

# La incorporación de la teoría de la evolución biológica a la educación primaria: posibilidades y obstáculos

Autor/a: Lucía Vázquez Ben

---

Tese de doutoramento UDC 2019

Director/a: Ánxela María Bugallo Rodríguez

Programa de doutoramento de Equidade e Innovación en Educación





## DEPARTAMENTO DE PEDAGOXÍA E DIDÁCTICA

A doutora Ánxela María Bugallo Rodríguez, profesora contratada doutora da Área de Didáctica das Ciencias Experimentais da Universidade da Coruña

FAI CONSTAR:

Que o traballo de investigación que se recolle na memoria titulada:

**La incorporación de la teoría de la evolución biológica a la educación primaria: posibilidades y obstáculos**, desenvolvido dentro do Programa de Axuda Predoutoral da Xunta de Galicia (código ED48A-2016/291) e das Axudas para estancias predoutorais INDITEX-UDC 2017.

foi realizado baixo a miña dirección pola graduada D<sup>a</sup> Lucía Vázquez Ben no Departamento de Pedagogía e Didáctica da Universidade da Coruña, AUTORIZA a súa presentación como Tese de Doutoramento para a obtención do grao de doutora e poder optar á Mención Doutoramento Internacional por parte da interesada.

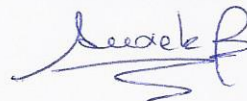
A Coruña, Setembro de 2019

Asdo. Autora



Lucía Vázquez Ben

Asdo. Directora



Ánxela M<sup>a</sup> Bugallo Rodríguez



## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría dar las gracias a todas las personas e instituciones que, de una forma u otra, a lo largo de estos cuatro años, e incluso mucho antes, han hecho posible el presente trabajo de investigación.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a la Xunta de Galicia por su Programa de Ayudas a la etapa predoctoral (código ED48A-2016/291), porque me permitió iniciarme en la docencia universitaria y, sobre todo, dedicarme a la tesis a tiempo completo. También a las Ayudas para estancias predoctorales INDITEX-UDC 2017, que sufragaron mi estancia de 3 meses en Rutgers University (New Jersey, EEUU), haciendo posible la solicitud de la Mención de Doctorado Internacional.

En segundo lugar, a mi directora de tesis, ahora amiga, Ánxela Bugallo Rodríguez. Con ella comenzó este viaje, que se remonta a 3º de Grado de Educación Primaria, cuando decidí usar el módulo de eslabones intermedios del Aquarium Finisterrae (A Coruña) para uno de los trabajos del curso. Luego llegó el Trabajo de Fin de Grado en 4º, que podría haber sido de cualquier otro tema de Ciencias Naturales, pero la evolución y la genética nos apasionaban a ambas; así que, ¿por qué cambiar? Esa fue mi entrada oficial en la didáctica de la evolución. Nos separamos momentáneamente durante el Trabajo de Fin de Máster, en el que seguí trabajando sobre el tema, aunque de la mano de Mar Rodríguez Romero, quien me animó a continuar investigando. Finalmente, nos reunimos de nuevo en el Programa de Doctorado y desde entonces hemos trabajado codo con codo para sacar este proyecto de investigación adelante. Por eso este trabajo es tan mío como suyo. Muchas gracias, Ánxela, por tu paciencia, por tu apoyo incondicional, por tu preocupación y tu compromiso, por confiar en mí, por ayudarme a crecer; por ser, en definitiva, una inmejorable compañera.

A la profesora Ravit Golan Duncan, de la Universidad de Rutgers (EEUU), sus colaboradores y su grupo de investigación, por recibirme con los brazos abiertos y dejarme ser parte activa en todas sus reuniones y proyectos. No os podéis imaginar cuánto he podido aprender *de* vosotros y *con* vosotros. Y a todos los amigos y amigas que hice en New Jersey, por hacerme sentir como en casa a 5000km de distancia.

Gracias a los compañeros y compañeras de la facultad, del departamento y del programa de doctorado, por ayudarme a sobrellevar esta agitada travesía. Y gracias a todos mis

compañeros y compañeras de Santiago, por acogerme tan bien desde el primer momento. Gracias por las oportunidades brindadas, por las soluciones en los momentos más críticos, por los consejos, las penas, alegrías y aventuras compartidas. También a todos los participantes de la 4º Escuela de Doctorado, porque en solo dos días hicisteis de un grupo de desconocidos una familia. A mis estudiantes de grado, por ponérmelo tan fácil. A Andrea, por las enriquecedoras charlas sobre ciencias, género, tesis y dramas varios, y por arrancarme del despacho para tomar algo y ver la luz del sol.

Igualmente quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todos esos profesionales del mundo educativo que, como entrevistados o participantes del grupo de discusión, compartieron su saber y experiencia conmigo. A ese encantador grupo de alumnos y alumnas de 5º de educación primaria y su maravillosa maestra, Elena, por abrirme las puertas de su clase con tanto entusiasmo y ofrecer tanto por tan poco.

A todos mis amigos y amigas... por seguir siéndolo. Ya he perdido la cuenta de todos los planes que rechacé por tener que entregar aquella comunicación, o terminar aquel artículo, o escribir aquel capítulo que tanto se me estaba atascando. A Vane, por escucharme y recordarme cuáles son las cosas que de verdad importan. A Javier y Maite, por seguir de cerca el proceso, respetar mi espacio y devolverme la ilusión que muchas veces creí perdida. A la Chupipandi, porque hicieron de la carrera un paseo y no han dejado de acompañarme y animarme desde entonces.

Por último, quiero dar miles de gracias a mis padres, Eva y Manuel, y a mi hermana, Marga, por estar siempre ahí. Porque yo he sufrido y disfrutado el proceso a partes iguales, pero a ellos les ha tocado únicamente padecerlo. Para ser más precisa, les ha tocado padecerme a mí, a mis nervios, mi estrés, mi ansiedad, mis noches sin dormir y mis fines de semana sin salir, mi ajetreada agenda y mis ausencias; sobre todo, mis ausencias.

A todos y todas, muchas, muchas gracias. Sin vosotros y vosotras no habría llegado hasta aquí.







## RESUMEN

### ***La incorporación de la teoría de la evolución biológica a la educación primaria: posibilidades y obstáculos***

En España, la teoría de la evolución se aborda al final de la educación obligatoria. Este tratamiento tardío produce numerosas dificultades de aprendizaje e impide llegar a comprender adecuadamente un contenido tan complejo como central para la toma de decisiones informadas. Esta investigación pretende explorar las posibilidades y obstáculos de introducir la evolución en la educación primaria española. La revisión bibliográfica, el análisis del *currículum* español (a nivel estatal y autonómico) en comparación con el de otros países y estados, la entrevista con especialistas y el grupo de discusión con profesorado de primaria y secundaria han permitido identificar las ideas nucleares necesarias para construir gradual y progresivamente esta familia de modelos: *biodiversidad, variación, selección natural, adaptación, herencia, ancestros comunes y cambio*. Asimismo, el diseño y aplicación de una secuencia de actividades sobre la diversidad de la piel humana ha puesto de manifiesto la gran capacidad del alumnado de educación primaria para operar con dichas ideas a diferentes niveles de organización escalar (célula, organismo, población). Se confirma así la posibilidad de incorporar la teoría de la evolución en la etapa de educación primaria, siempre y cuando se haga desde una metodología activa, basada en el uso de prácticas científicas.

## RESUMO

### ***A incorporación da teoría da evolución biolóxica á educación primaria: posibilidades e obstáculos***

En España, a teoría da evolución abórdase ao final da educación obrigatoria. Este tratamento tardío produce numerosas dificultades de aprendizaxe e impide chegar a comprender adecuadamente un contido tan complexo como central para a toma de decisións informadas. Esta investigación pretende explorar as posibilidades e obstáculos de introducir a evolución na educación primaria española. A revisión bibliográfica, a análise do *currículum* español (a nivel estatal e autonómico) en comparación co doutros países e estados, a entrevista con especialistas e o grupo de discusión con profesorado de primaria e secundaria permitiron identificar as ideas nucleares necesarias para construír gradual e progresivamente esta familia de modelos: *biodiversidade, variación, selección natural, adaptación, herdanza, devanceiros comúns e cambio*. Así mesmo, o

deseño e aplicación dunha secuencia de actividades sobre a diversidade da pel humana puxo de manifesto a grande capacidade do alumnado de educación primaria para operar coas devanditas ideas nucleares a diferentes niveis de organización escalar (célula, organismo, poboación). Confírmase así a posibilidade de incorporar a teoría da evolución na etapa de educación primaria, sempre e cando se faga a través unha metodoloxía activa, baseada no uso de prácticas científicas.

## **ABSTRACT**

### ***Introducing the Theory of Biological Evolution in primary education: possibilities and obstacles***

In Spain, the theory of evolution is addressed at the end of compulsory education. Such a late treatment produces numerous learning difficulties to students and prevents them from achieving a proper understanding of this content, as complex as crucial to take informed decisions. This research is aimed to explore the possibilities and obstacles of introducing evolution into Spanish primary education. The literature review, the analysis of the Spanish *curriculum* (at state and autonomous level) in comparison to other countries and states, the interview with specialists and the discussion group with primary and secondary teachers have made it possible to identify the nuclear ideas necessary to gradually and progressively construct this family of models: *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* and *change*. Likewise, the design and application of a sequence of activities on the diversity of the human skin has shown the great capacity of primary school students to operate with these nuclear ideas at different levels of scale (cell, organism, population). These results confirm the possibility of incorporating the theory of evolution to the Spanish primary education, providing that an active methodological approach based on the use of scientific practices is adopted.





## ÍNDICE

SUMMARY .....	19
1. INTRODUCCIÓN .....	33
1.1. Antecedentes .....	33
1.2. Objetivos, preguntas de investigación y relevancia del estudio .....	34
1.3. Organización de la tesis .....	37
2. MARCO TEÓRICO .....	39
2.1. El ejercicio de la ciudadanía y la competencia científica .....	39
2.1.1. La competencia científica: definición y componentes estructurales .....	40
2.1.2. La competencia científica en la normativa vigente .....	49
2.1.2.1. La competencia científica en la Ley Orgánica 2/2006 de Educación (LOE) .....	50
2.1.2.2. La competencia científica en la Ley Orgánica 8/2013 de Calidad para la Mejora Educativa (LOMCE) .....	52
2.2. Modelos y modelización en el proceso de enseñanza-aprendizaje .....	55
2.2.1. El aprendizaje basado en modelos: modelos científicos, modelos mentales y modelos científicos escolares .....	57
2.2.1.1. La perspectiva epistemológica: los modelos científicos .....	57
2.2.1.2. La perspectiva psicológico-cognitiva: los modelos mentales .....	61
2.2.1.3. La perspectiva didáctica: los modelos científicos escolares .....	65
2.2.2. La modelización y la enseñanza basada en la modelización .....	71
2.2.2.1. Enseñanza basada en Modelización: El Modelo de Modelización .....	75
2.2.3. Modelos, modelización y cambio conceptual .....	88
2.3. El modelo de evolución biológica: su enseñanza y aprendizaje en educación primaria ..	94
2.3.1. La teoría de la evolución en el programa curricular español .....	97
2.3.2. Dificultades y obstáculos en el proceso de enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución .....	100
2.3.3. La enseñanza y el aprendizaje del modelo de evolución en educación primaria .....	112
2.3.4. La formación del profesorado de educación primaria sobre el modelo de evolución y su enseñanza .....	121
3. MARCO METODOLÓGICO .....	129
3.1. La investigación cualitativa y el estudio de caso .....	129
3.2. El diseño de investigación .....	134
3.3. La recogida de datos .....	136
3.3.1. El análisis documental .....	137
3.3.2. La entrevista .....	140
3.3.3. El grupo de discusión .....	144
3.3.4. La observación participante .....	148

3.4. El análisis de datos .....	150
3.5. Calidad de la investigación.....	157
3.5.1. Calidad de la investigación en relación con el diseño y la planificación de la investigación.....	157
3.5.2. Calidad de la investigación en relación con la puesta en marcha y la ejecución de la investigación.....	159
3.5.3. Calidad de la investigación en relación con la difusión .....	163
3.6. Ética de la investigación.....	165
4. RESULTADOS .....	171
4.1. La evolución biológica en el <i>currículum</i> de educación primaria .....	171
4.1.1. Tratamiento curricular de la evolución biológica en diferentes países.....	171
4.1.2. Tratamiento curricular de la evolución biológica en España por Comunidades y Ciudades Autónomas.....	175
4.2. La evolución biológica en la educación obligatoria: la percepción de los profesionales	179
4.2.1. La posición de los especialistas sobre la situación actual de la evolución en la educación obligatoria y las razones a favor de su tratamiento en educación primaria.....	179
4.2.2. Obstáculos en la enseñanza y aprendizaje del modelo de evolución .....	181
4.2.3. Cómo abordar el modelo de evolución: contenidos y metodología .....	183
4.3. Una propuesta de modelo científico escolar y de progresión para la enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución en educación primaria (6 a 12 años).....	185
4.4. Diseño e implantación de una secuencia de actividades prácticas en educación primaria .....	190
4.4.1. Preconcepciones del alumnado de educación primaria sobre las ideas nucleares para el modelo de evolución .....	194
4.4.2. El desarrollo de la secuencia de actividades.....	200
4.4.3. La capacidad de los estudiantes para operar con las ideas nucleares del modelo de evolución .....	243
5. CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS.....	247
5.1. Conclusions .....	247
5.2. Discussion and educational implications.....	256
5.3. Limitations and future lines of research .....	259
6. REFERENCIAS .....	263
ANEXOS.....	291

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Objetivos y preguntas de investigación.....	35
Tabla 2. Capacidades que integran la competencia científica según PISA.....	42
Tabla 3. Las dimensiones de la competencia científica según Cañal (2012) .....	46
Tabla 4. Selección ampliada de <i>misconceptions</i> sobre evolución biológica, a partir de Smith (2010), siguiendo la clasificación sugerida por Alters y Nelson (2002).....	103
Tabla 5. Tipos básicos de estudio de caso según Yin (1989, p.46).....	133
Tabla 6. Cronograma de investigación.....	136
Tabla 7 Referencias explícitas a la evolución biológica en los marcos curriculares generales analizados (Reproducción Tabla nº2 de Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2018).....	172
Tabla 8. Presencia de ideas nucleares del modelo de evolución en los <i>curricula</i> de diversos países y estados, incluido España, por curso y edad (Adaptación de Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2018).....	173
Tabla 9. Referencias a ideas nucleares del modelo de evolución en los <i>curricula</i> de las CCAA.....	176
Tabla 10. Posición de los profesionales sobre la situación actual de la evolución en la educación obligatoria .....	181
Tabla 11. Dificultades en la enseñanza del modelo de evolución en educación primaria....	183
Tabla 12. Propuestas sobre cómo y cuándo introducir el modelo de evolución en educación primaria.....	185
Tabla 13. Comparativa de ideas nucleares.....	185
Tabla 14. Propuesta de progresión de aprendizaje del modelo de evolución en educación primaria.....	189
Tabla 15. Síntesis de la secuencia didáctica.....	193
Tabla 16. Ejemplos de preconcepciones del alumnado acerca de las ideas nucleares.....	197
Tabla 17. Resultados obtenidos por el alumnado en la actividad <i>Cun pouco de melanina..</i>	209



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Componentes organizativos de la competencia científica de acuerdo con PISA 2015 (traducido y adaptado de OCDE, 2017).....	44
Figura 2. Relaciones entre las tres capacidades, o competencias científicas, en palabras de las autoras, que integran la competencia científica, extraído de Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig (2009).....	45
Figura 3. Representación de las relaciones entre las tres capacidades que integran la competencia científica de acuerdo con PISA 2015 y PISA-D, siguiendo el formato propuesto por Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig (2009) (elaboración propia).....	45
Figura 4. Dimensiones que compone la competencia científica de acuerdo con Cañal (2012) (elaboración propia).....	49
Figura 5. Representación esquemática de una concepción intencional de representación científica (Giere, 2010).....	58
Figura 6. Comparación entre el esquema elaborado por Clement (2000, p. 1042) de su propuesta de marco teórico para el aprendizaje basado en modelos (arriba) y la adaptación elaborada por Oliva, Aragón, Bonat y Mateo (2003, p. 460) (abajo).....	68
Figura 7. Reproducción del Modelo de Modelización (v.1) de Justi y Gilbert (2002).....	78
Figura 8. Reproducción sintetizada del Modelo de Modelización (v.2) de Gilbert y Justi (2016) (elaboración propia).....	81
Figura 9. Modelos biológicos básicos de acuerdo con García Rovira (2005).....	96
Figura 10. <i>Core ideas</i> del modelo escolar de evolución para educación primaria.....	115
Figura 11. Representación de los tres niveles de organización escalar dentro del modelo de evolución.....	154
Figura 12. Ejemplo de análisis del material producido por el alumnado.....	155
Figura 13. Ejemplo de modelo inicial (izquierda) y modelo final (derecha) de un alumno..	156
Figura 14. Modelo escolar de evolución para educación primaria: ideas nucleares y niveles de organización escalar.....	188

Figura 15. Modelos iniciales del alumnado.....	194
Figura 16. Ejemplo de la actividad inicial <i>Mírame ben!</i> (Sesión 1).....	202
Figura 17. Portada del número especial de abril de 2018 de <i>National Geographic</i> .....	205
Figura 18. Bolitas de hidrogel empleadas a lo largo de la propuesta.....	205
Figura 19. Diapositiva correspondiente a la actividad <i>Cun pouco de melanina</i> .....	206
Figura 20. Diapositiva ilustrando el modelo de expresión de los genes en la actividad de <i>Melanineando</i> .....	212
Figura 21. Ejemplo de modelización del proceso de expresión de los genes a partir de la actividad de <i>Melanineando</i> .....	218
Figura 22. Muestra del material de la actividad <i>E ti... como te vés adaptando?</i> .....	221
Figura 23. Diapositiva correspondiente al experimento de la actividad <i>Un rayo de sol, oh, oh, oh</i> para comparar el grado de “filtración” de la radiación UV de la eumelanina frente a la feomelanina.....	224
Figura 24. Material empleado en la actividad <i>Bingo escaravello</i> (Sesión 4).....	228
Figura 25. Ejemplo de “reciclaje” de fichas de una generación a otra en <i>Bingo escaravello</i> .....	230
Figura 26. Ejemplos de resultados de <i>Bingo escaravello</i> .....	231
Figura 27. Maqueta de célula y fichas de puzzle de <i>A vitamina do sol</i> .....	232
Figura 28. Adaptación de la figura 1 de Weishaar y Vergili (2013).....	233
Figura 29. Adaptación de la figura 3 de Ginde, Liu y Camargo (2009).....	234
Figura 30. Introducción a la producción de la vitamina D.....	234
Figura 31. Mural elaborado por el alumnado.....	241
Figura 32. Modelos finales del alumnado.....	242
Figura 33. Ejemplo de respuesta a por qué hay tanta diversidad de tonos de piel humana..	244



## SUMMARY

The present thesis aims to enlarge the body of knowledge in the field of evolution education in Spain by exploring the possibilities and obstacles of introducing the model of evolution in primary education in order to promote its progressive and gradual construction throughout compulsory education. According to recent literature, such an approach will make possible the comprehensive understanding of the theory of evolution needed to prepare future citizens to take informed decisions.

This main goal has led to the following specific objectives, and their corresponding research questions:

Objective 1. *To analyse the presence or absence of the model of evolution in the Spanish curriculum of primary education, both at state and autonomic level, in comparison to other benchmark countries and states.*

- *Research Question 1:* What core ideas included in the *curricula* may serve as building blocks for the construction of the model of evolution? How are these contents distributed and what learning progression is suggested (if any) for primary education?
- *Research Question 2:* What are the requirements of the latest Spanish *curriculum* for primary education with respect to the theory of evolution compared to other countries and states?
- *Research Question 3:* What core ideas - needed for the construction of the model of evolution - do Autonomous Communities include in their *curricula* for primary education?

Objective 2. *To characterize the perspective of experts in Didactics of Science as well as of in-service teachers, from both primary and secondary education, about teaching evolution in primary education.*

- *Research Question 4:* What is their opinion about the current situation of the theory of evolution in Spain and the possibility of including it in primary education?
- *Research Question 5:* What are their recommendations regarding the content to be included, the methodology to be used and the progression to be followed?

- *Research Question 6:* How can the Didactics of Science improve this situation? What role must it play in teachers' initial training and professional development?

Objective 3. *To implement and evaluate a didactic sequence designed to start developing the school model of evolution in primary education.*

- *Research Question 7:* What sort of school model would be appropriate for introducing evolution in primary education?
- *Research Question 8:* Are the core ideas of the model of evolution familiar to primary school students? What misconceptions do they have (if any)?
- *Research Question 9:* Can students from primary education operate with the core ideas needed for the construction of the model of evolution, and at different levels of scale (cell, organism and ecosystem)? How do they do it?
- *Research Question 10:* How does using activities based on scientific practices promote students' learning of the core ideas involved in the model of evolution?

### **Theoretical framework**

The framework is grounded on three bodies of knowledge: 1) citizenship and scientific literacy, 2) model-based learning and modelling-based teaching in science education, and 3) teaching and learning the model of evolution in primary education.

#### *Citizenship and scientific literacy*

One of the main goals of compulsory education in Spain is to prepare students for active and responsible citizenship, which means being able to take informed decisions about numerous issues, such as climate change, grow and consumption of genetically modified food, loss and conservation of biodiversity, cloning, vaccination, overuse of antibiotics... There is, therefore, a scientific component to it, or *Scitizenship* (Domènech-Casal, 2018), that must be addressed. After all, the more scientific knowledge citizens own, the more they engage in common and public interest (Ezquerro, Fernández & Magaña, 2016).

Nevertheless, this scientific knowledge has little to do with just accumulating facts and explanations about natural phenomena. On the contrary, it must be understood in a much broader sense, for it shall involve learning *science*, learning *about* science, *doing* science and applying such learning to *solving socio-scientific issues* (Hodson, 2014). In

other words, it is about being competent in science (Pedrinaci, 2012), which is one of the key competences for lifelong learning (Council of European Union, 2007; 2018).

Also the Programme for International Student Assessment (PISA) (OCDE, 2017) pays attention to these four aspects – context (personal, local/national and global), knowledge (conceptual, procedural and epistemic), capacities (explain phenomena scientifically, evaluate and design scientific enquiry, and interpret data and evidence scientifically) and attitudes (interest in science and technology; valuing scientific approaches to enquiry, and awareness of environmental issues). However, the emphasis is essentially put on the capacities and no clear interrelation is established among them, as Jiménez-Aleixandre, Bravo and Puig (2009) do. In this sense, Cañal's (2012) framework seems to offer a more holistic approach. Not only does it recognise its conceptual, methodological and attitudinal dimensions, but also incorporates a fourth dimension - the “integrated” dimension - that explicitly addresses the combined use of those three dimensions to problem-solving.

In the case of Spain, although this competence-based approach has been adopted since 2006 and some improvements have been made during its latest reform in 2013, there is still a major focus on conceptual knowledge. Consequently, poor attention is paid to the Nature of Science or how science and technology relate to society and environment (Borges, Pires & Delgado-Iglesias, 2015).

#### *Model-based learning and modelling-based teaching in science education*

Models and modelling are essential to promote a more “authentic” science education (Gilbert, 2004). However, when talking about models in Science education three different meanings must be considered (Oliva, Aragón-Méndez, Jiménez-Tenorio & Aragón-Núñez, 2016):

- (1) From an epistemological point of view, *scientific models* shall be understood as *epistemic artefacts* (Knuuttila, 2011) that support scientists' thinking. For theories are a family of models (Giere, 1988), models constitute themselves the centre of any scientific activity (Giere 1999).
- (2) From a psychological-cognitive point of view, *mental models* are an internal representation people generate naturally and spontaneously to understand and intervene in the world (Greca & Moreira, 2000). Consequently, they are

intuitive, contextual, dynamic, figurative... (Johnson-Laird, 1983; Galagovsky & Adúriz Bravo, 2001), and, above all, useful for the person who creates them (Norman, 1983). These *mental models* are the preconceptions children bring into the school (Greca & Moreira, 2000).

- (3) From a didactic point of view, *school scientific models* (Adúriz-Bravo & Izquierdo, 2009) are an adapted – not simplified (Sanmartí, 2000) – version of the scientific models to students' characteristics (Chamizo, 2010). Therefore, they serve as a reference to organise the *curriculum* (Gilbert & Justi, 2016) and should facilitate the evolution of students' initial mental models to more sophisticated ones (Clement, 2000; Oliva, Aragón, Bonat & Mateo, 2003). Therefore, models constitute an instrument for learning.

