implementation of the teaching sequences has remained constant, that is, 3 sessions have been used, although in some classrooms more time would be desirable on some tasks, so that students could think about the knowledge that has been addressed in activities. One of the reasons is because of the limited number of hours that determines the curriculum for science subjects, although the content to be taught is extensive, making difficult to teach all the content in few sessions.

c) We realize that we have adapted the Diagram Model of Modelling (Justi & Gilbert, 2002) to analyse activities that were not designed under the guidelines indicated on that scheme, but due to generalization of this diagram, it can be adapted to any modelling activity.

d) The main limitation in the analysis of the argumentation is that it is a very interpretive process in which, despite the objectivity of the researcher, it is often found difficulties related to intentionality with which students are expressed, for instance, it is complex to discern whether students are performing a justification or a conclusion. To reduce interference we have used guidelines established by Kelly, Druker and Chen (1998), hoping to make this analysis in the neatest way possible.

e) The last limitation is related to the analysis of modelling and argumentation jointly, by the fact that the activity used to analyse that has presented considerable difficulties for groups. That has supposed that the data obtained has been reduced to two groups to analyse the contribution of argumentation to the process modelling.

8.4.2. Future lines of research

The future lines of research are discussed below and come from the results and conclusions of this thesis, as well as the motivations of the author.

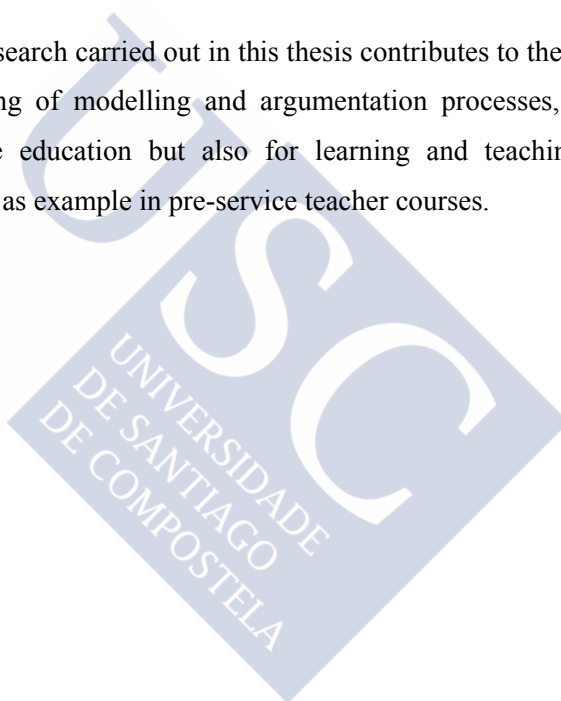
Firstly, one line is to know more about how students use their mental models during the modelling in groups, that is, are they able to develop a group mental consensus model? Or, will they employ the set of mental models from all group members? Or, on the contrary, individual mental models are specified so that they conformed the group expressed model?. Although it has been mentioned repeatedly during this work that mental models are not accessible to researchers, that is why to deepen in this knowledge can help us to understand better the process of modelling in groups, for instance, doing personal interviews. Likewise, at the individual level, it is interesting to know how they evolve models, that is, what is established before the mental model or the model expressed from which the individual develops the mental model? Finally, being able to interpret what extent each student contributes to the development of the group consensus model with its own mental model.

We are aware that the answer to these questions is not straightforward and requires very cautious design activities, performing individual interviews, so students provide us information to get an idea of how the modelling process is.

Secondly, the other line of research is related to the development of activities which include scientific modelling and argumentation practices in an integrated manner. The results of this thesis predict improvements in the construction of knowledge by students when developing such activities. Moreover, as noted, this is an emerging line of research, so it is interesting to understand how these

practices interact in the classroom, as both provide a basis for the development of learning both practical and content scientific knowledge. In order to develop this line of research the design of activities that requires the use of data to strengthen the argument and the use and development of theoretical models. Therefore, we can learn more about the guidelines established between both practices and thus develop and test a categorization that includes the progression of modelling and argumentation jointly.

We hope that the research carried out in this thesis contributes to the improvement on the understanding of modelling and argumentation processes, not only for research in science education but also for learning and teaching science in classrooms, using it as example in pre-service teacher courses.





IV REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS





REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agraso Federico, M.F., Eirexas Santamaría. F., Jiménez-Aleixandre, M.P. y Gutiérrez Roger, X. (2007). Un Sistema De Calefacción Sustentable: Decisiones Sobre Un Problema Auténtico. *Educatio Siglo XXI*, 25, 51-68.
- Aikenhead, G. S. (2004). Science-Based Occupations and the Science Curriculum: Concepts of Evidence. *Science Education*, 89(2), 242-275.
- Aubusson, P. J., y Fogwill, S. (2006). Role play as analogical modelling in science. En: P.J. Aubusson, A.G. Harrison y S.M. Ritchie (pp. 93-104). *Metaphor and analogy in science education*. Dordrecht: Springer.
- Ault, C. R. (1982). Time in geological explanations as perceived by elementary school students. *Journal of Geological Education*, 30, 304-309.
- Ault, C.R. (1984). Everyday perspective and exceedingly unobvious meaning. *Journal of Geological Education*, 32, 89-91.
- Ausubel, D. P. (2002). Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva. Barcelona: Paidós.
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*. París:Vrin [Traducción: La formación del espíritu científico, 1974, Buenos Aires: Siglo XXI]
- Baker, M.J. (2009). Argumentative interactions and the social construction of knowledge. En: N.M. Mirza y A-N. Perret-Clermont (Eds.) *Argumentation and Education: Theoretical Foundations and Perspectives* (pp. 127-144). Berlin: Springer Verlag.
- Barsó, D., Cabrera, L., Marfil, R., y Ramos, E. (2003). Catchment evolution of the continental strike-slip As Pontes basin (tertiary, NW Spain): constraints from

- the heavy mineral analysis. *Revista sociedad geológica de España*, 16(1-2), 73-89.
- Berland, L. K., y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanations. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Berland, L. K. y McNeill, K. L. (2012). For whom is argument and explanation a necessary distinction? A response to Osborne and Patterson. *Science Education*, 96(5), 808-813.
- Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante, J. (2012). A modelling experience to improve stratigraphy understanding. Trabajo presentado en el Congreso European Conference on Educational Research (ECER), 17- 21 de septiembre de 2012.
- Blanco Anaya, P. y Díaz de Bustamante, J. (2014). Argumentación y uso de pruebas: Realización de inferencias sobre una secuencia de icnitas. *Enseñanza de las ciencias*, 32(2), 35-52.
- Boulter, C. y Buckley, B. (2000) Constructing a typology of models for science education. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.). *Developing models in science education* (pp. 41–57). Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.
- Böttcher, F., y Meisert, A. (2011). Argumentation in science education: A model-based framework. *Science & Education*, 20(2), 103-140.
- Braaten, M. y Windschitl, M. (2011). Working Toward a Stronger Conceptualization of Scientific Explanation for Science Education. *Science education*, 95(4), 639-669.
- Bravo, B. (2012). El desempeño de las competencias científicas de uso de pruebas y modelización en un problema de gestión de recursos marinos. (Tesis doctoral). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Brown, A. L., y Palincsar, A. S. (1989). Guided, cooperative learning and individual knowledge acquisition. *Knowing, learning, and instruction: Essays in honor of Robert Glaser*, 393-451.

- Brown, J. S., Collins, A., y Duguid, P. (1989). Situated cognition and the culture of learning. *Journal of Applied Psychology*, 74(1), 18, 32-42.
- Burton, E. P., y Mattiotti, G. K. (2011). Cognition and self-efficacy of stratigraphy and geologic time: Implications for improving undergraduate student performance in geological reasoning. *Journal of Geoscience Education*, 59(3), 163-173.
- Cañas, A., Martín-Díaz, M. J., y Nieda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico*. Madrid: Alianza Editorial.
- Cazden, C. (2001). *Classroom discourse: The language of teaching and learning*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique* (2a edición). Grenoble, France: La Pensée Sauvage.
- Chinn, C. A., y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.
- Clement, J. (1989). Learning via Model Construction and Criticism - Protocol evidence on sources of creativity in science. En Glover, J.A., Ronning, R.R. y Reynolds, C.R. (eds.). *Handbook of Creativity*, pp. 341-381. Nueva York: Plenum.
- Clement, J. J. (2008). Student/Teacher co-construction of visualizable models in large group discussion. En: J. J. Clement y M. A. Rea-Ramirez (Eds.) *Model based learning and instruction in science* (pp. 11-22). Dordrecht: Springer.
- Clement, J. J., y Rea-Ramirez, M. A. (Eds) (2008). *Model based learning and instruction in science*. Dordrecht: Springer.
- Cohen, L., Manion, L. Y Morrison, K. (2011). *Research methods in educación*. London: Routledge Falmer.
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Competencia como aplicación de conocimientos científicos en el laboratorio: ¿cómo evitar que se