In order to promote a successful integration of the school model, both the school model and the teaching strategy must be appropriate (Cañal, García-Carmona & Cruz-Guzmán, 2016). In this research, the model of modelling from Gilbert and Justi (2016) has been adopted. According to these authors, modelling is a natural activity and this approach is particularly convenient for contents students are faced with for the first time, as it is the case of evolution in Spanish primary education.

This model of modelling (Gilbert & Justi, 2016) is organized into four phases that are circular and deeply interrelated: 1) create a proto-model (i.e. an initial mental model) of the phenomena to be studied, 2) express the proto-model by some physical mean (2D, 3D, simulations...), 3) test the model, through mental and/or empirical experiments and 4) assess the model, looking for its possible applications and limitations. Three conditions are to be met to apply this methodological strategy: students must be familiar with the concept of “model” itself; the teacher must encourage students to actively engage in the process, and students must work in small groups.

There are other strategies that can be used, either exclusively or combinedly: from inquiry to context-based teaching to conceptual change (Aragón, Jiménez-Tenorio, Oliva & Aragón-Méndez, 2018). In fact, the sequence designed and implemented in the present study combines different strategies, since it formulates a problem the students must resolve throughout the sequence, combining inquiry, modelling and argumentation tasks.

*Teaching and learning the model of evolution in primary education*

The theory of evolution meets all the three criteria pointed out by Petto (2005) to be included in the education system: not only is it recognised as settled by the scientific community and considered pivotal to Life Sciences but also can be presented and understood by students at various ages. However, in the case of Spain, like in many other countries (e.g. Israel, Greece) its treatment is restricted to the end of secondary education. As a result, students usually face serious difficulties of learning or even leave the education system knowing very little – if nothing – about this content.

For this reason, many experts from all over the world have been claiming for years the need of introducing at least some of its key ideas - if not the theory itself -, as soon as possible (e.g. Fail, 2008; Cañal, 2009; Hermann, 2011). Nevertheless, to make possible a successful and progressive construction of this family of models, some recommendations should be followed; e.g. work from an evolutionary perspective, paying attention to the different levels of scale involved (from cell to organism to population to system), with a focus on the notion of change (Lehrer & Schauble, 2012); deal with *authentic problems* (Jiménez-Aleixandre, 1998) that are relevant to students, using human beings as an example (Nettle, 2010); make students' previous ideas explicit and take them as a starting point (Banet & Ayuso, 1998); employ inquiry approaches based on the use of scientific practices, helping students understand the role of models and modelling on evolution as well as promoting conceptual change (Beardsley, Wise & Bloom, 2012); use an ample array of materials and resources (Grau & De Manuel, 2002); etc.

Above all, both pre-service and in-service primary school teachers must be provided of proper training, including, but not limited to, content knowledge, Nature of Science, dealing with the controversy and pedagogical content knowledge (knowledge about the *curriculum*, students' thinking and common (mis)conceptions, strategies and resources, and assessment) (Sickel & Friedrichsen, 2013).

## **Methodology**

In this research we present a single, instrumental and holistic case study (Stake, 1998; Yin, 1989), where the design and implementation of a sequence of activities on evolution for 5<sup>th</sup> Grade of primary education is analysed. Following an emergent design (Simons, 2011) and the principle of adequacy (Flick, 2015), the collection of data has included:



- Documental analysis (Angrosino, 2014) of:
  - Curricular frameworks: the Spanish *curricula*, both at state and autonomic level, compared to other countries and states; to be more specific: France, Portugal, Sweden, United Kingdom (England), USA (California and New York). The criteria to do this selection (Goezt & LeCompte, 1988) was: 1) being reforming/having reformed their *curricula* recently; 2) being a benchmark country in either education or science, and/or 3) its cultural proximity.
  - Material produced by students participating in the study (initial assessment and working sheets from the sequence).
- Interviews to experts (Kvale, 2011) in Didactics of Science with expertise on evolution and genetics education, and from different backgrounds and countries (Argentina, Greece, Israel, Spain, Sweden, Switzerland, USA).
- Focus group (Suárez Ortega, 2005) with teachers from both primary and secondary education.
- Participant observation (Angrosino, 2014) during the implementation of the sequence and carried out by the author herself. Notes were recorded in her diary of research.
- Interview to the teacher participating in the study.

The analysis of all the data gathered followed Miles and Huberman's (1994) stages and Saldaña's (2009) double cycle of coding. This process was done manually and with the assistance of the analytical software MAXQDA 2018 (v.2). To capture students' performance, a specific system of analysis, based on the school model designed within this research, was developed.

In addition, the analysis was carried out simultaneously to the data collection (Flick, 2004; Simons, 2011; Miles, Huberman & Saldaña, 2013). This allowed a better selection of the data to be collected as well as informed the subsequent research phases; e.g. the sequence of activities incorporated the core ideas and methodological recommendations proposed by the literature review, the curricular analysis, the interviews with experts and the focus group.

Special attention has paid to both quality and ethics.

Regarding quality, we have applied throughout the research the nine criteria suggested by Flick (2015): indication, appropriateness and openness to the diversity of the research plan; rigour and creativity, uniformity and flexibility, criteria and strategies - such as triangulation, respondent validation (Simons, 2011) or constant comparison (Gibbs, 2012) - during the development of the research; and transparency, feedback and adaptation to the audience when reporting findings.

With respect to ethics, different measures have been taken to ensure confidentiality and privacy; to be more specific, different contracts were designed to asked participants whether they accepted their name and/or institution to appear in the final document and, in the case of children, neither real names nor the name of the school have been included. Also, the professional photographer Angelica Dass was contacted to ask for her permission to use a selection of pictures from her *Humanae Project*.

## **Results**

### *The theory of evolution in the curriculum of primary education*

While France, United States or Sweden acknowledge evolution as the foundation to Biology, conceiving it as one of the principal domains in Life Sciences, neither Spain nor Portugal contain any reference to it in their general framework. The same happens in England (United Kingdom), which includes a specific block on *Evolution and Inheritance* in the 6th year though. Furthermore, this block includes up to five out of the seven core ideas considered: *inheritance*, *variation*, *common ancestors*, *natural selection and adaptation*, and *biodiversity* is introduced in 2<sup>nd</sup> grade.

In the case of New York and California, there are already references to all the core ideas in their *curricula* from 1996 and 2004 respectively. What is more, terms such as *adaptation*, *inheritance* or *variation* are explicitly mentioned since the first years of primary education and within the stage, creating their own learning progressions. Also France recommends treating these core ideas progressively; in its case, from 4<sup>th</sup> to 6<sup>th</sup> grade.

On the contrary, in Spain, the only reference to the core ideas needed to build the model of evolution is *biodiversity*, although is basically presented from an anthropocentric and ecological point of view, with a focus on *extinction*. In fact, only *extinction* is explicitly mentioned in all Autonomous Communities, except for Catalonia

(only includes *adaptation*) and Basque Country (makes no reference to any of the core ideas). Seven out of the 19 Autonomous Communities talk about *biodiversity* and other nine make allusions to adaptation, but only five of them are specific; the others are more orientated to the model of ecosystem, for they refer to the “association” of plants and animals’ characteristics (no other kind of living beings are mentioned) to the environment where they live.

*Professionals’ perception about the situation of the theory of evolution in Spain*

When asked about the situation of the theory of evolution in Spain, the opinion of the experts and teachers is unanimous. They consider that dealing with such a complex theory at the end of compulsory education, in optional subjects, is insufficient and illogical, “because without understanding evolution, it is not possible to understand Biology”.

From their point of view, evolution is indispensable to make informed decisions on issues and areas as diverse and crucial as the implications of obtaining information about our genes, the decisions this may entail, or who is responsible for this information; diseases with a genetic origin; understanding where human diversity comes from and promoting respect for others; Genetic Determinism, in order to understand the relationship between genes and traits, rejecting the idea of genes “determining our destiny”; resistance to antibiotics and pesticides, etc. And these are problems that appear in the daily life of students, although they are not being answered in the classroom, because they do not appear in the textbooks or in the curriculum, as the primary school teacher claimed.

For this reason, and to facilitate secondary school students’ performance too, most of the experts consulted would recommend introducing the model of evolution in primary education. Some conditions are formulated though. First, the treatment of evolution must be transversal and conceive Nature from a dynamic perspective. Secondly, some key contents, such as biodiversity, adaptation, fossils, inheritance, human evolution or natural selection, must be selected and a learning progression across the stages, from the first years of primary education to the last years of secondary school, must be developed. Third and above all, new methodologies, based on the use of scientific practices, must be employed.

Consequently, in their opinion, the role of Didactics of Science will be crucial, because it must continue researching how to improve evolution education (by exploring students' preconceptions and thinking, designing and validating new resources and assessment instruments...) and provide teachers of primary education of the appropriate training.

*Proposing a school model and a learning progression for primary education*

Informed by the literature review, the curricular analysis, the interviews to experts and the focus group, a *school model* of evolution was created. With the shape of a regular heptagon, it contains up to seven core ideas: *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* and *change*. It also takes into account the three biological models embedded in the theory of evolution, as a family of models, expressing them as different levels of scale: cell (including genetics), organism and population. The learning progression offers a gradually more complex approach to these seven core ideas throughout the stage, from 1<sup>st</sup> to 6<sup>th</sup> grade.

*The design and implementation of a sequence of activities based on scientific practices in a primary school classroom*

The sequence of activities took place during four sessions which lasted 90 min/each. During each session children were encouraged to address a specific aspect related to the main problem to be solved, that is, "Why do we humans have different skin colors?". All activities were inquiry or model-based and asked students to gather or/and analyze data, argue and debate about the evidence available, and draw conclusions.

During the first session students were faced with the question "What gives us our skin color, making all of us to have a different shade?", aimed to work on *biodiversity* and *variation*. After discussing about human skin color diversity through a selection of photographs from Angélica Dass' *Humanae Project*, students were introduced to melanin. Next, they were asked to formulate and test their hypothesis about some people's concentration of melanin by using colored hydrogel balls, simulating eumelanin (dark-brownish), pheomelanin (orangish) or the absence of melanin (transparent) respectively.

In the second session the question formulated was "why might people have more of one type of melanin or another?", with a focus on inheritance and genetics. Students

modelled the expression of genes by reproducing different skin colors with the hydrogel balls depending on the information contained in each “extract” of DNA provided. They also experimented the effects of sexual reproduction in skin color by “combining” different DNA and discussing their results.

In the third session students worked on adaptation through the relationship between melanin, dark skin color and solar radiation. After comparing Chaplin and Jablonski’s (2009) maps on hypothetical distribution of skin color and UV radiation across the world, they tested their hypothesis through an experiment with lanterns and colored hydrogel balls. With all that data they were encouraged to explain why our first ancestors developed dark skin”.

Finally, the last session was dedicated to natural selection and change over time. Children were therefore asked to explain why and how we humans ended up presenting such a diversity of skin colours when eumelanin protects us better than pheomelanin against UV radiation. Students were presented a model of a cell and, using puzzle pieces in different colours, explored how much vitamin D can be produced depending on a person’s skin colour and the place they live (UV radiation amount).

Sessions also included introductory games aimed to familiarize children with some key or particularly difficult aspects of the lesson. For example, the *Beetle Bingo*, aimed to explore natural selection. In this activity children experimented how different beetles’ populations change over time in different ways depending on the environmental conditions and the traits available.

The analysis of the pre-test showed that children are already familiar with the phenomenon of evolution (up to three of them talks about common ancestors, evolution and/or “advances” of a primitive animal”) and even with specific vocabulary as “gen” or “mutation”. However, they seem to have very few misconceptions, mainly evolution as progress and adaptation as a result of need. Only some of them suggested creationist explanations. And most of them were able to operate with four of the core ideas, mainly *biodiversity, variation, change and inheritance/adaptation*.

Nevertheless, after analysing both the observations and materials produced by the students during the sequence, we found that children are perfectly capable of operating with all the seven core ideas introduced during the sequence. No matter their initial

preconceptions, they all ended up working efficiently with at least five of the core ideas - mainly *biodiversity*, *variation*, *adaptation*, *inheritance* and *change* -, incorporating them to their discourse.

In addition, students were able to apply these *core ideas* to different scale levels, from cells to organisms to populations; sometimes at the same time, sometimes focusing the attention in one or another. What is more, after discussing the evidence gathered/presented, they would change their initial hypothesis to produce a more adjusted explanation, making use of specific vocabulary. They even established relationships between different ideas within the same session, or from one session to the next one, despite not being asked or compelled to do so.

### **Conclusions and educational implications**

The findings presented in this thesis have allowed to draw the following conclusions:

Regarding the first objective and its corresponding research questions (1, 2 & 3): the Spanish *curriculum* for compulsory education prevents students from building the model of evolution adequately and progressively. Some benchmark countries such as France or USA have introduced the teaching of evolution in primary education and developed their own learning progressions to allow the progressive construction of this scientific model. On the contrary, in Spain there is no mention to evolution's core ideas at primary school, except for *biodiversity*, and the proper teaching of the theory is limited to optional subjects at the end of secondary education. The situation is similar across the country, for the Autonomous Communities show minor changes despite their competences in education.

Regarding the second objective and its corresponding research questions (4, 5 & 6): both experts and teachers participating in the research consider unacceptable and incoherent the situation of the theory evolution in Spain because of its centrality for understanding Life Sciences. In addition, most of them would recommend its early treatment to avoid subsequent obstacles and facilitate the gradual construction of such a complex model. However, significant changes to its teaching approach are to be made, mainly adopt active methodologies and emphasise the notion of change and dynamism of both the environment and the living beings. In this regard, Didactics of Science have

a major role to play in improving evolution education by supplying both pre-service and in-service teachers of primary education of the appropriate training and materials.

Regarding the third objective and its corresponding research questions (7, 8, 9 & 10): Literature, *curricula*, experts and teachers mainly coincide to consider *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* and *change* as core ideas for the construction of the model of evolution. Therefore, when creating a *school scientific model* these core ideas next to the biological models embedded within the theory of evolution must be included.

The ample collection of preconceptions shown by primary school students demonstrates their exposure to non-formal sources of information as well as their curiosity and need for explaining evolution-related phenomena. However, they seem to have very few misconceptions compared to students from secondary education, supporting the thesis that the sooner the model of evolution is discussed, the better, because it will prevent the consolidation of alternative conceptions.

Furthermore, primary school students have proved to be capable of operating with all the core ideas that serve as building blocks for the construction of the model of evolution, including natural selection. Besides, they would move back and forward from genes to cell to organism to population and ecosystem to explain how skin color is generated and differs from one person to another, from one generation to another, depending on both their genetic information and their environment. This means they can coordinate the different biological models embedded in the theory of evolution and that evolution and genetics must always be presented together.

With respect to the methodology, operating with different scientific practices (inquiry, modelling and argumentation) facilitates students' appropriation of knowledge, for it allows them to mobilise their initial models and improve them through confrontation to their peers' and the data available. It also promotes the acquisition of vocabulary and boosts their motivation. In this sense, using human case studies for introducing students to the learning of evolution confirms to be very productive, both from a contextual and didactical perspective, encouraging attitudes such as respect to each other and celebration of diversity.

All in all, the theory of biological evolution meets all the requirements needed to be (also) included in primary education. Students just need to be given the chance to work on these core ideas to start building this family of models.

Regarding the educational implications derived from these conclusions:

1) The *curricula*, both at state and autonomic level, must approach the whole area of Life Sciences from an evolutionary perspective, promoting the interconnection between all the biological models (cell, living being and ecosystem) embedded in the theory of evolution. In addition, all the seven core ideas proposed – *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* – must be addressed in an explicit, coherent and progressive way throughout primary education.

2) The Didactics of Science must inform the *curriculum* design, continue researching how to improve both the teaching and learning of the model of evolution, and implement training programmes for both pre-service and in-service primary school teachers that respond to their current demands (content knowledge, pedagogical content knowledge, addressing the controversy in class).

3) Teachers should design didactic units/projects/sequences where children of all ages can work on the different core ideas – *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* – at different levels of scale (cell, organism and population), whether explicitly or implicitly, with special attention to the relation between genetics and evolution. Human evolution as well as other socio-scientific issues students are familiar with or curious about should serve as the vehicle for addressing the model of evolution and its core ideas, and active methodologies, based on the implementation of scientific practices and teamwork, must be adopted. What is more, an ample array of activities and resources, such as games, simulations, analogies, physical models, books, newspapers or magazines should be displayed.

In conclusion, introducing the model of evolution in primary education effectively requires the active involvement of a whole range of agents related to the world of education: legislators, Didactics of Science, professionals in charge of in-service and pre-service teachers training as well as teachers themselves.





## 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo de investigación que se presenta a continuación versa sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución biológica en educación primaria. Concretamente, explora la situación actual de este modelo en la normativa curricular, así como, la capacidad del alumnado de esta etapa para operar con las ideas nucleares que servirán de base para su construcción. Con ello se pretende contribuir a las líneas de investigación más actuales que abogan por un tratamiento gradual y progresivo de este contenido, a lo largo de toda la escolaridad, que garantice su aprendizaje significativo para así formar a la ciudadanía para la toma de decisiones informadas.

### **1.1. Antecedentes**

Pese a que “Nada en Biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución” (Dobzhansky, 1973), el tratamiento de la teoría de la evolución biológica en España se concentra fundamentalmente al final de la escolaridad obligatoria; concretamente, en el área de Biología y Geología de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) (15-16 años), donde se le dedica un bloque de contenidos completo, el *Bloque 1. La evolución de la vida* (MECD, 2014).

Sin embargo, se trata de una materia optativa, lo que significa que todo aquel alumnado que no curse esta materia – ni tampoco el itinerario de Ciencias en Bachillerato – abandona el sistema educativo sin aprender un contenido esencial para entender el mundo que nos rodea, para comprendernos a nosotros mismos como especie y, sobre todo, para tomar decisiones informadas sobre temas tan variados – y en ocasiones, tan controvertidos – como la vacunación, el consumo de alimentos transgénicos o la conservación de la biodiversidad (Soler, 2009).

Por otro lado, abordar tan tarde – prácticamente por primera vez – un contenido tan complejo como la teoría de la evolución, hace todavía más difícil su aprendizaje. No solo por las concepciones alternativas que el alumnado haya podido ir generando y consolidando a lo largo de su vida, que no son pocas (véase, por ejemplo, Alters y Nelson, 2002; Banet y Ayuso, 2003; Gregory, 2009; o Yates y Marek, 2015), sino también, y, sobre todo, porque adolecen de las bases necesarias para construir este modelo científico de manera coherente y consistente (Cañal, 2009). Claro que esto tiene que ver también con la falta de formación del alumnado en prácticas científicas como el

uso de modelos y la modelización, que constituyen además uno de los principales componentes de la competencia científica (OCDE, 2017) y una de las líneas más fecundas en Didáctica de las Ciencias Experimentales (Oliva, 2014). Al fin y al cabo, es a través de modelos que la Ciencia avanza (modelos científicos) y que las personas conocemos el mundo (modelos mentales). En este contexto, los modelos científicos escolares se erigen como un objeto de aprendizaje en sí mismo, pero también, y, sobre todo, como un facilitador de ese aprendizaje (Gilbert y Justi, 2016).

Por todo ello, son muchos los especialistas que hoy en día insisten en la necesidad de comenzar a trabajar sobre este modelo científico cuanto antes y hacerlo de forma gradual y progresiva a lo largo de toda la escolaridad (Cañal, 2009; Hermann, 2011). Una demanda que ya ha tomado forma en diversos países y estados de nuestro entorno, como Francia o Inglaterra (Reino Unido), que lo han incorporado a la etapa de educación primaria en su última reforma curricular. En Estados Unidos el *Framework K-12 for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (NCR, 2012), junto con los *Next Generation Science Standards* (NGSS Lead States, 2013), han convertido la evolución biológica en una de las *disciplinary core ideas* de las Ciencias de la Vida y establecen una progresión de aprendizaje que se extiende a lo largo de toda la educación obligatoria.

Este estudio se enmarca, por tanto, en esta corriente de investigación que se preocupa por acercar la evolución biológica y sus ideas nucleares al alumnado de educación primaria a través de temáticas y estrategias didácticas muy diversas (juegos, cuentos, indagación, modelización...) (por ejemplo, Campos y Sà-Pinto, 2013; Chanet y Lusignan, 2009; Emmons, Smith y Kelemen, 2016; Lehrer y Schauble, 2012; Nadelson *et al.*, 2009). En este caso, además, tiene un componente socio-científico muy importante, pues el tema de la secuencia de actividades prácticas que se plantea es la diversidad de piel de los seres humanos. Se espera que, al abordar esta cuestión desde un punto de vista científico, el alumnado tome conciencia de la no existencia de razas y así se promueva la desaparición de estereotipos y actitudes racistas.

## **1.2. Objetivos, preguntas de investigación y relevancia del estudio**

El propósito principal de la presente investigación es explorar cómo podría incorporarse el modelo de evolución biológica en la educación primaria en España. Esto implica trabajar sobre tres ámbitos profundamente relacionados: el *currículum*, la

Didáctica de las Ciencias Experimentales y el trabajo de aula. De ellos se derivan los siguientes objetivos específicos, con sus correspondientes preguntas de investigación (tabla 1):

Tabla 1. Objetivos y preguntas de investigación

<p>1. Analizar la presencia o ausencia del modelo de evolución en el <i>currículum</i> español de educación primaria, a nivel estatal y autonómico, en comparación con otros países y estados de referencia.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué ideas nucleares se incluyen en los <i>currícula</i> que puedan servir como base conceptual para el desarrollo del modelo de la evolución? ¿Cómo se distribuyen esos contenidos y qué progresión se propone para la educación primaria?</li> <li>• ¿Qué prescripciones hace el <i>currículum</i> oficial de la LOMCE para educación primaria respecto a la teoría de la evolución en comparación con otros países y estados?</li> <li>• ¿Qué ideas nucleares para la construcción del modelo de evolución se incluyen en los programas curriculares de EP las Comunidades Autónomas españolas? ¿Existe progresión en su tratamiento?</li> </ul>
<p>2. Caracterizar la perspectiva de especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales, así como del profesorado de educación primaria y de educación secundaria en ejercicio a propósito de la enseñanza de la evolución biológica en educación primaria.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Qué opinan sobre la situación de la teoría de la evolución en España y su posible inclusión del modelo de evolución en primaria? ¿Qué razones esgrimen a favor y en contra?</li> <li>• ¿Qué recomendaciones hacen en cuanto al qué (contenido directamente relacionado con el modelo de evolución biológica), el cómo (estrategias metodológicas y recursos a emplear en el aula) y el cuándo (secuencia de progresión, tiempo a dedicar por curso)?</li> <li>• ¿Cómo puede contribuir la Didáctica de las Ciencias Experimentales a la mejora de esta situación? ¿Qué papel le reconocen en relación con la formación inicial y continua del profesorado?</li> </ul>
<p>3. Aplicar y evaluar una propuesta didáctica diseñada para trabajar sobre el modelo científico escolar de evolución en educación primaria.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuál podría ser el modelo científico escolar de evolución para educación primaria?</li> <li>• ¿En qué medida el alumnado de educación primaria está familiarizado con las ideas nucleares necesarias en la construcción del modelo de evolución? ¿Qué concepciones alternativas presenta?</li> <li>• ¿El alumnado de educación primaria es capaz de operar con las ideas nucleares necesarias para la construcción del modelo de evolución, y hacerlo a diferentes niveles escalares (célula, organismo y ecosistema)? ¿Cómo lo hacen?</li> <li>• ¿Cómo contribuye el empleo de actividades basadas en el uso de prácticas científicas al proceso de enseñanza-aprendizaje de las ideas nucleares del modelo de evolución?</li> </ul>

La selección de países y estados empleados en la comparativa curricular estuvo orientada por su carácter vanguardista en el ámbito científico y/o educativo, así como por su proximidad cultural, pero, sobre todo, por su actualidad, entendida en términos de haber realizado recientemente, o encontrarse en pleno proceso, de reforma educativa.

En cuanto a la perspectiva de profesionales, entendiendo por tales tanto especialistas en Didáctica de las Ciencias como profesorado en servicio, se procuró que todos los participantes pertenecieran a contextos muy diversos, para enriquecer aún más la investigación.

Finalmente, la propuesta didáctica consistió en una secuencia de actividades prácticas para 5º de educación primaria (10-11 años) en la que se combinaron prácticas de indagación, modelización y argumentación sobre la diversidad de tonos de la piel humana. Se respondió así a las sugerencias de especialistas como Pobiner (2016), que recomiendan comenzar a trabajar la evolución a través de la evolución humana, por resultar más próximo al alumnado y, por tanto, más motivador. Además constituye un problema auténtico, relevante para el alumnado (Jiménez-Aleixandre, 1998).