- oscurezcan las manzanas?. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 18(70), 19-26.
- Crujeiras Pérez, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (en revisión). La justificación en los ítems de PISA: análisis de las respuestas de alumnado de secundaria. *Eureka*.
- Dahl, J., Anderson, S. W., y Libarkin, J. C. (2005). Digging into Earth Science: Alternative conceptions held by K-12 teachers. *Journal of Science Education*, 12(2), 65-68.
- Díaz de Bustamante, J. y Jiménez Aleixandre, M. P. (1999). Aprender ciencias, hacer ciencias: resolver problemas en clase. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 20, 9-16.
- Driver, R. Squires, A., Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1994). *Making sense of secondary science: research into children's ideas*. London:Routledge
- Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). Children's ideas and the learning of science. *Children's ideas in science*, 1-9.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science education*, 84(3), 287-312.
- Dove, J. (1997). Student ideas about weathering and erosion. *International Journal of Science Education*, 19(8), 971-980
- Duit, R. y Glynn, S. (1996). Mental modelling. En: G. Welford, J. Osborne, y P. Scott, *Research in science education in Europe*, pp.166-176. Farnes Press:UK
- Duschl, R. A. (1990). *Restructuring science education: The importance of theories and their development*. New York: Teachers College Press.
- Duschl, R. (2003). Assessment of inquiry. En: J.M. Atkin y J.E. Coffey (Eds.), *Everyday assessment in the science classroom* (pp.41-59). Washington, DC: National Science Teaching Association Press.
- Duschl, R. y Gitomer, D. (1991). Epistemological perspectives on conceptual

- change: implications for educational practice. *Journal of research in science teaching*, 28(9), 839-858.
- Duschl, R. y Erduran, S. (1996). Modelling the growth of scientific knowledge. *Research in Science Education in Europe*, 153-165.
- Duschl, R. y Ellenbogen, K. (2009). Argumentation and Epistemic Criteria: Investigating Learner' s Reasons for Reasons. *Educación química*, 20(2), 111-118.
- Duschl, R., Ellenbogen, K. y Erduran, S. (1999). Understanding dialogic argumentation among middle school science students. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association, montreal, April.
- Erduran, S. (2008). Methodological Foundations in the Study of Argumentation in Science. En: S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*, (pp. 137-159). Dordrecht, the Netherlands: Springer
- Erduran, S., Simon, S., y Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: developments in the use of Toulmin's Argument Pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Erickson, F. (1998). Qualitative Research Methods for Science Education. En: Fraser, B.J. y Tobin, K.G. (pp.1155-1173). *International Handbook of Science Education (part 2)*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Evagorou, M., y Osborne, J. (2013). Exploring young students' collaborative argumentation within a socioscientific issue. *Journal of Research in Science Teaching*, 50(2), 209-237.
- Evagorou, M., Lymbouridou, Chr. y Nicolaou, Chr. (2013). Using models with elementary school students as part of argumentation and decision making in a socio-scientific issue. Trabajo presentado en ESERA Conference, Nicosia, Chipre, del 2 al 9 de septiembre.

- Evagorou, M., Nicolaou, Chr. y Lymbouridou, Chr. (en revisión). Modeling and Argumentation with Elementary School Students. *Journal Research Science Teaching*.
- Franco, C., y Colinvaux, D. (2000). Grasping mental models. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.). *Developing models in science education* (pp. 93-118). Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.
- García-Rodeja Gayoso, I. y Lima de Oliveira, G. (2012). Sobre el cambio climático y el cambio de los modelos de pensamiento de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(3), 195-218.
- Gee, J. P. (2005). La ideología en los discursos: lingüística social y alfabetizaciones [traducción de Pablo Manzano]. Madrid: Morata.
- Gee, J. P. y Handford, M. (eds.) (2012). *The Routledge Handbook of Discourse Analysis*. New York: Routledge.
- Gibbs, G. (2007). *Analyzing Qualitative Data*. London: Sage Publications.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Gilbert, J. K., y Boulter, C. J. (1998). Learning science through models and modelling. En: B. J. Fraser y K. G. Toben (Eds.), *International Handbook of Science Education*, (pp. 53-66). Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J., y Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.). *Developing models in science education* (pp. 3-17). Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.
- Gilbert, J.K., Pietrocola, M., Zylbersztajn, A., y Franco, C. (2000). Science and Education, Notions of Reality, Theory and Models. En: J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.). *Developing models in science education* (pp. 19-40). Dordrecht. Kluwer Academic Publisher.