De este modo, la relevancia de este estudio reside en:

- 1) Su carácter innovador, al trabajar sobre un tema de plena actualidad, como es la enseñanza y aprendizaje de la teoría de la evolución en educación primaria, y hacerlo además mediante una secuencia de actividades prácticas.
- 2) Su coherencia con la fundamentación didáctica actual, al enmarcarse en el uso de modelos y modelización como estrategia de enseñanza-aprendizaje, partir de problemas auténticos y aproximarse al modelo de evolución desde el ser humano.
- 3) Su carácter global e integrador, al examinar distintos componentes de la realidad estudiada, esto es, el *currículum*, la perspectiva profesional y la actividad de aula, presentándolo como un todo.
- 4) Su atención a cuestiones socio-científicas, el abordar la diversidad de tonos de la piel humana desde una perspectiva biológico-evolutiva, ayuda al alumnado a comprender la ausencia de razas en la especie humana.
- 5) Su aportación al ámbito de estudio sobre qué (contenidos), cómo (metodología) y cuándo (progresión) comenzar a construir el modelo de evolución en educación primaria.

### **1.3. Organización de la tesis**

La tesis se organiza en cinco grandes capítulos:

- **Capítulo 1. Introducción**, en el que se presenta el tema de estudio, los objetivos que se pretende alcanzar, con sus correspondientes preguntas de investigación, su relevancia y estructura.
- **Capítulo 2. Marco teórico**, que se compone de tres apartados: 1) el ejercicio de la ciudadanía y la competencia científica, donde se hace una revisión de qué se entiende por competencia científica, cuál es su papel en la formación de una ciudadanía responsable, participativa y capaz, y cómo se define en el *currículum* español actual; 2) modelos y modelización en el proceso de enseñanza-aprendizaje, que recoge las distintas acepciones que adopta el concepto de *modelo* en Didáctica de las Ciencias Experimentales en función de la perspectiva de que se trate (epistemológica, psicológico-cognitiva o didáctica), así como la distinción entre el aprendizaje basado en modelos y la enseñanza basada en modelización; y 3) la enseñanza y el aprendizaje de la evolución en educación primaria, que aborda diferentes cuestiones relacionadas con el tratamiento de este contenido en educación primaria, desde las formas de pensamiento características de este alumnado y las dificultades asociadas a la formación del profesorado.
- **Capítulo 3. Marco metodológico**, organizado en seis apartados a lo largo de los cuales (1) se describe y justifica el tipo de metodología escogido, (2) se explica el diseño de la investigación, incluyendo el cronograma de trabajo, (3) se detallan las técnicas e instrumentos de recogida de datos empleados, así como (4) el proceso de análisis seguido, para finalmente hablar sobre (5) la calidad y (6) ética del estudio.
- **Capítulo 4. Resultados**, nuevamente estructurado en tres apartados, en correspondencia con los tres ámbitos analizados a propósito de la incorporación del modelo de evolución en la etapa de educación primaria: *currículum*, percepción de los profesionales y aplicación en aula.
- **Capítulo 5. Conclusiones e implicaciones educativas**, también organizado en tres apartados en los que se tratan las principales conclusiones derivadas del estudio, se discuten sus implicaciones educativas y, finalmente, se apuntan algunas limitaciones del estudio y posibles líneas de investigación futuras.



## 2. MARCO TEÓRICO

### **2.1. El ejercicio de la ciudadanía y la competencia científica**

Entre los fines de la educación, recogidos en el artículo 2 de la *Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación* (LOE), y la *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa* (LOMCE), que modifica y amplía parcialmente la primera, se establece que, además de promover el desarrollo integral del alumnado y de capacitarlo para su futuro desempeño profesional, la educación deberá prepararlo para ejercer la ciudadanía de forma activa, responsable y crítica, ya sea en el plano económico, social y/o cultural, en una sociedad del conocimiento en constante cambio.

Ahora bien, este ejercicio de la ciudadanía contiene, en palabras de Domènech-Casal (2018), una componente científica, o “*Scitizenship*”, que no podemos ni debemos dejar de atender, dada la intrínseca relación que existe entre participación ciudadana y conocimiento científico (Ezquerro, Fernández-Sánchez y Magaña, 2015).

En un mundo cambiante, cada vez más globalizado y dominado por el desarrollo científico-tecnológico, resulta esencial dotar a la ciudadanía de aquella formación científica - entendida como conocimientos, habilidades y actitudes - que la capacite para intervenir efectivamente en el debate y la toma de decisiones sobre múltiples cuestiones de interés social; por ejemplo, el cambio climático, el tratamiento de residuos, la pérdida de biodiversidad, la escasez de recursos energéticos, la clonación, la vacunación, la producción y consumo de alimentos transgénicos... En otras palabras, ese ejercicio activo, responsable y crítico de la ciudadanía que defiende la normativa vigente requiere disponer de cierta competencia científica (Pedrinaci, 2012). Al fin y al cabo, como alertaban en su día los informes *Science Education Now*, más conocido como Informe Rocard (Comisión Europea, 2007), a nivel europeo, y *ENCIENDE* (COSCE, 2011), a nivel nacional, nuestro bienestar y nuestro futuro como especie dependen de ello.

Por esta razón, la competencia científica, bajo el nombre de “competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología” (CMCT), constituye una de las siete competencias clave en torno a las cuales se vertebra el actual *currículum* español, en línea con la *Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje*



*permanente*, recientemente reformulada y actualizada a través de la *Recomendación del Consejo, de 22 de mayo de 2018, relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente*.

### **2.1.1. La competencia científica: definición y componentes estructurales**

De acuerdo con la Comisión Europea (2004, 2007) y el Consejo Europeo (2018), las competencias clave se definen como una combinación o paquete multifuncional y transferible de conocimientos, capacidades y actitudes adecuadas al contexto, que todas las personas precisan para su realización y desarrollo personales, así como su empleabilidad, integración social, estilo de vida sostenible, éxito en la vida en sociedades pacíficas, modo de vida saludable y ciudadanía activa. Se caracterizan, por tanto, por un carácter integrador, teórico-práctico, aplicado y contextualizado (Rivero, Martín del Pozo, Solís y Porlán, 2017), en el que destacan, como señas de identidad, la importancia concedida a la utilidad de los aprendizajes, su transversalidad y su orientación hacia el aprendizaje continuo, a lo largo de la vida (Pro, 2012).

En este contexto, la competencia científica se erige como un conjunto integrado de capacidades para utilizar el conocimiento científico a fin de describir, explicar y predecir fenómenos naturales; para comprender los rasgos característicos de la ciencia; para formular e investigar problemas e hipótesis; así como para documentarse, argumentar y tomar decisiones personales y sociales sobre el mundo natural y los cambios que la actividad humana genera en él (Pedrinaci, 2012, p.34).

Nos hemos decantado por esta definición por varias razones. En primer lugar, porque al enunciarse como un “conjunto integrado de...”, se aproxima en gran medida a la propia noción de competencia clave, que, como acabamos de ver, se plantea como una “combinación” o “paquete multifuncional y transferible” de conocimientos, capacidades y actitudes. Asimismo, recoge aspectos más específicos del ámbito científico-tecnológico, como la comprensión del mundo natural y de la propia Naturaleza de la Ciencia, junto a otros más genéricos, relacionados directamente con el ejercicio de la ciudadanía, concretamente, la identificación de problemas y la toma de decisiones argumentadas.

Por último, compartimos la idea de Pedrinaci (2012) de que la competencia científica, para ser bien definida, no debería ser expresada en términos de una *única* habilidad o capacidad, como hacen la Comisión Europea (2007) en su Marco de Referencia, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2017) en el documento marco de su *Programa Internacional de Evaluación para los Alumnos* (PISA, por sus siglas en inglés), o la propia legislación española actual, que abordaremos en detalle más adelante. Muy al contrario, debe ser expresada en plural, como “*un conjunto integrado de capacidades...*”.

En este sentido, PISA, que precisamente evalúa el desempeño de los estudiantes en las competencias lingüística, matemática y científica, hace una relación muy exhaustiva de los distintos componentes que integran la competencia científica. En el documento marco del 2006 (OCDE, 2006), se establecía que dicho conjunto de capacidades consistía en: (1) identificar cuestiones científicas, (2) explicar fenómenos científicos y (3) utilizar pruebas científicas. Además, se definían otras tres subcapacidades por cada una de ellas, concretando de ese modo su extensión y significados (Tabla 2).

Esta estructura se ha mantenido durante varias ediciones, hasta que en 2015 se volvió a poner el foco de atención sobre la competencia científica, insistiendo en la necesidad de (re)orientar la educación científica hacia la formación de y para la ciudadanía. No se trataba tanto de formar “productores” de conocimiento científico, sino “consumidores” críticos e informados, capaces de participar activa y responsablemente en la vida pública (OCDE, 2017).

En consecuencia, se han realizado algunos cambios significativos (Tabla 2). Se ha alterado el orden en que se enunciaban las capacidades y se ha procedido a su redefinición y ampliación. Esto ha derivado en una modificación de los enunciados para incluir los nuevos elementos considerados; por ejemplo, de “*Identificar cuestiones científicas*” se pasó a “*Evaluar y diseñar indagaciones científicas*”. Además, se ha revisado y completado la redacción de algunas subcapacidades previas, añadiendo otras nuevas y reubicando otras; concretamente, “*Reflexionar sobre las implicaciones sociales de los avances científicos y tecnológicos*”, incluida en la capacidad “Utilizar pruebas científicas” en PISA 2006, pasó a formar parte de la capacidad “Explicar fenómenos científicamente” con PISA 2015.

Tabla 2. Capacidades que integran la competencia científica según PISA

PISA 2006	
<p><b>1. Identificar cuestiones científicas:</b></p> <p>1.1. Reconocer interrogantes susceptibles de ser investigados científicamente.</p> <p>1.2. Identificar términos clave para la búsqueda de información científica.</p> <p>1.3. Reconocer los rasgos clave de la investigación científica.</p> <p><b>2. Explicar fenómenos científicos</b></p> <p>2.1. Aplicar el conocimiento de la ciencia a una situación determinada.</p> <p>2.2. Describir o interpretar fenómenos científicamente y predecir cambios.</p> <p>2.3. Reconocer/Identificar las descripciones, explicaciones y predicciones apropiadas al caso.</p> <p><b>3. Utilizar pruebas científicas</b></p> <p>3.1. Interpretar pruebas científicas y elaborar y comunicar conclusiones</p> <p>3.2. Identificar los supuestos, las pruebas y los razonamientos que subyacen a las conclusiones.</p> <p>3.3. Reflexionar sobre las implicaciones sociales de los avances científicos y tecnológicos.</p>	
PISA 2015	PISA-D (2018)
<p><b>1. Explicar fenómenos científicamente</b></p> <p>1.1. Recordar y aplicar conocimientos científicos apropiados</p> <p>1.2. Identificar, usar y generar modelos y representaciones explicativas</p> <p>1.3. Hacer predicciones apropiadas y argumentarlas</p> <p>1.4. Ofrecer hipótesis explicativas en contextos donde no se dispone de conocimiento o datos suficientes.</p> <p>1.5. Explicar las implicaciones del conocimiento científico para la sociedad.</p> <p><b>2. Evaluar y diseñar indagaciones científicas</b></p> <p>2.1. Identificar el tema explorado en un estudio científico dado.</p> <p>2.2. Distinguir preguntas posibles para experimentos científicos.</p> <p>2.3. Proponer maneras de explorar científicamente una cuestión dada.</p> <p>2.4. Evaluar maneras de explorar científicamente una cuestión dada.</p> <p>2.5. Describir y evaluar cómo los científicos garantizan la fiabilidad de los datos, así como la objetividad y generalización de las explicaciones formuladas.</p> <p><b>3. Interpretar datos y pruebas científicamente</b></p> <p>3.1. Transformar datos de una representación a otra.</p> <p>3.2. Analizar e interpretar datos y sacar conclusiones apropiadas.</p> <p>3.3. Identificar puntos de partida, pruebas y razonamientos en textos científicos.</p> <p>3.4. Distinguir entre argumentos basados en pruebas científicas y teoría y aquellos basados en otras consideraciones.</p> <p>3.5. Evaluar argumentos y pruebas científicas procedentes de distintas fuentes (por ejemplo, periódicos, Internet, revistas especializadas).</p>	<p><b>1. Explicar fenómenos científicamente</b></p> <p>1.1. Recordar y aplicar conocimientos científicos apropiados</p> <p>1.2. Identificar, usar y generar modelos y representaciones explicativas</p> <p>1.3. Hacer predicciones apropiadas y argumentarlas</p> <p>1.4. Ofrecer hipótesis explicativas en contextos donde no se dispone de conocimiento o datos suficientes.</p> <p>1.5. Explicar las implicaciones del conocimiento científico para la sociedad.</p> <p><b>2. Interpretar datos y pruebas científicamente</b></p> <p>2.1. Transformar datos de una representación a otra.</p> <p>2.2. Analizar e interpretar datos y sacar conclusiones apropiadas.</p> <p>2.3. Identificar puntos de partida, pruebas y razonamientos en textos científicos.</p> <p>2.4. Distinguir entre argumentos basados en pruebas científicas y teoría y aquellos basados en otras consideraciones.</p> <p>2.5. Evaluar argumentos y pruebas científicas procedentes de distintas fuentes (por ejemplo, periódicos, Internet, revistas especializadas).</p> <p><b>3. Evaluar y diseñar indagaciones científicas</b></p> <p>3.1. Identificar el tema explorado en un estudio científico dado.</p> <p>3.2. Distinguir preguntas posibles para experimentos científicos.</p> <p>3.3. Proponer maneras de explorar científicamente una cuestión dada.</p> <p>3.4. Evaluar maneras de explorar científicamente una cuestión dada.</p> <p>3.5. Describir y evaluar cómo los científicos garantizan la fiabilidad de los datos, así como la objetividad y generalización de las explicaciones formuladas.</p>

Por lo que se refiere a la última versión, la llamada PISA para el Desarrollo o PISA-D (OCDE, 2018), mantiene en términos generales la redacción de 2015, salvo en el orden en que aparecen listadas en el texto, ya que después de “Explicar fenómenos científicamente” habla de “Interpretar datos y pruebas científicamente”, y, por último, “Evaluar y diseñar indagaciones científicas” (Tabla 2).

Junto a estas capacidades, PISA, en sus sucesivas ediciones (2006, 2012, 2015, 2018), identifica otros tres componentes estructurales, sin los cuales la competencia científica carecería de sentido y que pasamos a señalar (Figura 1):

- **El contexto**, esto es, situaciones y problemas de la vida cotidiana en las que aparece implicada la Ciencia y la Tecnología (relaciones Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente) y sobre las que debemos posicionarnos y tomar decisiones a distintos niveles (individual, local/nacional o global);
- **El conocimiento científico**, que comprende:
  - Conocimiento del contenido, o conceptual (sistemas físicos, sistemas vivos y sistemas de la Tierra y el espacio);
  - Conocimiento procedimental (diseño(s) experimental(es), control de variables, medición, fiabilidad y precisión de los datos...), incorporado expresamente en PISA 2015;
  - Conocimiento epistémico de la Ciencia o Naturaleza de la Ciencia (identificación de los elementos que la conforman – hechos, hipótesis, modelos y teorías – y el papel que cumplen en el desarrollo de la Ciencia, finalidades y valores de la Ciencia, uso, función y límites de los modelos científicos...).
- **Las actitudes**, que, inicialmente, en PISA 2006, englobaban el interés por la Ciencia, el apoyo a la investigación y el sentido de responsabilidad ciudadana, y que en PISA 2015 y PISA-D pasan a ser interesarse por la Ciencia, poner en valor el modo en que la Ciencia se aproxima al estudio de la realidad, así como tomar conciencia de la problemática medioambiental.

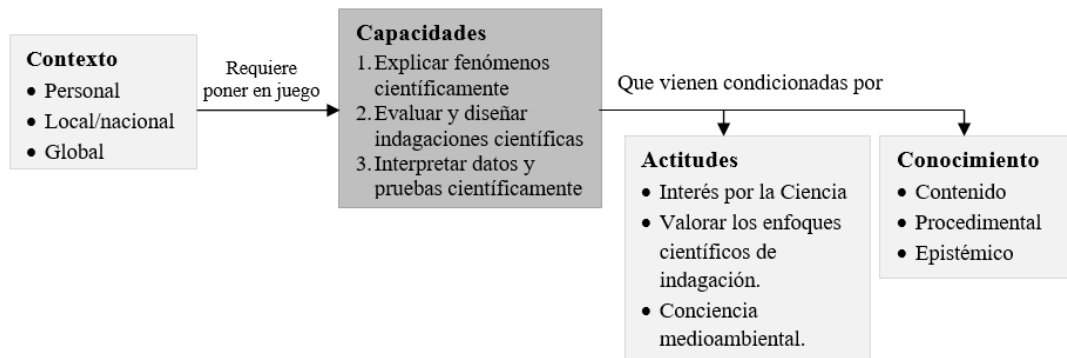


Figura 1. Componentes organizativos de la competencia científica de acuerdo con PISA 2015 (traducido y adaptado de OCDE, 2017)

El concepto de competencia científica sirve, pues, para concretar qué contenidos, capacidades y actitudes han de ser abordados si queremos lograr la alfabetización científica de la ciudadanía (Pedrinaci, 2012) en un sentido extenso y de desarrollo gradual y continuo, a lo largo de toda la vida (Acevedo, 2004). Es decir, precisamos atender a los cuatro pilares básicos señalados por Hodson (2014): *aprender ciencia*, *aprender sobre ciencia*, *aprender a hacer ciencia* y *aprender a afrontar problemáticas sociocientíficas*.

Esta representación unidireccional sobre las relaciones entre componentes puede ser algo limitada, ya que únicamente muestra qué papel juegan el contexto, el conocimiento y las actitudes en cuanto a las capacidades. Estas aparecen además en forma de listado, sin mencionar cómo interactúan entre sí.

A este respecto, Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig (2009), haciéndose eco de las capacidades sugeridas ya en PISA 2006, definieron el modo en que se interrelacionarían (Figura 2). Así, “Identificar cuestiones científicas” suponía discriminar qué fenómenos podrían ser efectivamente investigados y explicados desde una perspectiva científica, para lo que necesitaríamos recurrir al uso de pruebas y/o planificar cómo obtenerlas. Mientras, “Explicar fenómenos científicos” implicaba construir y emplear modelos explicativos por medio del conocimiento y las pruebas disponibles, lo que inevitablemente llevaría a generar nuevas preguntas, o lo que es lo mismo, a producir nuevas cuestiones científicas que explorar. Finalmente, “Utilizar pruebas científicas” incluía obtener y analizar pruebas que permitieran evaluar cada modelo y seleccionar aquel con mayor poder explicativo, conduciendo nuevamente a la formulación e identificación de nuevas preguntas de investigación.

Como vemos, también especificaron que la explicación de fenómenos habría de ser a través del uso de modelos científicos, un concepto que, de hecho, se incorporó de manera explícita en las ediciones PISA 2015 y PISA-D, concretamente en la subcapacidad “1.2. Identificar, usar y generar modelos y representaciones explicativas” (véase Tabla 2), así como en el apartado de “Conocimiento epistémico”, pues constituye uno de los elementos clave de la Ciencia (Giere, 2004).

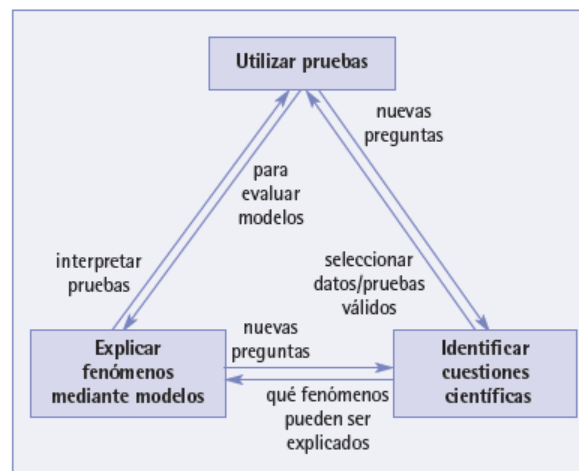


Figura 2. Relaciones entre las tres capacidades, o *competencias científicas*, en palabras de las autoras, que integran la competencia científica, extraído de Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig (2009).

En el caso de la última versión de PISA (PISA 2015 y PISA-D) y siguiendo este mismo formato sugerido por Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig, estas relaciones entre capacidades de la competencia científica podrían representarse de la siguiente forma (Figura 3):

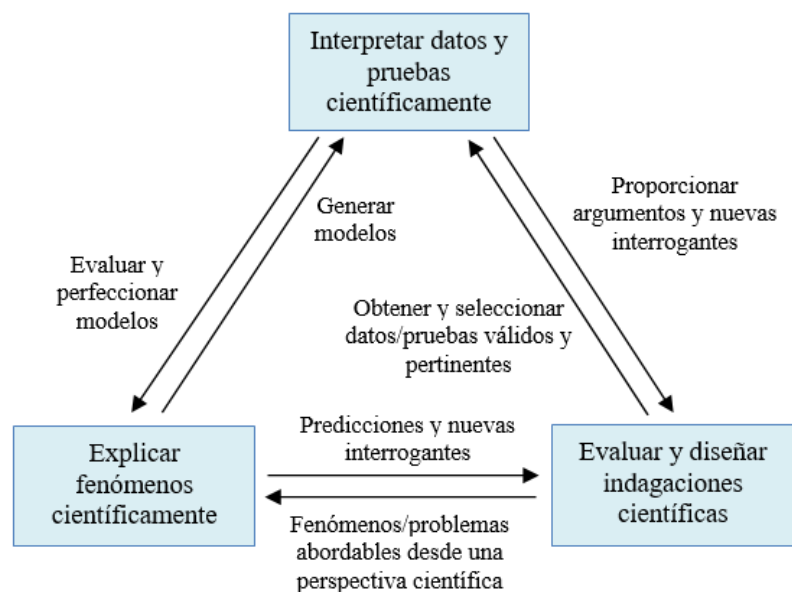


Figura 3. Representación de las relaciones entre las tres capacidades que integran la competencia científica de acuerdo con PISA 2015 y PISA-D, siguiendo el formato propuesto por Jiménez-Aleixandre, Bravo y Puig (2009) (elaboración propia).

Por otra parte, PISA parece no tener en cuenta cómo el contexto o el propio desarrollo de estas capacidades pueden condicionar a su vez el conocimiento y las actitudes del alumnado, ni se describe cómo la interacción entre todos estos componentes va a dar lugar a la toma de decisiones informadas. Se crea así una imagen compartimentada de la competencia científica que, en nuestra opinión, choca con el carácter integrado inherente al propio concepto de competencia. Claro que PISA es una prueba de evaluación, no una propuesta curricular, como advierten Cañas, Martín y Nieda (2007), lo que le confiere ciertas posibilidades, pero también una visión restringida.

Es por ello que, en este sentido, la relación de capacidades y su organización en cuatro dimensiones – conceptual, metodológica, actitudinal e integrada – propuesta por Cañal (2012) y recogida en la Tabla 3, podría resultar más conveniente a la hora de orientar la actividad de aula y el propio diseño curricular:

Tabla 3. Las dimensiones de la competencia científica según Cañal (2012)

DIMENSIÓN	CAPACIDADES CIENTÍFICAS	APRENDIZAJES BÁSICOS
Dimensión conceptual	<b>1. Capacidad de utilizar el conocimiento científico personal para describir, explicar y predecir fenómenos naturales.</b> Ser capaz de utilizar adecuadamente el conocimiento científico supone conocerlo de forma significativa. Es decir, saber emplearlo para describir, explicar o predecir apropiadamente alguna cosa o fenómeno concreto relativo a la naturaleza y la tecnología.	1.1. Principales conceptos, modelos y teorías científico-escolares. ----- 1.2. Uso de los conceptos, modelos y teorías científico-escolares, a fin de describir, explicar o predecir cosas o fenómenos de la realidad.
	<b>2. Capacidad de utilizar los conceptos y modelos científicos para analizar problemas.</b> Ser capaz de emplearlos para reflexionar con fundamento sobre problemas e interrogantes que se planteen en contextos académicos y cotidianos.	2.1. Uso de los conceptos, modelos y teorías científico-escolares en el análisis de problemas y soluciones planteadas en diferentes contextos vivenciales del alumnado.
Dimensión metodológica	<b>3. Capacidad de diferenciar la ciencia de otras interpretaciones no científicas de la realidad.</b> Distinguir entre los fines, fundamentos y metodologías de la investigación científica y los propios de otras aproximaciones a la realidad.	3.1. Para qué, con qué fundamento y cómo se elabora el conocimiento científico.
	<b>4. Capacidad de identificar problemas científicos y diseñar estrategias para su investigación.</b> Saber detectar aspectos problemáticos, formular hipótesis al respecto y planificar su contrastación.	4.1. Identificar y formular problemas. ----- 4.2. Formular hipótesis. ----- 4.3. Diseñar procesos de contrastación.
	<b>5. Capacidad de obtener información relevante para la investigación.</b> Poseer criterios y procedimientos adecuados para buscar, valorar y seleccionar fuentes de información fiables y relevantes para la cuestión investigada y saber usarlos para obtener información valiosa de distintas fuentes.	5.1. Buscar y seleccionar fuentes de información relevantes. ----- 5.2. Obtener información fiable y relevante de las distintas fuentes.

	<p><b>6. Capacidad de procesar la información obtenida.</b> Saber realizar las tareas de tratamiento de los datos necesarias para poder interpretar adecuadamente el significado de los datos obtenidos.</p>	<p>6.1. Tratar los datos obtenidos para interpretarlos adecuadamente: resumir, comparar, clasificar, cuantificar, relacionar, etc. Lectura de gráficas.</p> <p>6.2. Interpretar los resultados.</p>
	<p><b>7. Capacidad de formular conclusiones fundamentadas.</b> A partir de los resultados, ser capaz de formular conclusiones relativas a los objetivos, problemas, hipótesis y metodología de la investigación, en relación con los resultados y conclusiones de investigaciones anteriores sobre la problemática investigada.</p>	<p>7.1. Producir y valorar argumentaciones y conclusiones.</p> <p>7.2. Formular conclusiones coherentes con los planteamientos, resultados y antecedentes de la investigación.</p>
<p><b>Dimensión actitudinal</b></p>	<p><b>8. Capacidad de valorar la calidad de una información en función de su procedencia y de los procedimientos utilizados para generarla.</b> En contextos de investigación y toma de decisiones, valorar positivamente las informaciones procedentes de fuentes y procedimientos científicamente fiables y ser críticos con aquellas que no reúnan esos requisitos.</p>	<p>8.1. Valorar positivamente las informaciones o argumentos científicos frente a otros que no lo sean, en contextos de investigación.</p> <p>8.2. Valorar positivamente los procedimientos científicos frente a otros que no lo sean, en contextos de investigación.</p>
	<p><b>9. Capacidad de interesarse por el conocimiento, indagación y resolución de problemas científicos y problemáticas socioambientales.</b> Sentir interés por las respuestas y soluciones ante los interrogantes científicos y personales sobre la realidad natural y tecnológica, así como ante las amenazas de los problemas socioambientales, optando por soluciones que favorezcan procesos de equilibración y desarrollo sostenible.</p>	<p>9.1. Interesarse por el conocimiento científico de la realidad material.</p> <p>9.2. Interesarse por conocer y resolver problemas socioambientales.</p> <p>9.3. Valorar positivamente la adopción de medidas para resolver problemáticas como el agotamiento de los recursos naturales o el deterioro ambiental, y favorecer un desarrollo sostenible.</p>
	<p><b>10. Capacidad de adoptar decisiones autónomas y críticas en contextos personales y sociales.</b> Es decir, poseer los conocimientos y criterios científicos, conjugados con otros de distinta naturaleza, que sean necesarios para efectuar valoraciones con sentido crítico y tomar decisiones con autonomía y suficiente fundamentación.</p>	<p>10.1. Valorar positivamente la autonomía personal y actuar con fundamento y con criterios propios.</p> <p>10.2. Valorar positivamente el sentido crítico y saber emplearlo.</p>
	<p><b>11. Capacidad de utilizar de forma integrada las anteriores capacidades para dar respuestas o pautas de actuación adecuadas ante problemas concretos científicos, tecnológicos o socioambientales en contextos vivenciales del alumnado.</b> Ser capaz de movilizar de forma conjunta e integrada todas las capacidades definitorias de la competencia científica y actuar con coherencia y eficacia ante problemas y contextos específicos.</p>	<p>11.1. Establecer relaciones funcionales entre distintas capacidades científicas.</p> <p>11.2. Desarrollar pautas de actuación ante problemas concretos del entorno que sean coherentes con las perspectivas científicas.</p>
<p><b>Dimensión Integrada</b></p>		

Como puede observarse, los cuatro componentes enunciados en PISA, esto es, contexto, capacidades, conocimiento y actitudes aparecen aquí completamente entrelazados, especialmente el contexto, que se convierte en una constante de todas y cada una de las dimensiones. Por ejemplo, en la dimensión conceptual se han de usar los



conceptos y modelos científicos para dar cuenta de la realidad y analizar problemas sociocientíficos (España y Prieto, 2010) que puedan aparecer en la vida cotidiana de los estudiantes. En el caso de la dimensión metodológica, se trata de investigar un problema dado, pero no por ello menos auténtico (Jiménez-Aleixandre, 1998), y sacar conclusiones a partir de los datos y pruebas recabados, conclusiones que luego nos servirán para tomar decisiones informadas sobre esos mismos problemas, como aparece en la dimensión actitudinal. Finalmente, la dimensión integrada, que nos lleva a poner en juego todas las demás capacidades de forma conjunta para evaluar un determinado problema en su conjunto y así darle la solución más apropiada.

Al mismo tiempo, consideramos positivo que se hable de hasta cuatro dimensiones diferentes:

- una dimensión conceptual, más centrada en lo que PISA ha dado en llamar “conocimiento del contenido” y equivalente a la capacidad “Explicar fenómenos científicamente”;
- una dimensión metodológica, que respondería al “conocimiento procedimental” de PISA, pero que va más allá, al incorporar también el “Conocimiento epistémico” y la mayoría de las subcapacidades incluidas en “Evaluar y diseñar indagaciones científicas” e “Interpretar datos y pruebas científicas”;
- una dimensión actitudinal, que formula como capacidades *per se* los distintos elementos abordados en el apartado de “Actitudes” de PISA y en “Conocimiento epistémico”;
- y una dimensión integrada, que se erige, en nuestra opinión, como la más importante de todas ellas, porque hace hincapié sobre la necesidad de no solo desarrollar todas las capacidades prescritas sino de ser capaz de emplearlas conjuntamente, para así obtener una visión global que permita tomar decisiones y actuar de manera eficiente y responsable. Esta dimensión integrada es, de hecho, la gran novedad que presenta la relación de capacidades definida por Cañal (2012) frente a PISA.

Así, lejos de ofrecer una visión fragmentada de la competencia científica, entendemos que esta organización consigue atraer la atención sobre los distintos componentes que la conforman sin renunciar a su articulación e integración; una atención que, de otro modo, bien podría diluirse, sobre todo para el caso de las

actitudes, dada la tendencia en las aulas a centrarse en lo meramente conceptual o, con suerte, en lo conceptual y lo procedimental (Pozo y Gómez, 1998).

Podríamos representar este marco como (Figura 4):

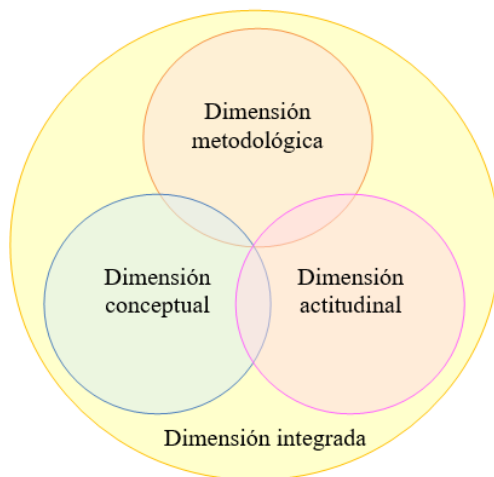


Figura 4. Dimensiones que componen la competencia científica de acuerdo con Cañal (2012) (elaboración propia).

Para finalizar, este autor también hace referencia al empleo de modelos científicos: ser capaz de *utilizarlos* para describir, explicar, predecir y analizar. Pero, dado el relevante papel que juegan los modelos en el desarrollo de la ciencia, y cómo se van (re)construyendo progresivamente a lo largo de la escolaridad hasta alcanzar el modelo científico escolar (Clement, 2000), además se debería incorporar también la noción *generativa* (Martí, 2012; PISA 2015; PISA-D), *evaluativa* y *de revisión* de los modelos (Jiménez-Aleixandre, 2010).

En definitiva, parafraseando a Coll (2007), para adquirir o desarrollar *la competencia científica* hay que asimilar y apropiarse siempre de una serie de saberes asociados a ella; y, además, aprender a movilizarlos y aplicarlos.

### 2.1.2. La competencia científica en la normativa vigente

Como ya adelantábamos al principio de este capítulo, el sistema educativo español se encuentra actualmente regulado, en primera instancia, por la *Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación* (MEC, 2006), conocida como LOE, y la *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa* (MECD, 2013), o LOMCE, que amplía y modifica parcialmente la LOE. Tanto una como la otra defienden el aprendizaje basado en competencias.

### 2.1.2.1. La competencia científica en la Ley Orgánica 2/2006 de Educación (LOE)

La LOE (MEC, 2006) fue la primera ley educativa española en incorporar de forma expresa y diferenciada el concepto de competencia al *curriculum* escolar (Cañas, Martín y Nieda, 2007). Respondía así a las recomendaciones que se venían haciendo desde la Unión Europea desde finales del siglo pasado (Pedrinaci, 2012), recomendaciones que se verían concretadas aquel mismo año en la ya mencionada *Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente*.

No obstante, en lugar de llamarlas “competencias clave”, fueron denominadas “competencias básicas”, debido quizás a su *carácter básico*, ya que focalizaban la atención sobre aquellos aprendizajes imprescindibles – o *básicos* – para alcanzar un pleno desarrollo personal, social y profesional. Así se señala en el Anexo I de ambos Reales Decretos de Enseñanzas Mínimas derivados de la LOE, esto es, el *Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria* (MEC, 2006), y del *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria* (MEC, 2007).

No fue este el único cambio con respecto al marco presentado desde la Comisión Europea (2007). La competencia científica se desdobló de la “Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología” europea y recibió el nombre de “*Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico*”, un cambio que también acusaron Pro y Miralles (2009). Se definió entonces como:

La habilidad para interactuar con el mundo físico, tanto en sus aspectos naturales como en los generados por la 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. (RD 1513/2006, Anexo I, p. 43059, y RD 1631/2006, Anexo I, p. 687).

Como puede verse – y ya adelantábamos en el primer apartado –, se presentaba como una única habilidad, si bien en las siguientes líneas se explicaba en qué consistía exactamente dicha “habilidad” indicando, *grosso modo*, distintos conocimientos (cuerpo

humano, naturaleza, medio ambiente, consumo, tecnología...), capacidades (identificar y plantear problemas, realizar experimentos y observaciones, obtener conclusiones basadas en pruebas, tomar decisiones argumentadamente...) y actitudes implicados (espíritu crítico, cuidado del medio ambiente, consumo responsable...).

Dada la por entonces muy reciente introducción del concepto de competencia en la normativa española y la gran relevancia de PISA a nivel mundial, Cañas, Martín y Nieda (2007) decidieron llevar a cabo un análisis comparativo entre PISA y los *curricula* derivados de la LOE para comprobar en qué medida la nueva normativa española contribuía (o no) al desarrollo de la competencia científica de forma efectiva y coherente.

Los resultados de este análisis pusieron de manifiesto que bien tratada, la LOE posibilitaba, en efecto, un buen desarrollo de la competencia científica, pues contemplaba la mayoría de las capacidades, conocimientos y actitudes enunciados en PISA. No obstante, lo hacía en muy diferente proporción.

Por ejemplo, la capacidad para *Explicar fenómenos naturales* – por entonces denominada *Descripción y explicación de fenómenos* y que engloba la parte más conceptual de las disciplinas científicas – estaba ampliamente representada, tanto en objetivos y contenidos como en criterios de evaluación. Esta impresión es compartida por Pro y Miralles (2009), Banet (2010) y García-Carmona, Criado y Cañal (2014), quienes critican precisamente esta profusión de conocimientos conceptuales en detrimento de los contenidos procedimentales y actitudinales, de los cuales solo algunos tenían una presencia relevante; concretamente, la búsqueda y selección de información, el conocimiento y puesta en marcha de procedimientos científicos como la observación o la clasificación, y el sentido de responsabilidad para con la ciencia y la sociedad.

De este modo, muchos otros aspectos se abordaban de forma ocasional o prácticamente anecdótica, como la capacidad para *Utilizar pruebas científicas*, especialmente en lo referente a la argumentación, o el propio conocimiento de la Naturaleza de la Ciencia, que, sin embargo, resulta imprescindible para *Identificar cuestiones investigables por la Ciencia* (capacidad ahora reconvertida en *Evaluar y diseñar indagaciones científicas*). De hecho, no se abordaba en ningún momento la identificación y distinción entre los distintos elementos que componen la ciencia, esto

es, fenómenos, hipótesis, teorías y modelos, como explican Cañas, Martín y Nieda (2007).

En cambio, destacan que se presentara la ciencia como construcción social, una concepción de la ciencia que no aparece en PISA y que, no obstante, resulta de especial importancia dentro del desarrollo de la competencia científica de la ciudadanía, en tanto que “supone un acercamiento de las personas a los científicos y a su quehacer, la ciencia, para no abandonar la toma de decisiones personales en manos de los expertos” (Cañas, Martín y Nieda, 2007, p.48). Ni tampoco – añadiríamos – en las manos de los poderosos. Como apunta Guinovart en el prólogo del informe ENCIENDE (COSCE, 2011), una ciudadanía que no posea una adecuada formación científica será fácilmente manipulable. Y este peligro no hace sino acrecentarse por la tendencia de los políticos a asumir tanto la tarea de asesorar a la población como la de tomar decisiones por ella (Ezquerro, Fernández-Sánchez y Magaña, 2015).

Estos estudios también llaman la atención sobre otros problemas. Pro y Miralles (2009) señalan que, a pesar de lo mucho que se insistía en la necesidad de aplicar los conocimientos, finalmente esto se reflejaba escasamente en los contenidos propuestos. Asimismo, García-Carmona, Criado y Cañal (2014) acusan la falta de progresión en el desarrollo competencial y la ausencia de continuidad entre los contenidos. En el primer caso, porque la competencia científica estaba escrita exactamente igual para educación primaria que para educación secundaria, haciendo imposible su secuenciación. En el segundo, porque los contenidos aparecían y desaparecían indiscriminadamente a lo largo del texto, cuando los contenidos suelen ser el elemento curricular que acaba por orientar el aprendizaje de los escolares, más que los objetivos o las propias competencias.

#### 2.1.2.2. La competencia científica en la Ley Orgánica 8/2013 de Calidad para la Mejora Educativa (LOMCE)

La LOMCE, por su parte, siguiendo la estela de la LOE, no solo considera las competencias como uno de los elementos que integran el *currículum*, junto a objetivos, contenidos, metodología, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables, sino que recupera la denominación y definición de “competencias clave” adoptada en primera instancia por la Unión Europea. Así, en el artículo 6.b, las define como: “capacidades para aplicar de forma integrada los contenidos propios de cada enseñanza

y etapa educativa, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos”.

Además, las convierte en eje vertebrador de todo el *currículum*, como pone de manifiesto la *Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato* (MECD, 2015). De acuerdo con esta Orden ECD/65/2015, las competencias clave deberán estar en sintonía con los objetivos y materias (o áreas) de cada etapa educativa, lo que incluye contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje, en función de los cuales se establecerá el nivel de desempeño competencial de cada alumno o alumna en cada curso y etapa. Asimismo, se establece que su desarrollo se inicie con la propia escolarización, para así asegurar su progresiva y coherente adquisición. Para ello se dan algunas orientaciones metodológicas acordes con el carácter dinámico, transversal e integral que se reconoce como propio de las competencias clave, animando al profesorado a emplear metodologías (inter)activas y contextualizadas. En este sentido, parece resolver, en cierto modo, algunas de las demandas hechas por Banet (2010) y García-Carmona, Criado y Cañal (2014) en torno a la progresión de las competencias y su relación con el resto de elementos curriculares, poco clara en el marco curricular anterior.

Aunque expresadas en términos generales, estas recomendaciones metodológicas han de hacerse extensivas a todas y cada una de las competencias. Entre ellas, la científica, que, con la LOMCE, se fusiona nuevamente con la matemática y pasa a denominarse, como ya hemos mencionado antes, “Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología”, igual que en el Marco de Referencia de la Comisión Europea (2006). Se definen como:

Aquellas que proporcionan un acercamiento al mundo físico y a la interacción responsable con él desde acciones, tanto individuales como colectivas, orientadas a la conservación y mejora del medio natural, decisivas para la protección y mantenimiento de la calidad de vida y el progreso de los pueblos. (Orden ECD/65/2015, p. 6994)

A continuación, como ya hacía la LOE, se concretan qué conocimientos, destrezas y actitudes posibilitarán alcanzar esa competencia para interactuar con el medio. Así, el conocimiento conceptual se organiza, al igual que en PISA (OCDE, 2017), en sistemas

físicos, sistemas biológicos y sistemas de la Tierra y del espacio, si bien aquí se añade un cuarto bloque dedicado a los sistemas tecnológicos. Eso sí, sus descripciones son bastante sucintas, en contraste con PISA, que identifica los conceptos clave de cada uno de ellos.

Junto a estos sistemas de contenido se presentan dos dominios en los que el alumnado, se dice, deberá formarse y practicar, y que servirán para adquirir los conocimientos antes mencionados: por un lado, la “Investigación científica”, que acerca al alumnado a los métodos de trabajo de la ciencia, incluyendo no solo destrezas, como la propuesta de preguntas, manejo de instrumentos o el diseño de pruebas y experimentos, sino también valores asociados a la propia actividad científica, como la disciplina o el rigor; por el otro, la “Comunicación de la Ciencia”, centrada en el desarrollo de las destrezas comunicativas como la interpretación y exposición de resultados y, sobre todo, la adquisición del lenguaje científico.

Se recogen también las actitudes de interés por la Ciencia, apoyo a la investigación científica, valoración del conocimiento científico y sentido de responsabilidad ciudadana en relación con el medioambiente y la salud fundamentalmente, aunando así PISA 2006 y PISA 2015.

Igualmente, y parece que de nuevo en línea con PISA, la LOMCE da prioridad al desarrollo de la competencia científica junto a la competencia lingüística y matemática, como reza el art. 2 del *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria* (MECD, 2014) y del *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato* (MECD, 2015), una atención preferente que parece trasladarse a los libros de texto, que en sus nuevas ediciones incorporan un mayor número de actividades encaminadas al trabajo colaborativo, la experimentación y la investigación (Verde, Caballero y Pablos, 2017).

Así pues, por lo que se refiere a la definición y asentamiento de la competencia científica a nivel normativo, parece haberse avanzado desde la LOE. Sin embargo, estudios como el de Borges, Pires y Delgado-Iglesias (2018) demuestran que siguen existiendo deficiencias importantes, tanto a nivel de contenido, sobre todo, en lo que se refiere a las relaciones Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA) y a la Naturaleza de la Ciencia, como de orientación metodológica, una crítica que ya hacían

Pro y Miralles (2009) a la LOE. Y es que no se provee al profesorado de indicaciones claras y precisas sobre cómo promover el desarrollo de cada una de las competencias, más allá de dar algunos ejemplos de metodologías e instrumentos que sería conveniente emplear, concretamente, el trabajo por proyectos y el portfolio. Sin embargo, el tipo de metodología que se emplee en el aula resulta determinante en el desarrollo de la competencia científica, como ponen en evidencia Crujeiras y Jiménez-Aleixandre (2015).

## **2.2. Modelos y modelización en el proceso de enseñanza-aprendizaje**

Si parece que ha habido un cierto acercamiento en la definición de la LOMCE a los parámetros definidos por PISA para la competencia científica, lo cierto es que no se contemplan algunos aspectos clave para la formación científica del alumnado y su comprensión de la naturaleza de la ciencia. Estamos hablando del uso y la construcción de modelos.

Los especialistas se muestran de acuerdo en considerar los modelos como uno de los elementos fundamentales en la producción del conocimiento científico, una importancia de la que se hacen eco la propia historia y filosofía de la ciencia (Gilbert y Justi, 2016). Como veíamos antes, PISA, tanto de 2015 (OCDE, 2017) como de 2018 (OCDE, 2018), recoge entre las capacidades la siguiente: “Identificar, usar y generar modelos y representaciones explicativas”.

Lo extraño es que esa relevancia no vea su reflejo en la legislación educativa española, ni en la LOE ni en la LOMCE. A pesar de que numerosos autores (Gobert y Buckley, 2000; Greca y Moreira, 1997; Harrison y Treagust, 2000; Justi y Gilbert, 2002; Lehrer y Schauble, 2012; Martinand, 1986; Schwarz *et al.*, 2009) vienen reclamando su inclusión en el contexto educativo desde hace décadas. Se refieren, por supuesto, a una inclusión explícita, dado que, siendo los modelos una parte integrante de la Ciencia, han venido tratándose irremediabilmente de manera implícita durante mucho tiempo (Adúriz-Bravo y Ariza, 2012).

Y es que si queremos que la educación científica sea auténtica, apunta Gilbert (2004), modelos y modelización habrán de jugar un importante papel en la misma. Precisamente, el *Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting*



*Concepts, and Core Ideas* (NRC, 2012) presenta la modelización como una de las ocho prácticas esenciales en torno a las cuales vertebrar la educación científica.

Las razones a favor de esta incorporación son muchas (Gilbert y Justi, 2016):

- 1) Permite al alumnado reconstruir los principales modelos científicos ya establecidos, reduciendo así la cantidad total de contenido a abordar y, en consecuencia, dejando más tiempo a los estudiantes para pensar e interactuar con dicho contenido. Esto se traduce en un aprendizaje verdaderamente significativo, donde el alumnado asume como propio el conocimiento adquirido, un conocimiento que además puede usar en su día a día. De hecho, concluyen Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009, p. 47), la modelización resulta esencial en la ciencia escolar porque posibilita, no tanto el redescubrimiento del conocimiento científico alcanzado hasta la fecha, sino más bien una “apropiación - profundamente constructiva - de potentísimas herramientas intelectuales”.
- 2) Al aprender cómo funcionan los modelos científicos y cómo se generan, el alumnado es capaz de reconocer el importante papel que juegan dentro de la Ciencia y, por lo tanto, tomar conciencia de cómo se relacionan la ciencia y la tecnología con la sociedad y el medio ambiente. De este modo, se hacen sensibles a la propia Naturaleza de la Ciencia y sus repercusiones éticas, llegando a comprender cómo sus valores se encuentran indisolublemente ligados al contexto socio-cultural donde se produce. Además, permite a los estudiantes aproximarse al estudio del mundo tal y como lo perciben, preparándolos para seguir, cuando no participar, en los debates científicos.
- 3) Dado que la mayoría de las habilidades relacionadas con la modelización tienen que ver con el uso del lenguaje, trabajar desde la modelización permitirá desarrollar y mejorar sus destrezas cognitivas y comunicativas.

Por otra parte, como declaran García-Carmona, Criado y Cañal (2014, p. 4), “es exigible que el marco curricular que regula la educación científica básica, en cuanto a qué enseñar y cómo hacerlo, sea coherente con la fundamentación didáctica actual”, y el aprendizaje basado en modelos y la modelización constituyen hoy en día una de las líneas más fecundas en Didáctica de las Ciencias (Oliva, 2014).

Ahora bien, ¿qué se entiende por modelo? ¿Y por modelización? ¿En qué consiste el aprendizaje basado en modelos y la enseñanza basada en modelización?

### **2.2.1. El aprendizaje basado en modelos: modelos científicos, modelos mentales y modelos científicos escolares**

A la hora de hablar de “modelo” en educación científica, deberemos tener en cuenta tres perspectivas diferentes: la epistemológica, la psicológico-cognitiva y la didáctica (Oliva, Aragón-Méndez, Jiménez-Tenorio y Aragón-Núñez, 2016).

#### 2.2.1.1. La perspectiva epistemológica: los modelos científicos

La perspectiva epistemológica nos remite directamente a la Ciencia como actividad humana, que tiene como producto final la generación de conocimiento (Martí, 2012) y a cuestiones tales como: qué es el conocimiento, qué parte del mundo somos capaces de conocer y cómo generamos dicho conocimiento. Para responder a estas preguntas encontramos distintas posturas, desde el positivismo lógico del Círculo de Viena al realismo interno de Putnam, o el realismo constructivo de Giere, pasando por el falsacionismo de Popper, la competencia entre programas de investigación de Lakatos, el relativismo o revolucionismo paradigmático de Kuhn, y el evolucionismo pragmático de Toulmin, entre otros (Diéguez, 1998; Oliva *et al.*, 2016; Pro, 2003).