- Gilbert, J. K. (2005). Visualization: A metacognitive skill in science and science education. En Gilbert, J. K. (Eds.). *Visualization in science education* (pp. 9-27). Dordrecht: Springer
- Glynn, S. M. (1991). Explaining science concepts: A teaching-with-analogies model. En S. Glynn, R. Yeay y B. Britton (Eds.), (pp. 219-240). Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Glynn, S.M. y Duit, R. (Eds.) (1995). *Learning science in schools: Research reforming practice*. Hillsdale,, N.J.: Erlbaum
- Glynn, S. M., Britton, B. K., Semrud-Clikeman, M., y Muth, K. D. (1989). Analogical reasoning and problem solving in science textbooks. En Glover, J.A., Ronning, R.R. y Reynolds, C.R. (eds.). *Handbook of Creativity*, pp. 383-398. Nueva York: Plenum.
- Greca H. M. y Moreira, M. A. (1998). Modelos mentales y aprendizaje de la Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*, 16, 289-303.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22, 1-11.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E. y Smith, C. (1991). Understanding models and their use in science: conceptions of middle and high school students and experts. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(9), 799-822.
- Grotzer, T. A., y Basca, B. B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29
- Gutiérrez-Marco, J. C. (2005). El primer mirador geológico de Galicia (gran pliegue acostado de O Courel, Lugo). *De Re Metallica*, 5, 13-20.
- Happs, J.C. (1982). *Rocks and minerals*. Science Education Research. Unit working paper No. 204. New Zealand: Waikato University
- Harrison, A., y Treagust, D. (2000). A Typology of School Science Models. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1011-1026.

- Harrison, A. G. (2008). Teaching with analogies: Friends of foes? In A. G. Harrison, y R. K. Coll (Eds.), *Using analogies in middle and secondary science classrooms* (pp. 6-21). California: Corwin Press
- Hewson, P. (1981). A conceptual change approach to learning science. *International Journal of Science Education*, 3(4), 82-98.
- Hewson, P. W., y Beeth, M. E. (1995). Enseñanza para un cambio conceptual: ejemplos de fuerza y de movimiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(1), 25-35.
- Hodson, D. (1993). Re-thinking old ways: Towards a more critical approach to practical work in school science. *Studies in Science Education*, 22, 85-142.
- Hug, B., y McNeill, K. L. (2008). Use of First-hand and Second-hand Data in Science: Does data type influence classroom conversations?. *International Journal of Science Education*, 30(13), 1725-1751.
- Hurd, D., Johnson, S. M., Matthias, G. F., McLaughlin, C. W., Snyder, E. B. Y Wright, J. D. (1989). *General Science: A voyage of Discover*. New Jersey:Prentice Hall.
- Izquierdo, M. (2000). Fundamentos epistemológicos. En: F. J. Perales Palacios e P. Cañal de León *Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Alcoy:Marfil.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: indagación con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 16(2), 203-216.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). Designing Argumentation Learning Environments. En: S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*, (pp. 137-159). Dordrecht, the Netherlands: Springer
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). Las prácticas científicas en la investigación y en clase de ciencias. Trabajo presentado en XXV Encuentros de didáctica de

las Ciencias Experimentales del 5 al 8 en Santiago de Compostela.

Jiménez Aleixandre, M. P. y Díaz de Bustamante, J. (2003). Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas. *Enseñanza de las ciencias*, 21(3), 359-378.

Jiménez Aleixandre, M. P., y Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: an overview. Enn S. Erduran y M. P. Jiménez Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.

Jiménez Aleixandre, M. P., y Puig, B. (2011). The role of justification in integrating evidence in arguments: Making sense of gene expression. Trabajo presentado en ESERA conference, Lyon (Francia), del 5 al 9 de septiembre.

Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B., y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.

Jiménez Aleixandre, M. P., Bugallo Rodríguez, A., y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "Doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.

Jiménez-Aleixandre, Díaz de Bustamante, J. y Duschl, R. A. (1998). Scientific cultura and school culture: epistemic and procedural components. Trabajo presentado en el congreso anual NARST, San Diego, abril 1998.

Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press.

Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(2), 173-184.

Justi, R. (2011). Las concepciones de modelo de los alumnos, la construcción de modelos y el aprendizaje de las ciencias. En: Caamaño, A. et al., *Didáctica de la Física y la Química*. Graó:Barcelona.