Cada una de estas escuelas ha tenido o tiene una forma de comprender qué es un modelo científico y qué papel juega dentro de la producción de conocimiento. Entre ellos cabe destacar el trabajo de Ronald Giere, que muchos especialistas en Didáctica de las Ciencias emplean como referente a la hora de hablar sobre la enseñanza basada en modelos en sus distintas variantes, como Acher (2014), Develaki (2007), Gómez Galindo (2014) o Izquierdo (2014). Quizás se deba a la consonancia de sus proposiciones con el enfoque constructivista del aprendizaje, tal y como sugiere el trabajo de Oliva y otros autores (2016), un enfoque que actualmente es el predominante en la Didáctica de las Ciencias (Mellado, 2001). O quizás por el amplio estudio que la escuela semántica, en la que se enmarca este autor, ha venido haciendo del propio constructo de “modelo” y que, de acuerdo con Adúriz-Bravo y Ariza (2012), resultaría especialmente valioso para la educación científica de la ciudadanía.

Así pues, siguiendo a Giere (2004), los *modelos científicos*, también denominados *modelos teóricos* o *modelos científicos eruditos* por Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), constituyen, ante todo, la herramienta principal (que no la única) de los científicos y científicas para representar (mental o materialmente) distintos aspectos del mundo y

cuya forma (también formato) y extensión variará en función de cuál sea su objetivo último.

Siguiendo a Oh y Oh (2011) podemos distinguir en ellos cuatro finalidades básicas: (1) describir un fenómeno natural, (2) explicarlo, (3) hacer predicciones sobre el mismo, o bien (4) comunicar sus ideas a otras personas. Son, por tanto, producto e instrumento de la actividad científica, como indica Gilbert (1993), y se convierten así en el núcleo central de dicha actividad (Giere, 1999). Las teorías, constituidas por enunciados y sus representaciones (Oliva *et al.*, 2016), se erigirían como una familia de modelos (Giere, 1988).

Los modelos guardan una relación de similitud con la parte de la realidad que están representando, de ahí la importancia de su precisión. No obstante, como advierte Giere (2004, p.747, traducción libre), “no es el modelo el que está haciendo la representación, sino que es el científico o científica que usa dicho modelo quien establece dicha representación”. Es lo que ha dado en llamar “Concepción intencional de representación” (*Intentional Conception of Representation*) y, para ilustrarlo mejor, sugiere la siguiente figura (Giere, 2010, p. 275):

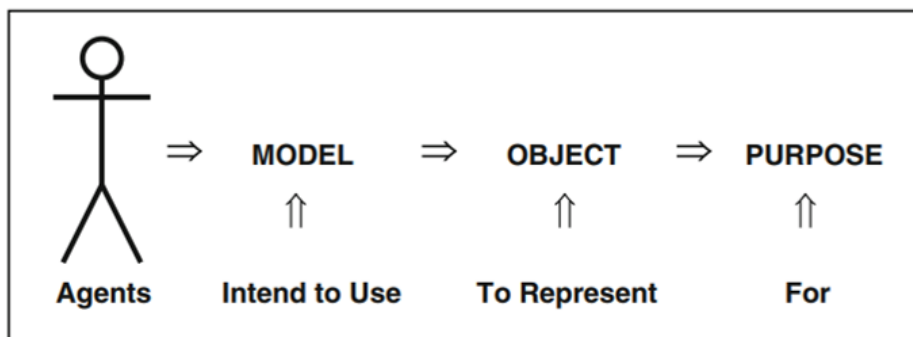


Figura 5. Representación esquemática de una concepción intencional de representación científica (Giere, 2010).

Como vemos, los *agentes* tratan de *usar los modelos* para *representar un objeto* en concreto con un *propósito* concreto. Por lo tanto, son esos agentes los que van a determinar, en cada caso, qué aspectos de la realidad se van a considerar (y cuáles no) y cómo van a ser representados dentro del modelo, según mejor les convenga.

Esta es una puntualización importante. En primer lugar, resuelve el conflicto derivado de la necesidad de simetría inherente al concepto de “similitud”, frente a la inevitable componente asimétrica que conlleva el concepto de “representación” (Giere,

2010). Al decir que el modelo es *similar* a la realidad, se le presupone una relación de simetría que rara vez se cumple, dado que una misma realidad puede ser *representada* de múltiples maneras, enfatizando unos u otros elementos según interés. Precisamente, Knuuttila (2011) llama la atención sobre cómo todas las simplificaciones, idealizaciones, elementos ficticios, aproximaciones... que se emplean habitual y necesariamente en los modelos, al final (re)presentan una imagen distorsionada de la realidad; lo que no es incompatible, en absoluto, con su utilidad. Sin embargo, defiende Giere (2010), al ser el agente el que dispone en qué sentido modelo y realidad son similares, se concreta el rango de acción (posibilidades y limitaciones) del modelo y la representación deja de ser asimétrica.

En segundo lugar, se reconoce una relación triádica entre realidad, modelo y científico/a/s, en la cual no solo importa la parte del mundo estudiada y el modelo que la representa, sino el propio agente que produce dicho modelo para un contexto y finalidad particulares. Esto significa que, para una misma realidad, se pueden crear distintos modelos que atiendan a distintos aspectos, o bien, un mismo modelo puede ser usado por distintos agentes para responder a distintos propósitos (Gilbert y Justi, 2016).

Se supera así la noción más limitada y clásica de “modelo”, propia de la visión sintáctica, donde un modelo equivale a un simple ejemplo de la teoría, y se aproxima en mayor medida a la visión mediadora sugerida por Morrison y Morgan (1999). Estas autoras entienden que los modelos son herramientas investigativas que pueden funcionar autónomamente – como “agentes autónomos” – que, más que (o además de) *representar* el mundo real, lo que hacen es *mediar* entre la teoría y los datos. Es decir, no dependen ni emanan directa y/o exclusivamente de la una o de los otros, sino que navegan entre ambos, tomando, combinando e integrando elementos de aquí y de allá, incluso de dominios ajenos al ámbito inicial de estudio, aunque sin perder nunca de vista este último. De ahí el lugar propio que ocupan dentro de la producción de conocimiento científico, donde intervienen tanto en el desarrollo como en la refutación de la teoría. De este modo, ya no importa tanto su grado de precisión como que sirvan a la finalidad para la que son creados.

Knuuttila (2011), por su parte, va aún más allá y concibe los modelos científicos como “artefactos o herramientas epistémicas”, que no solo posibilitan la descripción y explicación del mundo natural, sino que sirven como apoyo a nuestro propio

pensamiento a la hora de desarrollar dicho conocimiento a través de su producción, uso y manipulación, lo que nos lleva directamente al campo del aprendizaje. Se desdeña así el papel subordinado que se les suele otorgar a los modelos con respecto a la teoría, como ya hacían Morrison y Morgan (1999), pero también con respecto a la realidad.

Muchas veces los científicos y científicas comienzan por construir el modelo y trabajar sobre él antes incluso de recurrir a los datos, o atender de forma explícita a cómo se relaciona con la realidad objeto de estudio, como pone en evidencia Weisberg (2007) a través del ejemplo de Volterra y su modelo de depredador-presa. Esta actividad de construcción y reflexión produce conocimiento en sí misma, un conocimiento que además suele ser aplicable de manera más general o, si se quiere, a otros contextos distintos de aquel para el que el modelo fue originalmente ideado.

Es por ello que Knuuttila (2011) critica la aproximación pragmática de Giere (2010) al concepto de modelo, porque entiende que recurre a la falibilidad e intencionalidad humana no solo para mantener, sino además justificar, la relación de representación existente (o subyacente) entre un modelo y la parte de la realidad que modeliza. Como consecuencia, restringe la potencialidad de los modelos a su mera capacidad representativa, cuando, en realidad, pueden operar de forma independiente (Knuuttila, 2005). En definitiva, desde el punto de vista de esta autora, los modelos constituyen un objeto de conocimiento en sí mismo, un constructo epistémico que sirve para hacer más manejable y accesible un determinado fenómeno natural o problema científico. Así, sus posibilidades y limitaciones, y los propios resultados que obtengamos a través de su empleo, van a venir definidas por:

- ❖ **Su diseño**, es decir, los elementos y relaciones que lo componen (o no), y que estará a su vez condicionado por el propósito para el que haya sido ideado el modelo (describir, explicar, predecir, comunicar);
- ❖ **El medio de representación escogido**, que incluye dos partes, una más abstracta, esto es, el “modo”, o tipo de lenguaje empleado (lingüístico, visual, matemático...), y una parte más material, el “formato” (papel, ordenador, maqueta...), en la que toma cuerpo físicamente y cuya naturaleza va a favorecer un tipo de inferencias u otro. De hecho, suele resultarnos más sencillo pensar con analogías y visualizaciones que con lo digital y lo numérico.

- ❖ **Su carácter utilitarista**, que hará primar la obtención de resultados sobre cualquier otro tipo de criterio a la hora de diseñar el modelo, escoger el modo de representación e incluso manipularlo: a menudo los modelos se conciben en forma de hipótesis a contrastar, por lo que se formulan en función de cómo se cree que será el resultado final; si bien se espera que también generen resultados inesperados que lleven a explorar nuevas interrogantes.
- ❖ **Su carácter manipulativo**, dado que es a través de la manipulación de los modelos que llegamos a aprender y conocer el mundo que nos rodea. Los modelos nos permiten barajar múltiples opciones hasta que encontramos la que más se ajusta a los datos y la teoría disponible. De esta manera, aquel que nos ofrezca mayores posibilidades de manipulación concreta, también favorecerá mejor el desarrollo de nuestro pensamiento y, por tanto, la generación de nuevo conocimiento. El proceso de cognición se concibe así como fruto de la interacción entre agentes y artefactos
- ❖ **Su relación bidireccional con la realidad y la teoría**, que hace que se retroalimenten, comparándose, enriqueciéndose, (re)ajustándose mutuamente hasta conseguir una explicación cada vez más satisfactoria. Esto les confiere un carácter provisorio, al tiempo que sitúa su valor en su grado de éxito, independientemente de en qué términos se conciba, a saber: precisión, adecuación, poder explicativo o fiabilidad.

Es esta visión artefactual de Knuuttila (2011) la que, en base a su experiencia en el aula y sus años de investigación, han decidido adoptar Gilbert y Justi (2016) y que es secundada en el presente trabajo.

#### 2.2.1.2. La perspectiva psicológico-cognitiva: los modelos mentales

El concepto de “modelo mental” se introdujo por primera vez en el campo de la Psicología a mediados del siglo XX, de la mano del psicólogo Keneth Craik, que entendía que las personas construyen un modelo análogo, o paralelo (Nersessian, 2013), del mundo en su cabeza para simular eventos futuros y así, en base a sus predicciones, decidir cómo actuar (Johnson-Laird, Goodwin y Khemlani, 2017). Sin embargo, no sería hasta la década de los 80 que se colocaría a la vanguardia de la investigación, tomando cuerpo definitiva y formalmente con la publicación del compendio de artículos de Gentner y Stevens (1983) y del libro *Mental Models* de Johnson-Laird (1983).

De este modo, surgen dos líneas o enfoques de investigación principales que diferirán esencialmente en su foco de atención y en el tipo de representación interna que atribuyen a los modelos mentales (Gentner, 2002; Greca y Moreira, 2000):

- Enfoque instruccional, en el que se encuadrarían autores como Gentner y Stevens, o Norman (1983): entiende que los modelos mentales pueden facilitar el aprendizaje y buscan, por tanto, caracterizar qué saberes y procesos intervienen en la comprensión y el razonamiento de aquellos dominios ricos en conocimiento. Desde este punto de vista, los modelos mentales constituyen sets de representaciones proposicionales cuyas características y reglas de manipulación (tipo “Si...entonces...”) deberán hacerse explícitas para poder hacer inferencias y sacar conclusiones.
- Enfoque teórico, en el que se inscribiría Johnson-Laird: se centra en qué papel juegan los modelos mentales como “*working-memory constructs*” que sirven de apoyo al proceso de razonamiento lógico. Así, los modelos mentales son concebidos como análogos estructurales o espejos de la realidad que, precisamente por su grado de parecido con la misma, permiten la inferencia directa de las propiedades y relaciones existentes entre los distintos elementos que la componen, aún cuando aparezcan implícitas.

No obstante, por contrapuestos que estos dos enfoques puedan parecer, lo cierto es que comparten una serie de atributos que no solo dan unidad al constructo (Gutiérrez, 2005), sino que además nos van a permitir caracterizarlo y definirlo con precisión para usarlo de manera unívoca e inequívoca en el contexto de nuestro trabajo.

Así pues, cuando en este trabajo hablemos de modelos desde el marco de la Psicología Cognitiva, nos estaremos refiriendo a una serie de representaciones internas (mentales) que las personas generamos, de forma natural y espontánea, acerca del mundo que nos rodea para comprenderlo y poder intervenir sobre él (Greca y Moreira, 2000).

También llamados “modelos de sentido común” (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), los modelos mentales constituyen una suerte de versión análoga de la realidad que vamos conformando y modificando en nuestra mente mediante procesos eminentemente intuitivos, asociativos y adaptativos (Cañal, García-Carmona y Cruz-Guzmán, 2016) a partir de nuestra experiencia diaria con el medio y de la propia interacción social. Se

trata, por tanto, de un conocimiento situado y articulado (Oliva *et al.*, 2016), muy ligado al contexto, situación, problema o tarea en la que se genera (Pozo, 1989), pero que, ante todo, resulta útil para la persona que lo formula (Norman, 1983). Precisamente su funcionalidad es uno de sus rasgos principales: no necesitan (ni suelen) ser técnicamente precisos, comenta este autor, pero sí deben ser operativos; es decir, deben permitir a la persona entender y, sobre todo, anticipar el comportamiento del sistema(s) real(es) al que se refieren. Deben tener poder predictivo.

Así pues, los modelos mentales se componen de tres niveles de representación interna o *elementos constitutivos*, como los presenta Gutiérrez (2005):

- Un **primer nivel de representación** que recoge una versión simplificada del conjunto de entidades, propiedades y relaciones que conforman el fenómeno, problema o situación a modelizar. Son seleccionados en función del propio sistema de creencias que posea esa persona, adquiridas vía observación, instrucción o inferencia (Norman, 1983), y sus intereses o finalidad para la que construyen el modelo. Siguen además el principio de verdad (Johnson-Laird, 2010), es decir, se incorpora solo aquello que se considera verdadero, dejando fuera lo falso, reduciendo de ese modo la carga de nuestra memoria de trabajo.
- Un **segundo nivel de representación**, derivado del primero, que dispone del sistema de inferencia que permitirá explicar y hacer predicciones sobre la realidad modelizada; eso sí, bajo unos criterios de validez previamente establecidos y que se aplicarán de manera diferencial. Es decir, cada modelo incluye una representación de la parte del mundo considerada y también una valoración – subjetiva – acerca de lo que se sabe, en términos de si es correcto o no, de manera que diferentes premisas gozarán de diferente grado de credibilidad (Norman, 1983; Johnson-Laird, 2010). Esto da lugar a la presencia de elementos y patrones que, aunque no tengan mucho sentido para la persona que las formula y, por tanto, las use con cautela, se mantienen porque “parecen funcionar”. Igualmente, pueden aparecer cargados de conceptos innecesarios y, en ocasiones, contradictorios.
- Un **tercer nivel de representación** o ejecución mental del modelo, en el que justamente lo que se hace es simular o poner en marcha mentalmente el modelo desarrollado hasta el momento y compararlo con el comportamiento de la realidad. Constituye, por tanto, un paso fundamental dentro de la confección de



los modelos mentales, pues si falla en su aplicación, es decir, no cumple con lo observado en la realidad, se procederá a su reconstrucción, para ajustarlo mejor a la nueva información disponible.

De ahí que tanto Norman (1983) como Johnson-Laird (1983) los califiquen de incompletos, con grandes áreas de incertidumbre, y dinámicos, en constante, aunque gradual y lenta, transformación. Asimismo, son recursivos, pues volvemos a ellos una y otra vez según necesidad: no creamos un nuevo modelo en cada ocasión, sino que recuperamos de la memoria a largo plazo aquel conocimiento que sea pertinente al caso. Esto también les confiere límites difusos y los hace inestables, ya que tendemos a olvidar aquellos detalles que no utilizamos a menudo. Después de todo, los modelos mentales, como constructo mental que son, van a venir capacitados y limitados por las propias habilidades cognitivas de las personas para procesar la información.

En este sentido, los modelos mentales cumplen para el público general la misma función que desempeñan los modelos científicos en la Ciencia (Oliva *et al.* 2016). De hecho, al igual que pasaba con los modelos científicos, es por medio de la manipulación de nuestros modelos mentales que somos capaces de entender lo que sucede a nuestro alrededor, barajar distintas posibilidades, hacer predicciones más o menos precisas, lidiar con las posibles inconsistencias que puedan surgir y actuar en consecuencia, como explica Johnson-Laird (1983; 2002; 2012). En definitiva, sirven a las personas para razonar y resolver problemas (Gentner, 2002). Buena muestra de ello es que los propios científicos y científicas no suelen recurrir directamente al modelo científico cuando tratan de comprender un fenómeno, sino que comienzan empleando distintos modelos mentales que van perfeccionando paulatinamente hasta conseguir el modelo teórico final. Desafortunadamente, esos modelos mentales intermedios rara vez llegan a comunicarse (Nersessian, 1992).

Esta (re)construcción dinámica confiere a los modelos mentales una componente epistémica como la que Knuuttila atribuye a los modelos científicos, puesto que es por medio de su producción, uso y manipulación que llegamos a conocer el mundo. A pesar de poseer un mayor grado de dependencia con la realidad, lo cierto es que no siempre necesitamos experimentar directamente un fenómeno o suceso para poder predecir su resultado, apunta Gentner (2002). Al fin y al cabo, somos capaces de transferir conocimiento de un modelo a otro.

Sin embargo, carecen del grado de consistencia, organización, sistematización y rigurosidad que caracteriza a los modelos científicos (Oliva, 1999) que, al fin y al cabo, son construidos y compartidos por la comunidad científica en su conjunto (Greca y Moreira, 2000). En su lugar, los modelos mentales, como acabamos de ver, son absolutamente personales, es decir, cada individuo construye, moviliza y reajusta sus propios modelos mentales en función de su experiencia, particular y concreta, con el medio natural y social en el que se desarrolla, así como de sus propias habilidades cognitivas. Así, aunque incorporan cierto nivel de abstracción y generalización (Cañal *et al.*, 2016), tienden a ser eminentemente figurativos, casi pictóricos (Galagovsky y Adúriz-Bravo, 2001), además de parsimoniosos (Norman, 1983), ya que solemos optar por una mayor carga física (p.ej. repetir una acción sencilla muchas veces) a cambio de una menor complejidad mental (p.ej. diseñar/ejecutar un plan de acción que ahorre pasos intermedios), del mismo modo que preferimos operar en términos cualitativos en lugar de cuantitativos (Gentner, 2002).

En definitiva, son estos modelos mentales los que conforman el entramado de ideas previas y conocimiento cotidiano con el que el alumnado da cuenta del mundo natural y se desenvuelve, con mayor o menor éxito, en su vida diaria. Son el conocimiento previo que el alumnado trae al aula (Greca y Moreira, 2000). Es por ello que debemos incorporarlos a la enseñanza, como punto de partida e instrumento de aprendizaje, para lograr su transición hacia modelos más próximos a los científicos y, por ende, más eficientes. Al fin y al cabo, es en función de sus propios modelos mentales que cada persona toma decisiones cada día; por lo tanto, cuanto más adecuados y completos sean, más informadas serán sus decisiones.

#### 2.2.1.3. La perspectiva didáctica: los modelos científicos escolares

Hasta ahora hemos hablado de los *modelos científicos (eruditos)* o *modelos teóricos*, que la Ciencia emplea para producir conocimiento acerca del mundo natural de forma sistemática y rigurosa, y de los *modelos mentales*, que las personas construyen de manera intuitiva y natural para poder dar cuenta de la realidad que los rodea y actuar sobre ella. Sin embargo, Norman (1983), al explicar los modelos mentales, trae a colación otro concepto, el de los *modelos conceptuales*, que define como aquellos creados específicamente para proporcionar una representación adecuada de un sistema, entendiendo por adecuada que es precisa, consistente y completa. ¿Y quiénes son los

autores de estas representaciones? Los científicos e ingenieros, por supuesto, pero también los profesores y diseñadores de materiales didácticos, que los usan como instrumento de enseñanza, como indican Moreira, Greca y Rodríguez (2002).

Y es que el aula es un entorno completamente diferente de aquel en el que la Ciencia suele desarrollarse. Pro (2003) esboza algunas de estas diferencias: mientras que los científicos y científicas eligen libremente su tema o campo de estudio, al que se dedican prácticamente en exclusiva, no están (ni necesitan estar) especializados en todos los ámbitos del saber y tienen bien desarrolladas sus capacidades intelectuales (lo que les permite defender con vehemencia y de forma argumentada ideas en las que creen firmemente), el alumnado, cuyas capacidades intelectuales aún se están desarrollando, se ve obligado a aprender ciencias, le gusten o no, le interesen o no, y no solo eso, sino que tiene que aprender *todas* ellas al tiempo que lidia con el resto de materias, lo que acaba por traducirse en un conocimiento superficial de ideas en las que ni siquiera cree.

De ahí que se hable de Ciencia Escolar como una versión diferenciada – que no simplificada – de la Ciencia, en la que se reconstruyen y reelaboran los conocimientos científicos en y para el contexto de la escuela, como recalca Sanmartí (2000). Se caracteriza, ante todo, por ser ciencia y, por tanto, igual de rigurosa (Izquierdo, Espinet, García, Pujol y Sanmartí, 1999), pero racional, desde el punto de vista de la didáctica, y razonable, según el criterio del estudiante (Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003). Después de todo, su objetivo último es formar a ciudadanos y ciudadanas responsables y científicamente competentes (Cañal *et al.* 2016).

Esta naturaleza diferenciada exige, por tanto, un nuevo constructo con el que trabajar, que permita tender puentes entre los modelos científicos, altamente abstractos, complejos y sistemáticos, y los modelos mentales, más concretos, simples y menos estructurados, que el alumnado ha ido desarrollando con el paso del tiempo. Surgen así los *modelos didácticos de la ciencia escolar*, como los llama Chamizo (2010).

Galagovsky y Adúriz-Bravo (2001), en cambio, optan por denominarlos *representaciones didácticas de los modelos científicos* para evitar la ambigüedad del término “modelo didáctico”, que es usado también en el sentido de cómo se concibe y pone finalmente en práctica el proceso de enseñanza-aprendizaje. Así aparece, por ejemplo, en Jiménez-Aleixandre (2000) o Rivero y otros autores (2017), y abarca, ya no los contenidos a trabajar en el aula, sino los principios, métodos, estrategias, recursos...

empleados para hacerlo. Por otra parte, Adúriz-Bravo e Izquierdo (2009) se refieren a ellos también como *modelos científicos escolares*, que será el término que emplearé a lo largo de este trabajo.

Fruto de la transposición didáctica (Oliva *et al.*, 2016), los *modelos científicos escolares* adaptan los saberes científicos a las características del alumnado, tales como su estado de desarrollo evolutivo y características personales y socioculturales, haciéndolos más asequibles (Chamizo, 2010). Al mismo tiempo, delimitan cuál es el conocimiento escolar deseable, es decir, contienen todos los elementos y relaciones que el alumnado deberá haber comprendido y asumido como propio al final del proceso de enseñanza-aprendizaje (que puede entenderse como fin de la escolaridad obligatoria, de un curso académico o incluso de una unidad didáctica). De este modo, sirven como punto de referencia para organizar y secuenciar el aprendizaje del alumnado (Justi y Gilbert, 2002).

Ahora bien, no debemos olvidar que se trata de instrumentos de enseñanza, es decir, que su función no es sustituir ni erradicar los modelos mentales de los estudiantes, sino facilitar su evolución. De este modo, siguiendo a Clement (2000), el aprendizaje se convierte en una evolución sucesiva de los modelos mentales que ya posee el alumnado, adoptado como referente el modelo científico escolar que se presenta desde la escuela.

Precisamente, este autor (1993) habla de las *bridging analogies* como una estrategia de enseñanza que consiste en ir entregando al alumnado consecutivos modelos análogos, que se parece cada vez más al modelo final deseado, facilitando la transición de uno a otro gracias a su grado de semejanza entre el anterior y el siguiente. Así pues, la continuidad entre unos y otros modelos viene posibilitada justamente por la existencia de una serie de concepciones previas, útiles y compatibles con el conocimiento científico, sobre las que se irá apoyando e incorporando la nueva información, las *anchoring conceptions* Clement, Brown y Zietsman (1989).

Después de todo, la significatividad, tal y como es concebida por Ausubel (Ausubel, Novak y Hanesian, 1983), solo es posible si se relacionan los nuevos conocimientos con los que ya posee el sujeto (Cañal *et al.*, 2016). Por tanto, son los modelos mentales los que constituyen el verdadero instrumento de aprendizaje, lo que significa que aprender ciencias no implica ninguna habilidad especial, sino justamente tomar conciencia y poner en práctica habilidades que, como seres humanos, ya poseemos y empleamos de

forma natural a diario (Moreira, Greca y Rodríguez, 2002; Vosniadou, 2013; Nersessian, 2013).

Esta relación queda bien representada a través de la adaptación hecha por Oliva, Aragón, Bonat y Mateo (2003) del esquema propuesto inicialmente por Clement (2000) sobre cómo se produce el aprendizaje basado en modelos. A partir de las aportaciones de otros autores, realizan algunos cambios significativos, como puede verse en la Figura 6. Destaca la distinción entre conocimiento interno y externo al alumno que hace Marín (2003), lo que los lleva a la creación de dos áreas bien diferenciadas, la del Alumno y la del Objeto de Enseñanza; la concreción en la nomenclatura de los distintos constructos implicados – Modelo Científico (MC), Representación Didáctica del Modelo (RDM), Modelos Mentales (MM) –, que hemos ido revisando a lo largo del presente apartado; y la definición clara de su relación, poniendo de manifiesto cómo la Representación Didáctica del Modelo, que nosotros denominamos “modelo científico escolar” emana del Modelo Científico y sirve de referente directo de los sucesivos Modelos Mentales.

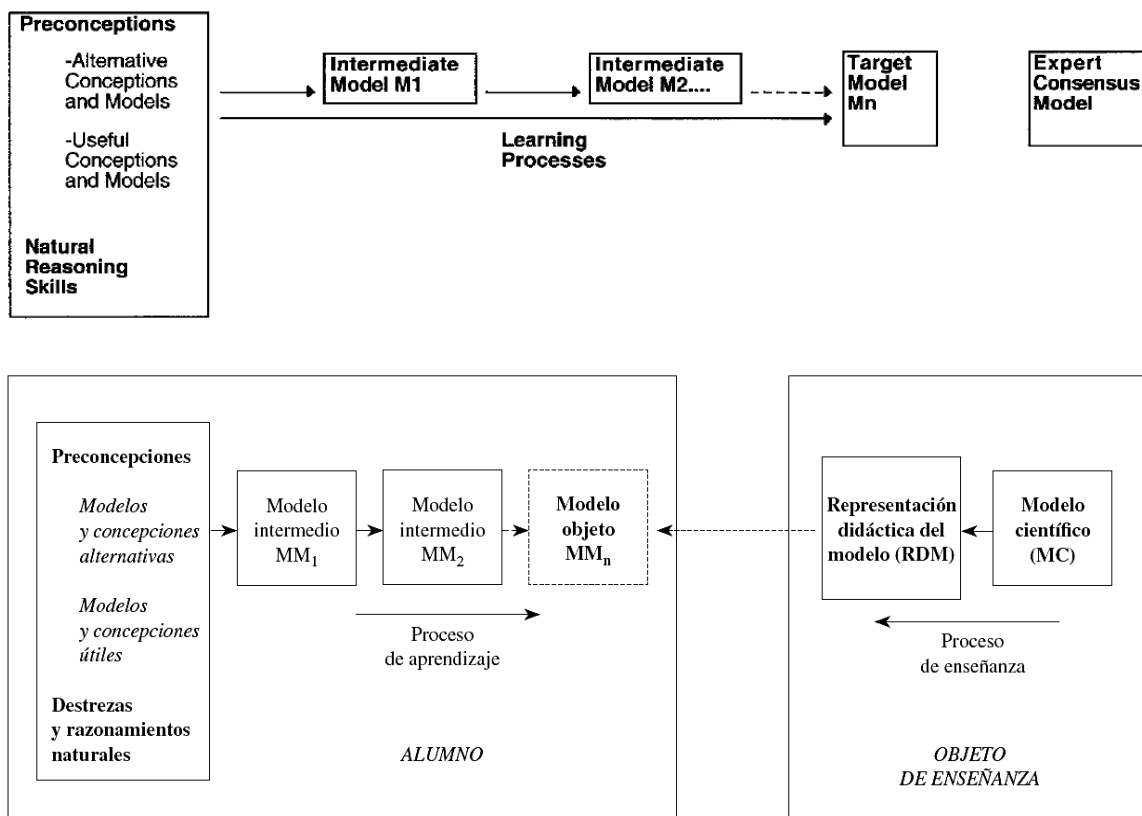


Figura 6. Comparación entre el esquema elaborado por Clement (2000, p. 1042) de su propuesta de marco teórico para el aprendizaje basado en modelos (arriba) y la adaptación elaborada por Oliva, Aragón, Bonat y Mateo (2003, p. 430) (abajo).

Estas Representaciones Didácticas del Modelo (RDM) o, para nosotros, *modelos científicos escolares*, podrán tomar diferentes formas en el aula (Gilbert y Justi, 2016): gestual (p.ej. cuando el profesor explica o una escenificación), material (por ejemplo, una maqueta), visual (p.ej. un dibujo o diagrama), verbal (p.ej. explicación oral del profesor a través de una analogía, texto presente en un documento, como un artículo científico, o en el propio libro de texto), simbólica (p.ej. fórmula matemática) o virtual (por ejemplo, una simulación de ordenador).

Esta diversidad deriva en que cada una de ellas conlleve una demanda conceptual muy diferente (Harrison y Treagust, 2000), por lo que cada docente deberá evaluarlos detenidamente a la hora de seleccionarlos para su uso en el aula. Además, deberá negociar cuidadosamente sus significados con los estudiantes, teniendo en cuenta que la capacidad para interpretar bien un tipo de modelo no es automáticamente extensible al resto. Cada uno de ellos tiene sus peculiaridades y como tal deberán ser abordados en clase.

Por su parte, Vosniadou (1994), desde su perspectiva de cambio conceptual, entiende que estos modelos mentales van modificándose progresivamente, con el paso del tiempo, a través de dos procesos diferenciados: el enriquecimiento y el cambio o revisión. Por un lado, está el enriquecimiento, que tiene lugar cuando la nueva información es consistente con el modelo mental inicial y, por lo tanto, solo requiere ser incorporado al mismo, sin mayor esfuerzo por parte del individuo. Por el otro, tenemos la revisión y cambio, que se da cuando la nueva información es inconsistente con el modelo mental inicial y, en consecuencia, exige su modificación, ya sea a nivel específico (en relación con una parte bien delimitada y concreta del modelo) o estructural (cuando la disensión es más genérica y contradice alguno o algunos de los principios básicos del modelo). Estos procesos, señalan Oliva y otros (2016), recuerdan a los procesos de acomodación y asimilación enunciados por Piaget.

Ahora bien, los modelos mentales tienden a ser persistentes y ofrecer resistencia a la instrucción (Gentner, 2002), precisamente porque se ven reforzados cada día por la experiencia cotidiana en muchos de sus aspectos y sus modificaciones se van produciendo de forma lenta y paulatina. Además, el alumnado puede tener dificultades para comprender los modelos conceptuales que se les presentan (recordemos que, de acuerdo con el estudio de Norman de 1983, esta denominación se aplica tanto a los

*modelos científicos* elaborados por los científicos como a los *modelos científicos escolares* elaborados por el profesorado y los diseñadores de material didáctico). Pueden resultarles difíciles porque carezcan del conocimiento del área en la que cobran sentido, o porque no consiguen percibirlos como una representación simplificada, idealizada y generalizada del mundo natural, sino que necesitan conocer la realidad concreta en la que se aplican (Greca y Moreira, 2000; Izquierdo y Adúriz-Bravo, 2003).

De este modo, Cubero (1997) y Greca y Moreira (2000) sugieren tres posibles resultados fruto del encuentro entre los modelos mentales que el alumnado trae consigo al aula y los modelos científicos escolares que le presenta el profesorado para promover su aprendizaje. Huelga decir que es el tercero el que todo docente y acción educativa ha de tener como objetivo último (Cañal *et al.*, 2016):

- a) Memorización del *modelo científico escolar* de manera aislada para simplemente superar la evaluación, de modo que el modelo mental inicial permanece inalterado o incluso puede quedar reforzado.
- b) Generación de una suerte de modelos híbridos al intentar conciliar el *modelo científico escolar* con el modelo mental que ya poseen, dando lugar a una integración parcial compartimentada que admite la coexistencia de ideas procedentes de uno y de otro que, en cierto modo, se complementan.
- c) Construcción de un modelo mental consistente con la nueva información, que queda integrada como un todo, descartando aquellas ideas que entraban en conflicto con el *modelo científico escolar* y, por ende, con el propiamente aceptado por la Ciencia.

Es por eso por lo que, a la hora de confeccionar los *modelos científicos escolares* (como modelos conceptuales que son), habrá que procurar cumplir tres criterios fundamentales (Norman, 1983): aprendibilidad, funcionalidad y usabilidad. Al fin y al cabo, ¿de qué sirve un modelo que es muy difícil de aprender, que no permite elaborar explicaciones y predicciones satisfactorias acerca de un fenómeno, y/o resulta demasiado complicado su manejo, obstaculizando el proceso de razonamiento en lugar de facilitarlos?

No obstante, no llega solo con tener un *modelo científico escolar* adecuado para asegurar ese tercer resultado en que el, en lugar de la simple memorización o incorporación de algunos aspectos, logramos que el alumnado progrese adecuada y

efectivamente hacia modelos mentales más acordes con el conocimiento científico compartido. Es necesario disponer de alguna estrategia de enseñanza apropiada para emplear con eficacia estos modelos en el aula, una estrategia que servirá además para guiar el proceso de planificación y actuación docente.

En nuestro caso, nos decantamos, como Greca y Moreira (2000) o Justi y Gilbert (2002), por la enseñanza basada en la modelización, que trataremos en más detalle en el siguiente apartado y que, lejos de ser exclusiva para el uso de modelos en aula, puede complementarse con otras estrategias como la de cambio conceptual, indagación o enseñanza en contexto (Aragón, Jiménez-Tenorio, Oliva y Aragón-Méndez, 2018).

### **2.2.2. La modelización y la enseñanza basada en la modelización**

Apoyándose en la afirmación hecha por Johnson-Laird (1983) acerca de cómo cualquier acto de comprensión conlleva la creación y/o uso de modelos mentales, Gilbert (2013) reflexiona sobre cómo aprender cualquier modelo científico (aprendizaje de modelos), modificarlo para acomodarlo a nuevas finalidades o contextos (revisión de modelos) o crear otro nuevo (producción de modelos) conlleva en cualquier caso modelización mental. En consecuencia, afirma este autor, todos los estudiantes deberían aprender a modelizar. Desde mi punto de vista, eso incluye que debemos enseñar a modelizar, en el sentido más amplio posible del término. Precisamente, la variedad y riqueza de modelos que seamos capaces de crear y manipular efectivamente, así como la facilidad que tengamos para hacerlo, van a ser producto de la combinación de la Biología (referido a nuestras habilidades cognitivas como seres humanos) y el aprendizaje (Nersessian, 2013). Ahora bien, ¿qué se entiende por modelizar o modelización (acto de modelizar)?

Gilbert y Justi (2016) definen *modelización* como un proceso dinámico de creación, uso, modificación y abandono (de ser el caso) de modelos que científicos y científicas llevan a cabo para producir el conocimiento de su disciplina. Como acabamos de ver, constituye además un proceso central en cualquier forma de pensamiento humana, así como un foco de vital importancia para la educación científica. Permite contribuir significativamente a sus cuatro pilares básicos (Justi, 2006), esto es, *aprender ciencia*, *aprender sobre ciencia*, *aprender a hacer ciencia* y *aprender a afrontar problemáticas sociocientíficas* (Hodson, 2014) y, por ende, como apuntamos en el primer capítulo, a la competencia científica.



Y es que cuando el alumnado construye sus propios modelos, los manipula, los comunica y discute con otros, está replicando en cierta medida el propio trabajo que hacen cada día los científicos y científicas. Así los estudiantes:

- Aprenden el conocimiento correspondiente a cada modelo (*aprender ciencia*), por ejemplo, el modelo celular, el modelo cinético-corpúscular o el modelo de evolución biológica.
- Tienen la oportunidad de comprender cómo operan las ciencias en sí mismas (*aprender sobre ciencia*), desarrollando su pensamiento crítico y sus habilidades metacognitivas.
- Están poniendo en práctica los procesos científicos (*aprender a hacer ciencia*), aunque sea en una versión adaptada a sus capacidades cognitivas y las características del contexto escolar, como los espacios y recursos disponibles o la gran diversidad de alumnado existente.
- Y, finalmente, si se parte de una situación-problema del contexto próximo, por ejemplo, cómo conseguir reducir el gasto de agua del centro, o si deben vacunarse o no de la gripe al llegar el otoño, se estará contribuyendo a la reflexión y debate – e incluso invitando a la toma de acción – de cuestiones socio-científicas (*aprender a afrontar problemáticas sociocientíficas*).

No se trata, puntualiza Justi (2006), de que los alumnos y alumnas deban pensar como los científicos y científicas ni se conviertan en especialistas, sino de aproximarlos a sus formas de trabajo desde un punto de vista más participativo. Un acercamiento que les permita experimentar de primera mano: cómo se construye el conocimiento científico y cómo evoluciona con el paso del tiempo, qué se investiga y se puede investigar, cuáles son los propósitos de la Ciencia, cuál es su papel en la sociedad y cómo se nutren mutuamente. “De esta forma la ciencia dejaría de ser algo que se lee en los libros para transformarse en una actividad mediante la cual los fenómenos se estudian de una forma activa” (Justi, 2006, p. 178).

En otras palabras, se dota al alumnado de una educación científica auténtica, esto es, aquella que se aproxima – filosófica, psicológica y sociológicamente hablando – lo máximo posible a los procesos de la Ciencia en sí misma. Una enseñanza que, según Gilbert (2004), presenta las siguientes características:

- mostrar fielmente las formas en que la Ciencia genera y valida nuevas ideas, haciendo que sus resultados sean socialmente aceptados;
- reconocer y enfatizar el rol esencial que juega la creatividad en el proceso;
- y promover la comprensión del mundo tal y como es experimentado.

Esto contribuirá a que conciban la Ciencia como un medio válido y valioso de comprender el mundo, ya sea pasado, presente o futuro, que ha servido y sirve de base para la prosperidad económica, el bienestar social y el cuidado de la salud de los individuos.

A nivel del docente se busca proporcionarle un modelo de enseñanza que los oriente en su acción en el aula. Rosario Justi (2006, p. 176) nos habla así del *modelo de enseñanza* entendido como una “representación creada con el objetivo específico de ayudar a los alumnos a aprender algún aspecto de un modelo curricular” o, como se denomina en el presente trabajo, el modelo científico escolar.

Esta autora y Gilbert (2002, 2016) han confeccionado un Modelo de Modelización que ha sido el que ha guiado nuestro trabajo de investigación y que explicaremos en breve. No obstante, antes de pasar a describirlo parece pertinente hacer un inciso para aclarar la diferencia, que establecen estos autores, entre *enseñanza basada en modelos* y *enseñanza basada en modelización*.

A través de sus trabajos de investigación (Gilbert, 2004; Gilbert y Justi, 2016; Justi y Gilbert, 2002) identifican fundamentalmente cinco formas distintas de aproximarse al trabajo con modelos en el aula:

- 1. Aprender el modelo curricular:** se centran en el contenido, es decir, que se limitan a presentar el modelo a los estudiantes y estos simplemente deben aprenderlo, crear su propio modelo mental a partir de la versión simplificada sugerida. Por ejemplo, aprender el modelo atómico de Bohr por analogía con el Sistema Solar.
- 2. Aprender a usar el modelo:** se centran en la aplicación del modelo, en su comprobación. Se proporciona a los estudiantes un modelo que más tarde deberán usar para explicar un determinado fenómeno. Dado que se trata únicamente de poner en práctica el modelo, todas las situaciones que se presenta al alumnado para analizar son positivas, es decir, el modelo funciona bien en

ellas, no genera conflicto. Por ejemplo, después de aprender cómo se disuelve un sólido en agua, se pide a los estudiantes que expliquen cómo se extiende por el aire el olor a flores.

3. **Aprender a revisar el modelo:** consiste en que los estudiantes, habiendo estudiado y comprobado el modelo, exploren nuevos contextos en los que aplicarlo o le encuentren nuevas finalidades. Para ello se les presentan nuevas situaciones que desafían, en mayor o menor medida, el modelo inicial, obligando al alumnado a realizar los cambios que sean necesarios para que el modelo siga siendo operativo. Por lo tanto, se centra en las habilidades relacionadas con el ajuste del modelo mental (aunque también implique llevar a cabo experimentos mentales y empíricos). Un ejemplo de este enfoque de trabajo sería aquel en el que el alumnado aprende el modelo sobre cómo se controla el brote de una enfermedad en un determinado ambiente y, luego, se le pide que haga predicciones de cómo evolucionaría esa misma enfermedad de reproducirse en otros ambientes muy diferentes al original.
4. **Aprender a reconstruir el modelo:** los estudiantes tienen que confeccionar un modelo nuevo sobre algún fenómeno con el que ya están familiarizados y disponen, por tanto, de un modelo previo que tomar como referencia, lo que aporta seguridad en su elaboración y un sentido de dirección. Se pone el énfasis en la creatividad, al tiempo que permite explorar detalles y relaciones que hasta ese momento habían permanecido ocultas o habían pasado desapercibidas. Este sería el caso de la tarea propuesta por Barab, Hay, Barnett y Keating (2000) a su alumnado universitario, en la que les pidieron que recrearan el modelo del Sistema Solar por medio de instrumentos de realidad virtual. Después de construir diferentes modelos, de creciente complejidad (modelo estático del sistema Tierra-Sol, otro dinámico del Sol-Tierra-Luna y, finalmente, uno dinámico del Sistema Solar), y de discutir sus resultados, compararon sus modelos finales con el “modelo estándar”.
5. **Aprender a construir el modelo *de novo*:** los estudiantes desconocen por completo cuál puede ser el resultado final, por lo que tienen que llevar a cabo todo el proceso, paso por paso, hasta alcanzar un modelo más o menos satisfactorio para la realidad objeto de estudio. Incluye diversas tareas:
  - reflexionar sobre qué saben (o no) sobre ese fenómeno en particular,
  - formular las preguntas adecuadas,

- decidir cuál será la mejor forma de representarlo,
- planificar y llevar a cabo la recogida y análisis de datos que sea pertinente,
- obtener conclusiones y evaluar el resultado final.

Por lo tanto, cubre el proceso de modelización en su conjunto, al tiempo que requiere operar tanto a nivel macro (considerando el modelo al completo) como a nivel micro (atendiendo a cada uno de los componentes que conforman el modelo). Tiene lugar, por ejemplo, cuando el alumnado se enfrenta por primera vez a un tema y entonces el docente, en lugar de proporcionarles un modelo con el que trabajar, provee de los recursos y el apoyo adecuados para promover la confección de su propio modelo. De este modo, involucra a los estudiantes en prácticas epistémicas tales como el uso de analogías, la realización de experimentos mentales o la argumentación.

Estas cinco prácticas no son exclusivas entre sí, reconocen estos autores; muy al contrario, es posible moverse de unas a otras, adelante y atrás, a lo largo del proceso de enseñanza. Sin embargo, existe una diferencia clara entre las tres primeras y las dos últimas:

- a) Las primeras responden a una *enseñanza basada en modelos*, en la que los modelos, previamente confeccionados, ya sea por el docente, el libro de texto u otros recursos, son directamente proporcionados a los estudiantes, quienes se limitan a ponerlos en práctica.
- b) Las dos últimas se encuadran en la *enseñanza basada en modelización*, en la cual son los estudiantes los que construyen su propio modelo. Así, la carga epistémica y creativa es mucho mayor, aunque sean asistidos durante el proceso por el docente o haciendo uso de otros recursos. Los sucesivos Modelos de Modelización propuestos por Gilbert y Justi (2002, 2016) se enmarcan en esta última tipología.

#### 2.2.2.1. Enseñanza basada en Modelización: El Modelo de Modelización

##### *El Modelo de Modelización: 1ª versión (v.1)*

La entrada de los modelos y la modelización en el ámbito de la investigación de la Didáctica de las Ciencias viene de la mano de Gilbert y Osborne en 1980. El estudio posterior de Clement (1989) trataba de ofrecer un ciclo de construcción de modelos que

podiera servir como guía de enseñanza-aprendizaje. A partir de estos trabajos y de otras aportaciones procedentes tanto de la filosofía de la Ciencia como de la Psicología o la educación (Giere, 1999; Morgan y Morrison, 1999; Nersessian, 1984; o Vosniadou, 1999), Justi y Gilbert (2002) confeccionaron su primer *Modelo de Modelización v.1*, (Figura 7).

Está pensado para orientar la función docente, en ningún caso los estudiantes tienen que aprenderlo (en el sentido de memorizarlo) para usarlo como una especie de plantilla (Justi, 2006), ni siquiera necesitan verlo. Se pretende que el profesorado pueda organizar y disponer los recursos necesarios para que el alumnado ponga en práctica los distintos pasos identificados en el proceso de modelización. De este modo, desarrollan su pensamiento creativo, al tiempo que interiorizan los distintos elementos y relaciones implicados, capacitándolos para usarlos autónomamente en nuevas situaciones y contextos, sean científicos o no.

Consta fundamentalmente de cuatro etapas (Justi y Gilbert, 2002) (ver figura 7):

1. Incluye cuatro tareas, que se producen prácticamente de forma simultánea y se influyen mutuamente, de ahí las flechas en doble sentido:
  - Definir los objetivos del modelo, es decir, para poder construir un modelo, lo primero es tener claro el “para qué” de ese modelo, qué es lo que pretende lograr al hacerlo, ya que su finalidad (¿explicar? ¿predecir? ¿comunicar...?), va a condicionar su diseño, forma de representación, experimentación y manipulación.
  - Tener experiencias con el “objeto” o fenómeno que se pretende modelizar, esto es, familiarizarse con él (y con su contexto), ya sea mediante observaciones empíricas o información previamente existente, bien en la mente de la persona que modela, por encuentros previos, bien procedente de fuentes externas.
  - Seleccionar el “origen” del modelo, o lo que es lo mismo, al tiempo que se va organizando la información, observaciones, experiencias disponibles sobre el fenómeno estudiado, se van seleccionando aquellos aspectos de la realidad que se van a emplear para describirlo; por ejemplo, situaciones que sirven de análogo o recursos matemáticos.
  - Elaborar un modelo mental: con la experiencia disponible y la fuente adecuada seleccionada, entran en juego la creatividad y el razonamiento crítico para

elaborar un primer modelo mental que servirá de punto de partida para el desarrollo del modelo final.

2. Una vez que tenemos el modelo mental en nuestra cabeza, toca decidir cómo vamos a expresarlo. Puede ser de forma material (por ej, maqueta), visual (dibujo), verbal (discurso oral o escrito), matemática (una fórmula), etc. Hay que tener en cuenta que el proceso de expresión es cíclico con respecto a la propia producción del modelo mental: a medida que le damos forma física, vamos perfeccionando su forma mental.
3. Elaborado físicamente el modelo, llega el momento de comprobar su operatividad a través de varios pasos:
  - Primero debemos comprobar el funcionamiento a nivel interno, a través de los llamados “experimentos mentales”, es decir, explorar en nuestra cabeza qué pasaría al emplearlo, cuáles serían los resultados que obtendríamos. Si al hacerlo el modelo no parece que vaya a funcionar, entonces deberemos modificarlo, realizando los cambios que creamos oportunos, lo que nos obliga a volver a la expresión de nuestro modelo, como se ve en el diagrama (Figura 7).
  - Solo cuando el modelo está perfectamente definido y parece funcionar como se espera, se planifican y llevan a cabo las pruebas experimentales (experimentos prácticos). Si el resultado nuevamente es positivo, entonces habremos cumplido con nuestro objetivo y podremos pasar a la 4ª etapa. En caso contrario, deberemos revisar el modelo e introducirle los cambios que sean pertinentes. En algunos casos, los problemas pueden ser tantos o tan graves que obliguen a descartar el modelo directamente, lo que nos conduciría a empezar de nuevo todo el proceso.

Cabe mencionar que no siempre es necesario, ni posible, realizar ambos tipos de experimentos (mentales y prácticos); dependerá de los recursos disponibles y de los propios conocimientos previos de la persona o personas involucradas en el proceso.

4. En el caso de que nuestro modelo haya superado con éxito nuestros experimentos mentales y prácticos, consideraremos que cumple su objetivo y deberemos comunicarlo a otras personas, a las que deberemos convencer de su validez. Ello exigirá explorar sus posibilidades y limitaciones, delimitando así para qué fenómeno(s) y circunstancias es aplicable (y cuáles no).