- Justi, R. S., y Gilbert, J. K. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, 24(4), 369-387.
- Justi, R. y Gilbert, J. (2006). The role of analog models in the understanding of the nature of models in chemistry. En: P.J. Aubusson et al. (eds.), *Metaphor and Analogy in Science Education* (pp. 119-130). Springer: Netherlands.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En: R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.) *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp.99-100). Rotterdam: Sense Publishers
- Kelly, G. J. y Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing, *Science Education*, 83(3), 115-130.
- Kelly, G. J., Druker S. y Chen, C. (1998). Students' reasoning about electricity: combining performance assessment with argumentation analysis. *International Journal of Science Education*, 20(7), 849-871.
- Kelly, G. J., Regev, J. y Prothero, W. (2008). Analysis of lines of reasoning in written argumentation. En S. Erduran y M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*, (pp. 137-159). Dordrecht, the Netherlands: Springer.
- Kerlin, S. C., McDonald, S. P. y Kelly, G. J. (2010). Complexity of secondary scientific data sources and students' argumentative discourse. *International Journal of Science Education*, 32(9), 1207-1225.
- King, C. (2008). Geoscience education: an overview, *Studies in Science Education*, 44(2), 187-222.
- King, C. (2010). An Analysis of Misconceptions in Science Textbooks: Earth science in England and Wales. *International Journal of Science Education*, 32(5), 565-601
- Koslowski, B. (1996). *Theory and evidence: The development of scientific*

- reasoning*. MIT Press.
- Koslowski, B., Marasia, J., Chelenza, M., y Dublin, R. (2008). Information becomes evidence when an explanation can incorporate it into a causal framework. *Cognitive Development*, 23(4), 472-487.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kuhn, T. S. (1962). *La estructura de las revoluciones científicas*. México DF: Fondo de Cultura Económica.
- Lawson, A. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387-1408.
- Lederman, N. G. y Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding De-Natured Science: Activities that promote understandings of the Nature of Science. En W. F. McComas (ed.) *The nature of science in science education*. Dordrecht:Kluwer.
- Lemke, J. L. (1997). *Aprender a hablar ciencia: lenguaje, aprendizaje y valores*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Lincoln, Y.S. y Guba, E.G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hill, Sage.
- Lockley, M. G. (1993). *Siguiendo las huellas de los dinosaurios*. Madrid:McGraw-Hill
- Magnusson, S. J., Palincsar, A. S., Hapgood, S., y Lomangino, A. (2004). How should learning be structured in inquiry-based science instruction?: investigating the interplay of 1st-and 2nd-hand investigations. In *Proceedings of the 6th international conference on Learning sciences* (pp. 318-325). International Society of the Learning Sciences.
- Matte, P. (1968). La structure de la virgation hercynienne de Galice (Espagne). *Géologie Alpine*, 44, 157-280.

- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2008). Inquiry and scientific explanations: Helping students use evidence and reasoning. *Science as inquiry in the secondary setting*, 121-134.
- McNeill, K. L. y Krajcik, J. (2012). Supporting grade 5-8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence and reasoning framework for talk and writing. New York, NY: Pearson Allyn & Bacon.
- McPhee, J. (1981). *Basin and range*. New York: Farrer, Strauss and Giroux.
- Megalakaki, O. y Tiberghien, A. (2011). A qualitative approach of modelling activities for the notion of energy. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 9(1), 157-182. Consultado el 27/7/2011, de http://www.investigacionpsicopedagogica.org/revista/articulos/23/english/Art_23_31.pdf
- Mendonça, P.C.C. y Justi, R. (2011). Contributions of the Model of Modelling Diagram to the Learning of Ionic Bonding: Analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41, 479-503.
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2013a). Modelling-based chemistry teaching and the development of scientific curricular arguments by students. Trabajo presentado en ESERA Conference, Nicosia, Chipre, del 2 al 9 de septiembre.
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2013b). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35(14), 2407–2434.
- Mendonça, P. C. C., y Justi, R. (2014). An instrument for analyzing arguments produced in modeling-based chemistry lessons. *Journal of Research in Science Teaching*, 51(2), 192-218.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2006). Ley Orgánica 2/2006 del 3 de mayo de Educación. Boletín Oficial del Estado del 4 de mayo del 2006, 106, 17158-17207
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2007). Real Decreto 1631/2006

- Enseñanzas Mínimas Educación Secundaria Obligatoria. Boletín Oficial del Estado del 5 de enero, 5-1, 677-773.
- Ministerio de Educación, Ciencia y Deporte (MECyD) (2013). Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la mejora de la calidad educativa. Boletín Oficial del Estado del 10 de diciembre de 2013, 296, 97858-97921.
- Mortimer, E., y Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classrooms*. Berkshire:Open University Press.
- Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments, en Morgan, M.S. y Morrison, M. (eds.). *Models as mediators*, pp. 10-37. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nagel, E. (1961). *La estructura de la ciencia*. Paidós:Barcelona
- Nersessian, N. J. (1999). Model-based reasoning in conceptual change. En Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (Eds.). *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 5-22). Nueva York:Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Nersessian, N. J. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. En: P. Carruthers, S. Stich and M. Siegal (pp. 133-153). *The Cognitive Basis of Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Norman, D.A. (1983). Some observations on mental models. En Gentner y Stevens, A.L. (Eds.). *Mental models* (pp. 6-14). Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2002). Definition and Selection of Key Competencies (DeSeCo). Consultado el 26/02/2013 en <http://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2004). Informe PISA 2003. Aprender para el mundo de mañana. Consultado el 26/02/2013 en <http://www.oecd.org/pisa/39732493.pdf>
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2006).

- Assessing scientific, reading and mathematical literacy: A framework for PISA 2006*. Paris: Author.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2008). *Informe PISA 2006. Competencias científicas para el mundo del mañana*. Madrid: Santillana
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009). *Assessment framework. Key competences in reading, mathematical and science*. Paris: Author.
- Osborne, J. (2011). Science teaching methods: a rationale for practices. *School Science Review*, 93(343), 93-103
- Osborne, J. F., y Patterson, A. (2011). Scientific argument and explanation: A necessary distinction?. *Science Education*, 95(4), 627-638.
- Osborne, J., Erduran, S., y Simon, S. (2004). Enhancing the Quality of Argumentation in School Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Passmore, C. M., y Svoboda, J. (2012). Exploring opportunities for argumentation in modelling classrooms. *International Journal of Science Education*, 34(10), 1535-1554.
- Passmore, C., Stewart, J., y Cartier, J. (2009). Model-Based Inquiry and School Science: Creating Connections. *School Science and Mathematics*, 109(7), 394-402.
- Pedrinaci, E. (2000). La enseñanza y el aprendizaje del conocimiento geológico. *Didáctica de las Ciencias experimentales, Teoría y Práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Alcoy España: Ediciones Marfil SA Capítulo, 20, 479-503.
- Pedrinaci, E. (2001). *Los procesos geológicos internos*. Madrid: Síntesis.
- Pedrinaci, E. (2012). La noción de competencia científica proporciona criterios para seleccionar, enseñar y evaluar los conocimientos básicos. En: Pedrinaci,

- E (coord), Caamaño, A., Cañal, P. y de Pro, A. *11 ideas Clave. EL desarrollo de la competencia científica* (pp. 39-57). Barcelona:Graó
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona, V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(2), 117-129.
- Perrenoud, P. (2008). Construir las competencias, ¿es darle la espalda a los saberes?. Red U. Revista de Docencia Universitaria, número monográfico II "Formación centrada en competencias (II)". Consultado el 17/9/2013 en http://www.redu.m.es/Red_U/m2
- Perrenoud, P. (2012). *Cuando la escuela pretende preparar para la vida. ¿Desarrollar competencias o enseñar otros saberes?* Barcelona: Graó.
- Plowman, L. y Stephen, C. (2008). The big picture? Video and the representation of interaction. *British Educational Research Journal*, 34(4), 541-565.
- Pluta, W. J., Chinn, C. A., y Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(5), 486-511.
- Póstigo, Y., Pérez Echeverría, M. P. y Sanz, A. (1999). Un estudio acerca de las diferencias de género en la resolución de problemas científicos. *Enseñanza de las ciencias experimentales*, 17(2), 247-258.
- Puig, B. (2013). O desempeño da competencia de uso de probas sobre a expresión dos xenes en secundaria (Tesis doctoral). Universidade de Santiago de Compostela, Santiago de Compostela.
- Reiser, B. J., Berland, L. K., y Kenyon, L. (2012). Engaging Students in the Scientific Practices of Explanation and Argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8-13.