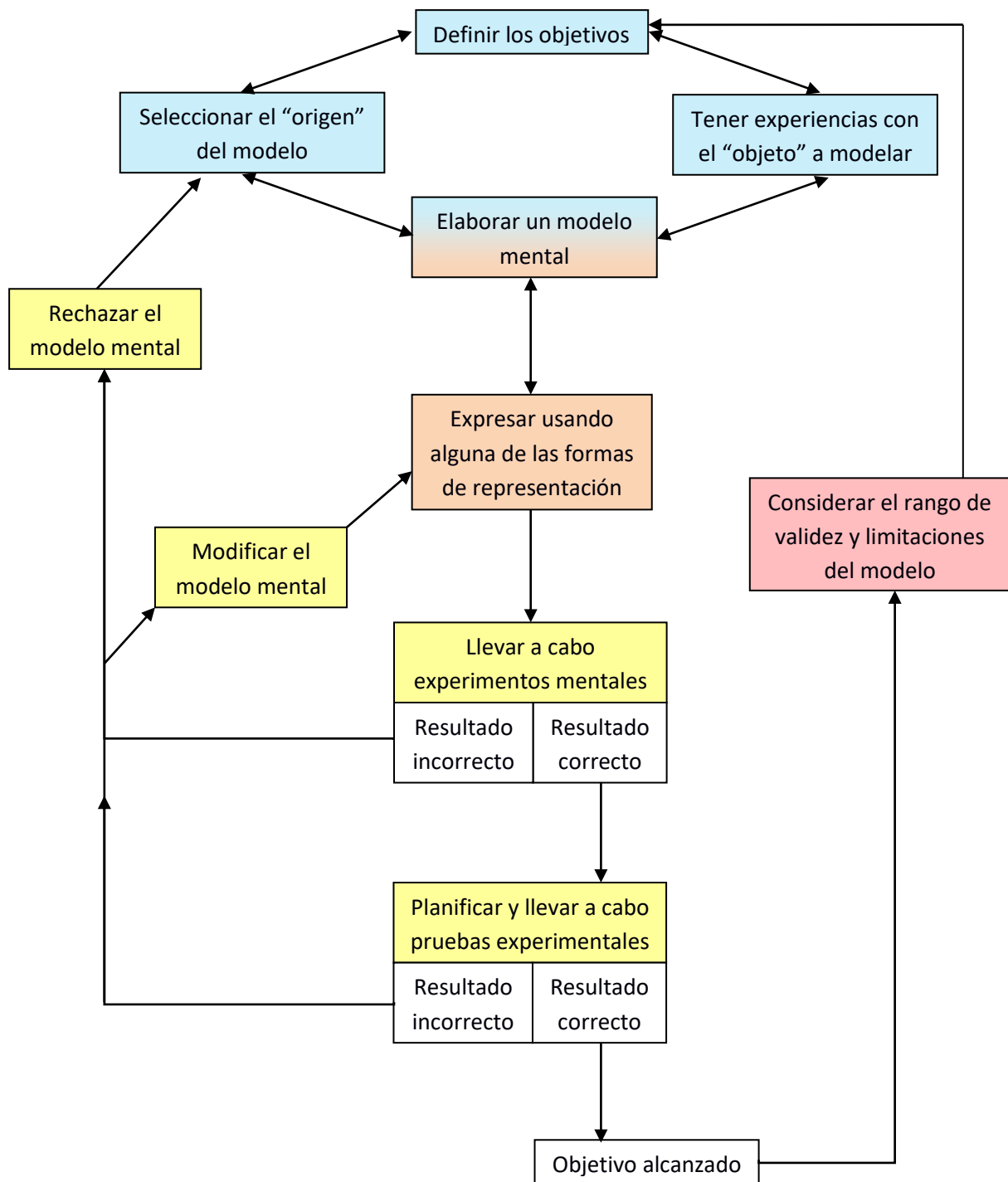


Figura 7. Reproducción del Modelo de Modelización (v.1) de Justi y Gilbert (2002).

La modelización se presenta así como un proceso complejo, que implica poner en juego a un mismo tiempo un elevado número de componentes, donde cada habilidad debe manejarse a la perfección. Por esa razón Lehrer, Horvath y Schauble (1994) reclaman la necesidad de desarrollarlo gradualmente.

Sin embargo, desde entonces la revisión de la literatura más reciente y su propia experiencia han conducido a estos autores a reformularlo (Gilbert y Justi, 2016), dando lugar a la segunda versión, Modelo de Modelización v.2 (razón por la que se ha optado por llamar a esta primera versión “v.1”), que se describirá en el siguiente apartado y que también ha influido en esta investigación.

### *El Modelo de Modelización v.2*

Una serie de cambios sobre la conceptualización de *modelo* han afectado a la forma en que estos autores concebían la modelización. Como se ha mencionado en la sección dedicada a la definición de *modelo* desde una perspectiva epistemológica, este constructo ha experimentado una evolución a raíz de aportaciones de la Filosofía de la Ciencia. Ha pasado de ser considerado un simple ejemplo de la teoría – como defendían inicialmente las teorías sintácticas – a una representación análoga de la realidad (escuela semántica), siendo especialmente relevante para el área de la Didáctica de las Ciencias las contribuciones del trabajo de Giere (1988). Posteriormente sería descrito por Morrison y Morgan (1999) como un mediador entre teoría y realidad, para, finalmente, ser interpretado por Knuutila (2005) en términos de *artefacto epistémico*.

Como sería de esperar, esto afectó a la forma en que se concebía la *modelización*, llevando a reconocer no solo su elevada complejidad, sino la imposibilidad de fijar reglas sobre su construcción. Ha pasado a entenderse más como arte que como proceso mecánico, precisamente por su importante componente creativa e imaginativa; al tiempo que se ha ampliado, pues no solo se aprende al construir o interpretar un modelo, sino también al usarlo (Morrison y Morgan, 1999). Esta nueva configuración del proceso de modelización incluye no solo cómo se representa la realidad estudiada, sino también el propósito detrás de su construcción, integrando así, en cada fase de su desarrollo, las dimensiones empírica, teórica y conceptual correspondientes (Knuutila y Boon, 2011).

Por su parte, Nersessian (2008), entendiendo modelo mental como analogía que sirve de vehículo para pensar, describe la modelización como un proceso complejo y dinámico, que incluye continuos ciclos de construcción, simulación, evaluación y adaptación hasta dar con una explicación y predicción satisfactoria de la realidad que se pretende modelizar. Lo considera un proceso esencialmente imaginativo, porque comprende el uso constante e integrado, a lo largo de todo el proceso, de:



- **Analogías:** son un elemento básico, dado que los modelos operan en base al establecimiento de sucesivas comparaciones. De este modo, en contra de lo que se suele suponer, su principal función no es la comunicativa, que ejercen más adelante en el proceso, sino creativa, relacionada con la lluvia de ideas y el establecimiento de un punto de partida sobre el que comenzar a desarrollar el modelo.
- **Representaciones visuales:** se refiere a las imágenes, gráficos, gestos, simulaciones... que sirven para poner en relación directa lo interno con lo externo; son la parte “material” del proceso. Por tanto, ayudan a organizar la actividad de modelización, así como a comunicar y discutir sobre los distintos modelos producidos.
- **Experimentos mentales:** es decir, simulaciones mentales de distintas situaciones para explorar qué pasaría de acuerdo con el modelo elaborado. Además de ser cruciales a la hora de revisar y evaluar el modelo mental, reflejan la naturaleza creativa e interrogativa de la Ciencia.

Estos tres procesos cognitivos, de marcada componente creativa, constituyen los procesos representacionales y de razonamiento que subyacen a las prácticas de modelización. Lo prueba el hecho de que aparezcan una y otra vez a lo largo de la Historia de la Ciencia, en numerosos momentos de “revolución” del conocimiento; son capacidades fundamentales que todas las personas poseemos por naturaleza (Nersessian, 2013).

Esta presentación de los procesos cognitivos implicados en la modelización como un todo coherente y la adhesión a la concepción de modelo como “artefacto epistémico”, son las que han orientado la formulación del *Modelo de Modelización v.2* de Gilbert y Justi (2016) (Figura 8).

Incluyen, una cuarta práctica cognitiva, la argumentación, considerada por Kuhn (1991, citado en Gilbert y Justi, 2016) como centro neurálgico del pensamiento. Esta capacidad nos permite justificar y refutar un razonamiento en base a los datos disponibles. Por esa razón juega un papel esencial en el proceso de modelización, tanto a la hora de evaluar un modelo como de persuadir a otros de su validez. Precisamente, Jiménez-Aleixandre y Erduran (2008) reconocen en la justificación y la persuasión dos procesos clave de la argumentación, que Puig y Jiménez-Aleixandre (2009) definen

como proceso de evaluación de los enunciados científicos en base a las pruebas disponibles y que, recordemos, es una de las capacidades que componen la competencia científica. Constituye, por tanto, una práctica epistémica crucial en la Ciencia y, en consecuencia, en la educación científica (Driver, Newton y Osborne, 2000).

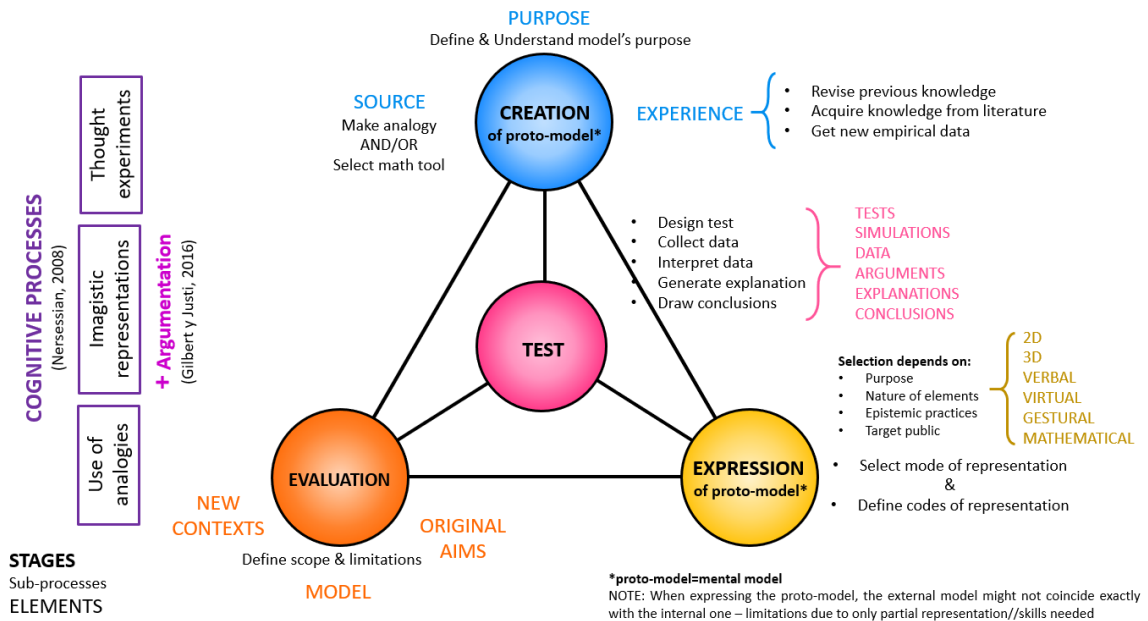


Figura 8. Reproducción sintetizada del Modelo de Modelización (v.2) de Gilbert y Justi (2016) (elaboración propia).

Como se muestra en la figura 8, en este caso el Modelo de Modelización (v.2) toma la forma de un tetraedro. El motivo detrás de esta elección no es otro que reflejar su carácter cíclico, no-lineal y no predeterminado. Por un lado, todos los vértices son equidistantes, de manera que no se da mayor o menor importancia a una u otra fase, sino que quedan todas al mismo nivel, y se relacionan en el mismo grado. Por el otro, independientemente de cómo se gire, las relaciones se mantienen inalteradas, al tiempo que los distintos elementos que lo componen permanecen a la vista en su totalidad. Se refuerza, así, la idea de que no importa en cuál de ellos centremos nuestra atención en un momento dado, porque los demás seguirán estando presentes e interactuando con el primero.

Este segundo Modelo de Modelización también está formado por cuatro fases principales. Durante la modelización el alumnado se desplazará de una a otra constante e indistintamente, en función de las ideas que vayan barajando, los resultados que vayan obteniendo y/o los problemas que se vayan encontrando, que los llevarán a replantearse

uno o varios puntos a lo largo del camino. Pasemos a ver con detalle en qué consisten cada una de ellas:

### 1. Creación del proto-modelo

Ambos autores definen el *proto-modelo* como el modelo mental que cada estudiante construye en su cabeza, con independencia de si trabajan individual o colectivamente en su proceso de construcción. La elección de este término no es aleatoria, ya que resulta más coherente con la idea de modelo como artefacto epistémico, defendida por Knuutila (2011). Así, como si se tratara de un prototipo, se hace referencia al modelo mental, interno, inicial, que luego tomará cuerpo en el *modelo* que será la expresión externa del mental confeccionado previamente.

Como ocurría en la primera versión, esta fase incluye: establecer el objetivo del modelo, tener experiencias con el fenómeno objeto de estudio, elegir la fuente adecuada para describirlo y, finalmente, crear el modelo mental, en este caso identificado como proto-modelo. Centra, pues, la atención en el proceso creativo *per se*, al entender que es realmente el primer gran paso en el proceso de construcción de un modelo: una vez fijado el objetivo, nuestra cabeza comienza a dar forma a un modelo mental inicial (proto-modelo), que se irá completando a medida que moviliza el conocimiento previo disponible e incorpora nueva información. Esta fase es, por tanto, completamente interna:

1. El proceso comienza entonces por determinar la **finalidad del modelo**, tarea que puede asumir el docente o los estudiantes pero, que en cualquier caso, habrá de quedar bien delimitada, definida en términos precisos (ya sea en forma de enunciados o preguntas) y deberá ser comprendida por todo el alumnado. Los estudiantes deben saber adónde quieren llegar, para qué servirá el modelo que van a construir (¿describir un fenómeno? ¿explicarlo? ¿hacer una predicción? ¿resolver un problema?). Al fin y al cabo, como ya comentamos en la versión 1, el objetivo marcará el diseño del modelo: qué elementos se integran y cuáles se dejan fuera, qué relaciones se van a explorar, cuál puede ser el mejor modo de representarlo “físicamente”, qué pruebas experimentales deben/pueden llevarse a cabo, o qué y cómo van a evaluar sus posibilidades y limitaciones.
2. A continuación, se reúne **toda la experiencia y lo experimentado** posible acerca del fenómeno estudiado para familiarizarnos con él. Para ello el

alumnado deberá hacer memoria de cuanto sepan acerca del tema (conocimiento previo), buscar nueva información en diferentes recursos (libros, periódicos y revistas, Internet...), o a través de actividades prácticas o simulaciones, que serán tanto más imprescindibles cuanto más abstracta sea la entidad con la que se trabaja. Eso sí, estas actividades prácticas deben ser investigativas. No sirven actividades ilustrativas donde el alumnado se limita a seguir una receta dictada por el profesor. Muy al contrario, deben servirles para pensar, reflexionar, formular preguntas pertinentes al caso y establecer relaciones entre lo que ya saben y lo que están viendo.

3. Asimismo, estas actividades iniciales pueden ayudar, o incluso deberían conducir, a la **selección de la fuente de información** (el caso que conoce y que va a usar para construir el modelo), orientando al alumnado en la elección o identificación de los elementos y relaciones básicas con las que establecer una primera analogía, o escoger una determinada herramienta matemática como punto de partida, **creando así su proto-modelo**.

Durante esta primera fase el docente jugará un papel crucial. Además de asegurarse de dejar claros los objetivos, deberá proponer las preguntas adecuadas en el momento adecuado, tanto en las actividades prácticas como durante la selección de la fuente, adaptándose a lo que vayan sugiriendo y comentando los propios estudiantes, para guiar su pensamiento, sin condicionarlo ni imponer sus propias ideas.

## **2. Expresión del *proto-modelo***

Ahora que cada uno de ellos tiene su *proto-modelo* en mente, llega el momento de expresarlo físicamente para poder comunicar y discutir sus ideas, entre los estudiantes y con el docente, ya sea en pequeño o en gran grupo.

En otras palabras, toca escoger el modo de representación (o modos, porque se pueden combinar) que crea más adecuado: puede ser en 2 dimensiones (2D), como un dibujo, un gráfico o un diagrama; en 3 dimensiones (3D), como una maqueta; virtual, como una simulación de ordenador; matemático, a través de una fórmula matemática; verbal, por medio del discurso oral o escrito, como un esquema, un resumen, un mapa conceptual...; o gestual, mediante el lenguaje corporal y facial, por ejemplo, haciendo uso de la escenificación.

Esta selección vendrá marcada básicamente por el objetivo del modelo, las prácticas epistémicas que se van a emplear durante la manipulación del artefacto, la naturaleza (propiedades, características) de los elementos representados y la audiencia a la que va dirigido.

Puede hacerse de dos maneras diferentes, puede ser el docente el que indique al alumnado qué tipo de representación tendrá que usar, o bien pueden dejarlo a su criterio. Cada una de ellas tiene sus ventajas e inconvenientes:

#### **a) Modo de representación indicado por el docente**

Es quizás la opción más recomendable cuando se comienza a trabajar en modelización. Facilita la comparación posterior entre unos modelos y otros cuando llega el momento de puesta en común y la discusión de su validez. Ahora bien, si nos decidimos por esta alternativa, tendremos que justificar nuestra elección. Es decir, deberemos explicar a nuestro alumnado por qué nos hemos decantado por tal o cual modo, por qué lo creemos conveniente para el fenómeno, situación o contexto propuesto. Igualmente, deberemos aclarar que no se trata de que sea el “correcto” y que, en realidad, podríamos usar cualquier otro modo de representación, aunque cada uno haría aportaciones diferentes, podría resultar más o menos útil y/o pertinente para el caso estudiado y la finalidad propuesta.

#### **b) Modo de representación elegido por el estudiante**

Exige que los estudiantes hayan tenido previamente experiencia con la modelización. Se fomenta la creatividad, pueden aparecer cuestiones del proto-modelo que de otro modo pasarían desapercibidas, ya que no ven sus fallos hasta que lo ponen en práctica. Sin embargo, esta modalidad obliga a que el profesorado explique las distintas posibilidades de representación disponibles, para que puedan escoger, y ayudar al alumnado a la hora de comunicar sus modelos al resto de sus compañeros, haciendo las preguntas pertinentes acerca de qué formato han escogido, cómo lo han usado y qué ideas están representando.

En esta fase de expresión del proto-modelo, habrá de solicitárseles asimismo que indiquen el código que están utilizando, es decir, deben dar cuenta de qué significa cada uno de los elementos y propiedades empleadas. Por ejemplo, si recurren a una categoría de colores (como ocurre en los mapas demográficos), deberán incluir una leyenda que

explique qué significa o qué valor o valores tiene asociados cada uno de ellos. Igualmente, deberán justificar sus decisiones, por qué han optado por esa(s) forma(s) de representación en particular, y describir cómo encajan cada una de las partes que componen su modelo.

Así pues, aquí tendrá lugar la primera puesta en común del proceso, en la que cada estudiante o equipo deberá exponer al resto su modelo externo.

Se trata, por tanto, de una fase de gran relevancia, porque va a condicionar el tipo de prácticas epistémicas que tendrán lugar. De ahí que se considere como una etapa aparte: implica nuevos procesos cognitivos, ya que no es solo pensar el modelo, sino ver cómo transponerlo de la mente (interno) a la “realidad” (externo).

Por último, son precisas dos aclaraciones importantes con respecto a esta fase:

1) Lo que se expresa es el proto-modelo (modelo mental) que el alumno o alumna tiene en su cabeza, no la realidad.

2) Puede que el modelo externo no coincida exactamente con el proto-modelo de esa persona, ya sea por las limitaciones que posee el proto-modelo en sí mismo, o bien derivadas de las propias destrezas (o falta de ellas) del modelador o modeladora. De hecho, probablemente no lo haga, ni tampoco es necesario. Siempre y cuando el modelo externo creado permita interactuar con él y manipularlo para asistir en el proceso de razonamiento, estará cumpliendo su función.

### **3. Experimentación del modelo**

Se refiere al diseño y puesta en práctica de experimentos, ya sea mental y/o empíricamente. A menudo lo primero precede a lo segundo. Sin embargo, la realización de pruebas experimentales va a depender del modelo en sí mismo y de los recursos disponibles, como ya se comentó en la versión 1.

Cualquier experimento se llevará a cabo varias veces, igual que se hace en la Ciencia, para probar su validez: si el modelo falla, deberemos revisarlo y modificarlo en la medida que sea pertinente o, incluso, rechazarlo completamente si encontráramos problemas de base, como ya indicaba Justi (2006) para la versión inicial.

Esta fase entraña un especial grado de dificultad para aquellos estudiantes que comienzan a trabajar en modelización, sobre todo si están además aprendiendo en ese

momento las principales ideas sobre ese modelo. Por esta razón, se puede optar por darles experimentos ya prediseñados, como se ha realizado en la propuesta didáctica de este trabajo. No obstante, podrían añadirse aquellos otros experimentos que se les ocurran a los estudiantes. En este sentido, resulta muy útil tener distintos experimentos disponibles a la hora de revisar el modelo para ver si funciona o no, y de ser necesario, cambiarlo.

Por otra parte, si en el aula se expresan distintos modelos, cada experimento puede interpretarse de forma diferente y, por lo tanto, hacer necesarios más o menos cambios a cada uno. Esta diversidad experimental facilita que todos los grupos encuentren fallos; si solo hacemos un experimento, es bastante probable que algún modelo quede intacto, aunque no esté bien, al no afectar a sus elementos sustanciales. Asimismo, distintos experimentos pueden arrojar pistas sobre en qué dirección ha de modificarse el modelo, o incluso, desde mi punto de vista, ofrecer evidencias de su éxito y posibilidades de aplicación, que habrán de delimitarse en la última fase.

Durante la actividad experimental, la función del docente será principalmente fomentar la creatividad del alumnado y apoyarlo en el desarrollo de sus capacidades de planificación y puesta en práctica. Deberá ayudarlos a interpretar los resultados en sus propios términos, y en función de las relaciones que establecen entre esos datos y sus modelos iniciales. Se trata de pedirles que justifiquen sus decisiones, que verbalicen lo que están pensando mientras lo hacen, que reflexionen sobre otros puntos que quizás no están considerando y, finalmente, que comparen el modelo inicial con el final para así ver la capacidad explicativa de cada uno de ellos. Igualmente se recomienda ofrecer contraejemplos que provoquen un desequilibrio y así puedan seguir mejorándolo.

Una vez que todos los grupos de trabajo tengan más o menos avanzados sus modelos, se establecerá una discusión en gran grupo para poder intercambiar ideas. Durante este momento de exposición y debate el docente **no** puede evaluar en función de bien o mal, sino que deberá conseguir que los estudiantes se den cuenta de las aportaciones que pueden hacerse unos a otros. Puede, no obstante, aprovechar la ausencia en sus modelos de elementos propios del modelo científico escolar para demostrar que la enseñanza basada en modelización no impone un determinado conocimiento o, incluso, presentarlos como alternativas para que sean los propios estudiantes quienes las valoren.

Nuevamente, hay una serie de consideraciones finales que hacer, sobre todo en relación con el papel del docente durante esta fase:

1. Es necesario revisar la literatura acerca de cuáles son las ideas previas habituales en los estudiantes sobre el tema estudiado. Esto servirá para decidir si se hace un experimento mental o empírico y, sobre todo, identificar cuáles son las posibles dificultades que pueden aparecer.
2. Lo que se haya hecho al respecto de este tema en clases/cursos anteriores, esto es, las experiencias previas del profesor o profesora dando este tema y trabajando con modelización, va a influir en su capacidad para formular las preguntas adecuadas.
3. Resulta de vital importancia partir de lo que vayan diciendo los propios estudiantes, puesto que incidirá en su creatividad, su capacidad analítica para revisar sus modelos y diseñar nuevos experimentos, así como su habilidad para enunciar sus propias preguntas de investigación. Por lo tanto, las cuestiones que se les vayan proponiendo tendrán que ir en línea con cómo interpretan los alumnos los resultados obtenidos y tener carácter abierto, es decir, que no sean de respuesta única, para que vean que conducir un experimento en modelización no es seguir una receta.

En definitiva, en esta fase el grado de implicación del profesorado variará, como en otras, dependiendo de los propios objetivos que se haya marcado el docente, de si el alumnado se ha enfrentado antes a este tipo de experiencia didáctica y del conocimiento que (ya) posean sobre el tema en cuestión.

#### **4. Evaluación del modelo**

Como ya ocurría con la primera versión, esta última fase se refiere a evaluar el alcance y limitaciones del modelo. Para ello deberán proponerse actividades finales que ofrezcan oportunidades de poner en juego su modelo final en distintos contextos. Quizás sea necesario volver a revisarlo o bien tengamos que concluir que solo es aplicable en determinadas situaciones, y bajo determinadas circunstancias, que habremos de describir con precisión.