- Romero, T. R. L., y Pietrocola, M. (2005). Modelos e explicações: a construção da realidade e suas bases emocionais. Trabajo presentado en V Encontro Nacional De Pesquisa Em Educação Em Ciências, en Bauru, SP.
- Sadler, T. D. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of research. *Journal of research in science teaching*, 41(5), 513-536.
- Sadler, T.D. (Ed) (2011). *Socio-scientific issues in the classroom: teaching, learning and research*. Dordrecht: Springer.
- Salmon, W. C. (1989). Four decades of scientific explanation. En: Kitcher, P y Salmon, W. C. (Eds.). *Scientific Explanation*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Sampson, V., y Clark, D. (2008). Assessment of the ways students generate arguments in science education: Current perspectives and recommendations for future directions. *Science Education*, 92(3), 447- 472.
- Sánchez Jiménez, J. M. (1995). Comprender el enunciado primera dificultad en la comprensión de problemas. *Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales*, 5, 37-45.
- Sandoval, W. A. (2003). Conceptual and epistemic aspects of students' scientific explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(1), 5-51.
- Sandoval, W. A. y Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55
- Sanz López, J., Expósito Vaqueiro, C. M., y Montesinos López, J. R. (2000). Estratigrafía y conodontos del Devónico Inferior del sinclinal del Caurel-Peñalba (NO de España). En: Díez, J.B. y Balbino, A.C. (eds), *I Congreso Ibérico de Paleontología, XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología y VII International Meeting of IGCP 421*, Évora 2000.

- Schwarz, B. B., Neuman, Y., Gil, J., e Ilya, M. (2003). Construction of collective and individual knowledge in argumentative activity. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 219-256.
- Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632-654.
- Sequeiros, L., Pedrinaci, E., y Berjillos, P. (1996). Como enseñar y aprender los significados del tiempo geológico: algunos ejemplos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(2), 113-119.
- Stake, R. (1998). Investigación con estudio de casos. Madrid: Morata.
- Stake, R.E. (2003). Case studies. En: Denzin, N.K., y Lincoln, Y.S. (Eds), *Strategies of Qualitative Inquiry*, (pp.134-164), Thousand Oaks: SAGE Publications.
- Sóñora, F., García Rodeja, I., y Brañas, M. (2001). Discourse analysis: Pupils' discussions of soil science. En: I. García-Rodeja, J. Díaz, U. Harms y M.P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Proceedings of the 3rd ERIDOB Conference* (pp. 313–326). Santiago de Compostela: University of Santiago de Compostela.
- Tiberghien, A., Vince, J., y Gaidioz, P. (2009). Design-based Research: case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31(17), 2275–2314.
- Toulmin, S. (1958, edición de 1964). *The uses of argument*. Cambridge:University Press.
- Trend, R. (1998). An investigation into understanding of geological time among 10- and 11-year-old children. *International Journal of Science Education*, 20, 973–988.
- Unión Europea (2006). Recommendation of the European Parliament and of the

- Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. Official Journal of the European Union, 30-12-2006, L 394/10-L 394/18. Consultado el 2/3/2010 en <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006H0962&from=EN>
- Van Dijk, T. A. (2012). Discourse and knowledge. En: J. P. Gee, y M. Handford, (eds.) (pp.587-603). *The Routledge Handbook of Discourse Analysis*. New York: Routledge.
- Van Eemeren, F. H. (2012). *Maniobras estratégicas en el discurso argumentativo*. Madrid:CSIC
- Verret, M. (1975). *Le Temps des études..* Lille: Atelier Reproduction des thèses, Université de Lille III; Paris: diffusion H. Champion.
- Vosniadou, S., y Brewer, W. F. (1994). Mental models of the day/night cycle. *Cognitive science*, 18(1), 123-183.
- Wegerif, R. y Mercer, N. (1997) A Dialogical Framework for Investigating Talk. En: Wegerif, R. y Scrimshaw, P. (Eds). *Computers and Talk in the Primary Classroom* (pp 49-65). Clevedon:Multilingual Matters
- Xunta de Galicia (2007). Decreto 133/2007, do 5 de xullo, polo que se regulan as ensinanzas da educación secundaria obrigatoria na Comunidade Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 13 de julio de 2007.
- Xunta de Galicia (2008). Decreto 126/2008, del 19 de junio, por el que se establece la ordenación y el curriculum de bachillerato en la Comunidad Autónoma de Galicia. Diario Oficial de Galicia, 23 de junio de 2008.
- Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods* (3º ed.). London: SAGE Publications.
- Zemal-Saul, C., McNeill, K. L., y Hershberger, K. (2013). *What's your evidence? Engaging k-5 students in constructing explanations in science*. New York, NY: Pearson Allyn & Bacon.
- Ziman, J. (2003). *¿Qué es la ciencia?* Madrid: Cambridge University Press.

Zohar, A., y Nemet, F. (2002). Fostering students' argumentation skills through bioethical dilemmas in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 35–72.







ANEXOS



ANEXOS

Anexo I

	Pasos MMD (Justi y Gilbert, 2002)	CORRESPONDENCIA CON LA ACTIVIDAD	GRUPO G intervenciones	GRUPO H intervenciones	GRUPO L intervenciones	GRUPO N intervenciones
ETAPA 1	Definir los objetivos	Comprender que se va a elaborar un modelo de cuenca sedimentaria	1-6	5-15 24-29	10-25	42-45
	Tener experiencias con el "objeto" a modelar	Identificar los materiales proporcionados como parte de una cuenca sedimentaria. Analizar las características de los materiales.	7-12 13-22 26 32	18-23 86-96	26-38	30-41 88-96
	Seleccionar el "origen" del modelo	Establecer las analogías entre los materiales y los elementos: Materiales=Sedimentos Recipiente=cuenca Agua= agente de transporte	33-55	33-35 39-83		46-87
			33-41	44-46, 60, 62		50-54,66,68
			No explícito	31, 76		77
63 (pero no lo relacionan con el agua que le damos) 121	41, 43, 51, 52, 58, 71		84-87			
Elaborar un modelo mental	Elaborar un modelo mental para construir el modelo de cuenca sedimentaria	Implícito	Implícito	Implícito	Implícito	
ETAPA 2	Expresar usando alguna de las formas de representación	Describir cómo se van a depositar los materiales en la cuenca: Criterio de orden Proceso de formación	121 123-141	29 97-116 122-136 137-140 141-152	39-45 54-69	10-29 150-152
ETAPA 3	Llevar a cabo experimentos mentales	Valorar diferentes hipótesis de cómo sedimentarán los materiales según sus características y el contexto empleado		36-37 117-121		101-149
	Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales	Construir el modelo material partiendo del modelo mental	152-156	156-170	46-53 71-82	157-167
ETAPA 4		Evaluar el propio modelo material de cuenca sedimentaria. ¿Cumple lo esperado?	157 162	171-177	83-86??	168-170

Anexo II

Pasos MMD (Justi y Gilbert, 2002)		CORRESPON DENCIA CON ACTIVIDAD	GRUPO A intervenciones		GRUPO B intervenciones		GRUPO J intervenciones		GRUPO N intervenciones	
			1º día	2º día	1º día	2º día	1º día	2º día	1º día	2º día
ETAPA 1	Definir los objetivos	Entender que van a elaborar el modelo material de cuenca sedimentaria de As Pontes			No explícito pero si que tienen claro el objetivo		46-47			
	Seleccionar el "origen" del modelo	Interpretar la información proporcionada: - Imagen - Columnas estratigráficas		40-46 (leyenda)			98-107		210 214	
				51 57-59 67-71 (b)	4-10 22-30 36-37 86-90 95? 100? 106-108	135 140 257 267-270 291-295 328	91 95	181- 188 219- 221 226 281- 282	11	
ETAPA 2	Expresar usando alguna de las formas de representación	Expresar las características de la cuenca sedimentaria	44-46			31-35 41-45 55-57 101-102	143-145 171-175 209-214 277-280		118- 129 217	
ETAPA 3	Llevar a cabo experimentos mentales	Convencer a la audiencia mediante razonamientos específicos.	50-77			64-68	108 (109 hay acuerdo) 221-247			

Pasos MMD (Justi y Gilbert, 2002)	CORRESPON DENCIA CON ACTIVIDAD	GRUPO A intervenciones		GRUPO B intervenciones		GRUPO J intervenciones		GRUPO N intervenciones	
		1º día	2º día	1º día	2º día	1º día	2º día	1º día	2º día
Planificar y llevar a cabo pruebas experimentales	Planificar y construir la maqueta (NOTA: Consideramos que la asignación de los materiales se hace en esta etapa, como parte de la planificación de la construcción)	1-43	13	16	11-16	69	26	85-	35
		47-49	21-25 34-39 47-60 61-71	30-37 42-50 52-55 61-66 72-84 (b)	17-20 38-40 46-54 58-63 69-85 91-94 96-99 113- 115	77-97 121 124 146-159 168-170 176-194 215-220 258-266 281-287 299-311 317-327 329-336 362-397	56-61 76-80 96-97 102- 106 113- 139	117 40-78 88- 106 189- 204 238- 258 261- 280 283- 353 392 396- 414	
ETAPA 4	Comparar la maqueta realizada con el esquema realizado por geólogos para evaluarla En caso de ser fallido, el error puede ser de dos tipos: - representación - interpretación		115- 137		148- 159		220- 237		235- 318