Por lo tanto, supone un nuevo gran momento de discusión y argumentación, en el que cada grupo intentará imponerse y persuadir a los demás de la validez y mayor poder



explicativo de su modelo. Durante ese tiempo el docente asumirá el papel de moderador, animando a la discusión y participación de todo el alumnado.

Finalmente, deberemos construir un modelo consensuado entre toda la clase, que podrá coincidir o no con el modelo científico escolar deseado. En mi opinión porque, entre otras cuestiones, hay que tener en cuenta que, en cada curso o etapa educativa, esperaremos resultados diferentes, con mayor o menor grado de complejidad, precisión, extensión.... De no ser ese el caso, podríamos plantearles algunas preguntas que permitan a nuestro alumnado establecer nuevas relaciones entre su modelo y el científico escolar, o bien proporcionar información adicional que contribuya a salvar las distancias entre ambos.

De este modo, la enseñanza basada en modelización se presenta como una buena forma de trabajar contenidos curriculares que se abordan por primera vez, incluso con estudiantes que nunca han trabajado con la modelización y/o que pertenecen a etapas educativas más elementales. Por eso creemos que puede ser una buena opción para comenzar a trabajar con el alumnado el modelo de evolución biológica ya desde la educación primaria.

Para finalizar, la aplicación del Modelo de Modelización v.2 va a requerir:

1. Que, antes de poner en marcha todo el proceso de modelización, los estudiantes estén familiarizados, o se familiaricen, con el concepto de *modelo* desde un punto de vista científico, para que comprendan qué es lo que están haciendo.
2. Que el docente motive al alumnado a participar activamente en las actividades.
3. Que el alumnado trabaje en pequeño grupo de manera colaborativa, ayudándose unos a otros en la construcción del modelo, debatiendo y discutiendo sus ideas y puntos de vista en aras a llegar a un consenso, para luego presentarlo y defenderlo frente al resto de la clase.

### **2.2.3. Modelos, modelización y cambio conceptual**

Fue el filósofo Thomas Kuhn quien introdujo en 1962 el término de “cambio conceptual” para referirse a cómo un cambio de paradigma en las ciencias, es decir, cuando una teoría científica se ve sustancialmente modificada, se produce a su vez un cambio en los conceptos que la conforman (Vosniadou, 2013). Desde su punto de vista, la Ciencia avanzaría a grandes saltos, mediante “revoluciones” (Clement, 2013).

Así, a ojos de Posner, Strike, Hewson y Gertzog (1982), se distinguían dos fases dentro del cambio conceptual: la primera, en la que se aplica el conjunto de conceptos ya disponibles a un nuevo problema, y la segunda, más radical, que hace surgir nuevos conceptos y adoptar una nueva forma de ver el mundo capaz de dar respuesta a los problemas no resueltos durante la primera etapa. Se dieron cuenta entonces de la relevancia que podía tener esta misma noción de cambio conceptual en el caso del aprendizaje de las ciencias y, sobre todo, en la superación de las concepciones alternativas que acostumbra a tener el alumnado y que resultan a veces tan resistentes a la instrucción.

Tomando como referencia las aportaciones de Kuhn, amén de otros autores de la filosofía de la ciencia como Lakatos, y combinándolas con las ideas de asimilación y acomodación acuñadas por Piaget, establecieron una analogía entre el cambio conceptual y el aprendizaje que dio como resultado su *modelo de cambio conceptual*. En él se concibe precisamente el aprendizaje como un proceso de *cambio conceptual* que busca promover la *acomodación* de las concepciones científicas. Para ello es necesario que se cumplan cuatro condiciones:

1. A partir de numerosas experiencias, el individuo se da cuenta de que los conceptos de los que dispone resultan inadecuados para resolver un determinado problema. Se encuentra, por tanto, insatisfecho/a con los conceptos existentes.
2. Aparece un nuevo concepto que es inteligible para el individuo, es decir, que es capaz de comprender o asociar (establecer una analogía o metáfora) a otro concepto que ya conoce.
3. Ese nuevo concepto debe ser además plausible, esto es, en principio ha de mostrar mayor eficacia que sus predecesores en la resolución del problema.
4. Finalmente, ese nuevo concepto debe tener potencial, sugerir nuevas y fructíferas líneas de investigación.

La clave reside, por tanto, en la generación de un conflicto cognitivo tal que lleve a abandonar de inmediato el concepto inicial y a adoptar en su lugar el concepto científico, que sin duda tendrá mayor poder explicativo. Así pues, bajo esta óptica, las concepciones alternativas del alumnado (o *misconceptions*) son entendidas como errores que hay que eliminar a toda costa, sustituyéndolas por las más acertadas ideas científicas.

Ahora bien, esta visión más negativa de las ideas que *a priori* poseen y traen al aula los estudiantes resulta incompatible con el constructivismo (Smith, diSessa y Roschelle, 1993, citado en Vosniadou, 2013), que, como ya mencionamos en su momento, constituye el enfoque predominante en la Didáctica de las Ciencias en la actualidad (Mellado, 2001).

De hecho, conduce a lo que Clement (2013) describe como “paradoja del conocimiento previo”: por un lado, el constructivismo recomienda construir sobre lo que el alumnado ya sabe, pero, por el otro, la investigación sobre cambio conceptual pone de manifiesto que la mayor parte de lo que sabe el alumnado entra en conflicto con el conocimiento científico. De acuerdo con este autor, la solución pasa entonces por entender que el alumnado llega al aula con dos tipos de conocimientos previos: 1) aquel que entra en conflicto directo con la perspectiva científica, y que sería catalogado como *misconceptions*, y aquel otro que puede usarse en positivo y que servirá no solo para superar el primero, más conflictivo, sino también para anclar la nueva información. Son las *anchoring conceptions* (Clement, Brown y Zietsman, 1989), que mencionábamos antes a propósito de cómo promover la evolución de los modelos mentales de nuestro alumnado por medio del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Otros problemas que presenta la aproximación clásica al cambio conceptual de Posner y otros (1982) son las omisiones de las componentes social, motivacional y afectiva, que necesariamente intervienen en dicho proceso, como apuntan Inagaki y Hatano (2013), entre otros. Además, no tiene en cuenta la gradualidad y continuidad con la que se desarrolla el cambio conceptual, que, como subraya Vosniadou (2013) ni se produce de manera drástica, ni se limita a unidades aisladas de conocimiento.

En realidad, el cambio conceptual afecta a sistemas completos, es decir, a modelos. Autores actuales (Jonassen y Easter, 2013; Nersessian, 2013) definen los modelos como sistemas conceptuales formados por elementos, relaciones, operaciones y reglas de interacción, que sirven para construir, describir y/o explicar el comportamiento de otros sistemas.

En consecuencia, como nos advierten Gilbert y Justi (2016) “concepto” y “modelo” no son lo mismo, aunque muchas veces se empleen indistintamente en la literatura.

Siguiendo a Medin y Rips (2005), un “concepto” sería, a grandes rasgos, una representación mental de un conjunto de entidades, o una categoría a la que pertenecen dichas entidades porque comparten una serie de atributos en particular. Al usar un concepto, hacemos referencia, de manera implícita, a esa serie de atributos. Esto convierte a los conceptos en representaciones de la realidad precisas y bien delimitadas, no arbitrarias, que además pueden ser transmitidas a otras personas y cumplirían tres funciones básicas:

- permiten categorizar el conocimiento, es decir, determinar si una determinada entidad pertenece o no a una determinada categoría;
- posibilitan la comunicación entre individuos (siempre y cuando otorguen el mismo significado al concepto en cuestión);
- y sirven como base para la memoria, que se organiza precisamente a partir de las relaciones significativas que se van estableciendo entre distintos conceptos, siguiendo lo que estos autores denominan como *semantic memory marriage*.

En cambio, tal y como se ha explicado en anteriores apartados, los modelos están conformados por sistemas de conceptos, más o menos amplios, mejor o peor estructurados. De acuerdo con Gilbert y Justi (2016), los trabajos más recientes sobre modelos se han ido orientando hacia fenómenos cada vez más complejos, cuya representación exige el empleo integrado de varios conceptos; por ejemplo, el modelo de reacción química o el de evolución biológica, que es justamente el que nos ocupa en el presente trabajo.

La modificación de un concepto altera el modelo en el que se inserta (Iganaki y Hatano, 2013) del mismo modo que, como apuntaba Kuhn, los cambios de paradigma transforman las teorías científicas con el paso del tiempo. Porque no debemos olvidar que las teorías constituyen, al fin y al cabo, una familia de modelos (Giere, 1988).

Tomando en consideración estas limitaciones que presentaba el modelo clásico de cambio conceptual, Vosniadou (1994) propone un marco alternativo para el cambio conceptual, su *Framework Theory Approach*. Se asienta sobre la idea de que desde muy temprana edad niños y niñas comienzan a adquirir conocimiento sobre el medio que los rodea, desarrollando lo que ha dado en llamar una “física ingenua” (*naïve physics*) que nos permite ir (re)construyendo el mundo en nuestra mente para comprenderlo e intervenir sobre él en nuestra vida diaria.

Esta física ingenua, lejos de estar fragmentada, se organiza de forma consistente para construir un sistema explicativo completo, conformado por su propia ontología, principios de funcionamiento y poder generativo, que permite comprender el mundo y hacer predicciones sobre él. De ahí que hable de *framework theories*, aun cuando no se testen sistemáticamente ni sean socialmente compartidos ni dispongan de la capacidad explicativa de sus equivalentes científicos (Vosniadou, 2013).

Y es por esta misma naturaleza de las *framework theories* que para lograr un verdadero cambio conceptual, para aprender ciencias, van a ser necesarios cambios a nivel epistemológico, ontológico y representacional.

Sin embargo, la noción de “concepto” empleada habitualmente en la normativa educativa se limita a su orientación más ontológica y representacional, obviando su parte epistemológica. Además, es imprescindible abordar esta dimensión dentro de la nueva concepción de modelo como artefacto epistémico (Knuuttila, 2011; Gilbert y Justi, 2016).

Una vez aclaradas las diferentes dimensiones a tratar, nos queda por dilucidar los procesos que permiten la evolución de los conceptos en nuestra mente. Según vamos creciendo nuestras experiencias con el medio se amplían, incrementan y vamos cambiando los conceptos que habíamos conformado inicialmente. Iganaki y Hatano (2013) proponen cuatro modos distintos en que los conceptos van evolucionando en nuestra mente:

- 1) Surge un nuevo concepto que **incorpora** el anterior (o sea, que suma, haciéndose más completo).
- 2) Surge un nuevo concepto que **supera** al anterior (es decir, tiene más capacidad explicativa), pero ambos permanecen.
- 3) Surge un nuevo concepto a partir de la versión anterior por **diferenciación**, pero ambos continúan usándose porque se relacionan con distintos ámbitos; por ejemplo, “*fuera física*” versus “*fuera política*”.
- 4) Surge un nuevo concepto a partir de la **integración** de los otros dos anteriores.

Esta evolución puede realizarse de forma natural o a través de la escuela – a menudo el cambio conceptual durante y tras la educación primaria es una mezcla entre cambio

conceptual espontáneo y el basado en la instrucción (Iganaki y Hatano, 2013) – y en ese proceso puede jugar un papel clave la modelización. La modelización es un fenómeno cognitivo natural, esencialmente constructivista y promotor de numerosas destrezas cognitivas. Su puesta en práctica requiere una gran implicación conceptual por parte de los estudiantes. Reorganizan su conocimiento conceptual, lo que puede hacerse de forma gradual a lo largo del tiempo, o de manera más radical al intentar acomodar la nueva información que genera conflicto (Jonassen y Easter, 2013). Cuando los estudiantes explicitan sus propios modelos, descubren las inconsistencias en sus propias estructuras conceptuales, y deben revisarlos para adaptarlos (Dole y Sinatra, 1998). De esta forma, la elaboración de sus modelos es un poderoso método de promover, y evaluar, el cambio conceptual, de apropiarse del conocimiento y darle significado.

Finalmente, habremos de tener en cuenta tres condiciones más para conseguir un verdadero cambio conceptual a través de la enseñanza basada en modelización (Gilbert y Justi, 2016):

- 1) El cambio no se va a producir de forma instantánea ni lineal con esta estrategia de enseñanza, sino que hace falta dedicarle tiempo y estar preparados para la improvisación; por ejemplo, puede que los experimentos preparados no contradigan los modelos de los estudiantes, por lo que habrá que buscar otros recursos que lo hagan; o bien puede que el propio alumnado sugiera nuevos experimentos que debemos dejarles probar.
- 2) La noción de que los modelos son tentativos no se adquiere inmediatamente, tampoco con la enseñanza basada en modelización, y mucho menos a través del discurso docente, sino que, nuevamente, es necesaria la práctica. Será a partir de trabajar con los modelos, ver los distintos tipos que surgen y discutirlos, que el alumnado adquirirá la componente epistemológica.
- 3) En cuanto al aspecto afectivo, queda cubierto, pues serán los propios estudiantes quienes vayan construyendo y modificando su modelo. Lo que posibilita que lo interioricen gradualmente, sintiéndose cada vez más cómodos con él, al tiempo que se apropian del contenido, haciéndolo a cada paso más suyo.

### **2.3. El modelo de evolución biológica: su enseñanza y aprendizaje en educación primaria**

Centrémonos ahora en el modelo central del presente estudio, el de evolución, que como teoría científica debemos considerar siempre como una familia de modelos. Para que una teoría científica deba ser incorporada necesariamente a la educación debe cumplir una serie de requisitos que, según Petto (2005), serían los siguientes:

- 1) Haber sido reconocida por la comunidad científica como una teoría estable y asentada, debido a su constatación continua a través de la investigación científica realizada a lo largo de un tiempo dado;
- 2) Ser fundamental para un campo de estudio determinado, al que proporciona un marco unificador que ayuda a comprender aquellas cuestiones más relevantes dentro de dicho ámbito;
- 3) Poder ser presentada y comprendida por los estudiantes de diferentes edades, al disponer tanto del conocimiento previo como de las capacidades analíticas necesarias para entenderla.

Sobre el primero, en el caso de la teoría de la evolución biológica ha quedado demostrado con creces su poder explicativo a lo largo del siglo y medio que lleva desarrollándose, así como el reconocimiento por parte de la comunidad científica. Y eso a pesar de la incesante controversia social que la ha venido persiguiendo desde mediados del siglo XIX, cuando se publica *El origen de las especies* de Charles Darwin en 1859, y que aún persiste a día de hoy en muchos países, como Estados Unidos (Scott y Branch, 2003; Wiles y Branch, 2008), Sudáfrica (Sanders y Ngxola, 2009) o Turquía (Töman, Karataş y Odabaşı, 2014), donde su grado de aceptación pública es alarmantemente bajo (Miller, Scott y Okamoto, 2006). Esa misma polémica ha garantizado un mayor interés en investigar en todo momento su comprobación. Hasta ahora, toda la investigación posterior no ha hecho más que incorporar nuevos datos, como los genéticos (mutaciones, deriva genética, etc.), que han venido a completar y explicar varios aspectos de la teoría.

De hecho, la polémica que la rodea desde su aparición hace tiempo que ha dejado de estar centrada en cuestiones científicas, por más que ciertos grupos o medios tiendan a magnificar la discusión que científicos y científicas mantienen en algunos de sus

detalles para ponerla en tela de juicio y restarle validez (Petto, 2005). Las razones del rechazo presentado por sectores de la población han quedado restringidas, a lo largo de este tiempo, a cuestiones principalmente de carácter religioso y político.

En lo que respecta al segundo requisito, no cabe duda de que la teoría evolutiva es la base del pensamiento biológico moderno (Torreblanca, De Longhi y Merino, 2009). Es el principio unificador de las ciencias de la vida y sirve de fundamento para la investigación y avance en un sinnúmero de áreas, tales como genética, anatomía, medicina, agricultura o ecología (Hermann, 2011; Kelemen, 2012). No en vano afirmaba Dobzhansky (1973), en su ya archiconocida frase, que “Nada en Biología tiene sentido si no es a la luz de la evolución”. En consecuencia, cumple claramente con los dos primeros requisitos. Pero ¿qué hay del tercero?

Después de la frase de Dobzhansky y de que otros autores nos recuerden que es imprescindible para la comprensión de la Biología moderna (Bishop y Anderson, 1990), y para su enseñanza (García Rovira, 2005), parece indiscutible abordarla si pretendemos proporcionar al alumnado una formación biológica adecuada y completa. Hablamos de formar a toda la ciudadanía, ya que este conocimiento trasciende lo académico. Su conocimiento es necesario no solo para aquellos que se dedican (o se dedicarán) a profesiones relacionadas con las ciencias de la vida, sino para que cualquier ciudadano y ciudadana sea capaz de tomar decisiones informadas sobre una amplia variedad de cuestiones sociales y bioéticas, como la explotación excesiva de recursos, la contaminación ambiental, la clonación, el cultivo y consumo de alimentos transgénicos o la vacunación (Emmons, Smith y Kelemen, 2016). Pero, además de su importancia y nuclearidad, hay dos razones más para afrontar la enseñanza de esta teoría. Cuando antes hablábamos de la polémica que rodea a la teoría desde su aparición, se debe recordar que existen toda una serie de agentes en la sociedad dispuestos, no a tratar la teoría, sino a combatirla (Barberá, Zanón y Pérez-Pla, 1999). Por lo tanto, de una forma u otra, a través de la educación o solo del adoctrinamiento y la interacción social, la teoría va a entrar en contacto con el alumnado y aparecerán así toda una serie de obstáculos para su aprendizaje posterior.

Algunos países ya han avanzado en este sentido para incorporarla al *curriculum* de Ciencias. Un ejemplo de referencia es el *Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas* (NRC, 2012), en el que la teoría de la



evolución aparece como una de las cuatro *disciplinary core ideas* de las ciencias de la vida. Además, recordemos que este marco conceptual estadounidense defiende el desarrollo (o modelización) y el uso de modelos como una de las prácticas científicas esenciales.

El empleo de los modelos científicos como principal elemento estructurador del *curriculum* (Gilbert y Justi, 2016; Martí, 2012) ayudaría a solucionar el problema de sobrecarga de contenidos que aqueja a muchos programas curriculares, entre ellos, el español (Pro y Miralles, 2009), ya que pasaría a estar vertebrado en torno a los modelos principales de cada disciplina, a partir de los cuales se irían desarrollando el resto de los contenidos. En consecuencia, permitiría dedicar el tiempo necesario para garantizar el aprendizaje significativo de los mismos, tanto de los más conceptuales (sistemas físicos, biológicos y tecnológicos) como de los más procedimentales (modelización y uso de modelos en la ciencia) y actitudinales (Naturaleza de la Ciencia). Como ya se valoraba en apartados anteriores, se podría así proveer al alumnado de una auténtica educación científica que lo hiciera competente, capaz de responder a los desafíos científicos, tecnológicos, sociales y ambientales del presente y del futuro.

En esta línea, García Rovira (2005) prescinde de hablar de teorías o conceptos científicos, y en su lugar opta por organizar el *curriculum* en torno a unos pocos pero significativos modelos teóricos. Concretamente, para el ámbito de la Biología, establece cuatro modelos básicos: el de célula, el de ser vivo, el de ecosistema y el de evolución, siendo este último el que engloba a los anteriores (ver figura 9). Se constituye así en la piedra angular de cualquier *curriculum* basado en ciencias.

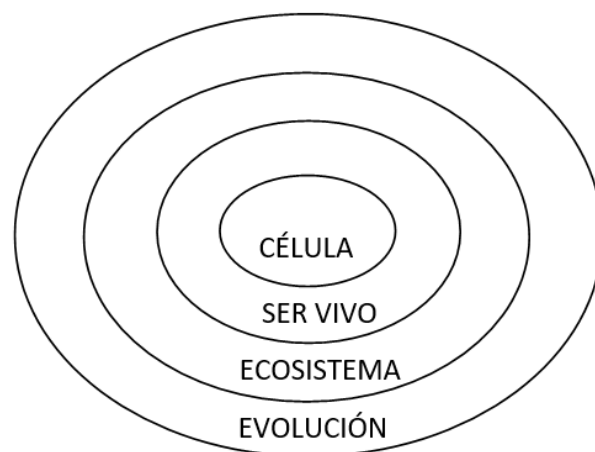


Figura 9. Modelos biológicos básicos de acuerdo con García Rovira (2005).

### 2.3.1. La teoría de la evolución en el programa curricular español

Partiendo de esa visión de los modelos básicos como organizadores del *currículum*, pasamos a analizar qué ocurre en la normativa educativa imperante actualmente en España. La teoría de la evolución – que no el modelo – no se aborda hasta 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO).

De acuerdo con el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato* (MECD, 2014, p. 205), es en este curso (15-16 años) cuando “...se inicia al alumnado en las grandes teorías que han permitido el desarrollo más actual de esta ciencia: la tectónica de placas, la teoría celular y la teoría de la evolución para finalizar con el estudio de los ecosistemas...”. Con el término de “esta ciencia”, la normativa se refiere a la materia troncal de Biología y Geología, que se imparte obligatoriamente en 1º y 3º ESO (se omite en 2º ESO, donde se enseña Física y Química en su lugar), pero que en 4º pasa a ser optativa (arts. 13 y 14).

Además, pertenece (en principio, de manera exclusiva) a la opción de enseñanzas académicas de iniciación al Bachillerato, si bien queda a disposición de las Administraciones educativas de cada comunidad autónoma y, sobre todo, de cada centro educativo decidir cuál será el conjunto de asignaturas finalmente ofertado al alumnado. En esta materia se introduce igualmente, por primera vez, el estudio de la Genética, imprescindible para comprender el proceso evolutivo.

También se hace una breve alusión a la teoría de evolución biológica en otra materia optativa de 4º, denominada Cultura Científica, incluida dentro del bloque de materias específicas. Se trata en el Bloque 2, dedicado a El Universo, que tiene como uno de sus criterios de evaluación: “1. Diferenciar las explicaciones científicas relacionadas con el Universo, el sistema solar, la Tierra, el origen de la vida y la evolución de las especies de aquellas basadas en opiniones o creencias”.

No es hasta 1º Bachillerato que desarrolla los contenidos relacionados tanto con la evolución biológica (*Bloque 2. La Tierra y la vida*) como con la genética (*Bloque 4. La revolución genética*), por entender que son “cuestiones algo más complejas” (RD 1105/2014, p. 465).

Esto significa que todo el alumnado que decida no cursar ninguna de estas asignaturas, ni en 4º ESO ni en Bachillerato – si finalmente decidiera cursar estudios superiores, ya sea para realizar un ciclo de Formación Profesional (FP) superior o un grado universitario –, abandona el sistema educativo sin haber profundizado en este importante modelo científico desde un punto de vista biológico.

Hacemos esta puntualización – “profundizado” y “desde punto de vista biológico” – por dos razones.

Por un lado, porque la materia de Geografía e Historia es obligatoria durante toda la ESO e incluye el estudio, por orden cronológico, de las grandes etapas de la Historia. En consecuencia, durante el 1º curso el alumnado estudiará la Prehistoria y, con ella “La evolución de las especies y la hominización” (contenido), de suerte que los estudiantes deberán “Entender el proceso de hominización” (criterio de evaluación nº 1) y deberá demostrar que “Reconoce los cambios evolutivos hasta llegar a la especie humana” (estándar de aprendizaje nº 1.1), lo que les permitirá comenzar a desarrollar este contenido, al menos de manera superficial, aunque esté centrado en la especie humana.

Por el otro, porque aquel alumnado que estudie Bachillerato deberá cursar en 1º curso la asignatura de Filosofía, independientemente de la modalidad que escojan (Ciencias, Humanidades, Ciencias Sociales o Artes), como reza el art. 27 del RD 1105/2014. Esta materia incluye un bloque de contenidos, el *Bloque 5. El ser humano desde la Filosofía*, en el que se habrán de tratar “Las implicaciones filosóficas de la evolución” (contenido) y el alumnado deberá “Conocer y explicar las implicaciones filosóficas de la evolución, relacionando con contenidos metafísicos y pensadores ya estudiados” (criterio de evaluación nº2), demostrando que “Utiliza con rigor vocabulario específico de la temática como evolución, dialéctica, proceso, progreso, emergencia, azar, selección natural, apto, reduccionismo, creacionismo, evolución cultural, vitalismo, determinismo genético, naturaleza, cultura” (estándar de aprendizaje nº1.1.) y que “conoce y explica las consideraciones filosóficas implicadas en la teoría de la evolución como la consideración dinámica y dialéctica de la vida o el indeterminismo, entre otras” (estándar de aprendizaje nº2.1.).

Por lo tanto, todo el alumnado que curse Bachillerato trabajará sobre la evolución biológica, pero puede que solo lo hagan desde un punto de vista filosófico;

concretamente, aquel alumnado que no haya cursado Biología y Geología y/o Cultura Científica en 4º ESO ni tampoco lo haga en 1º o 2º Bachillerato. La formación en evolución de este alumnado se limitará entonces a aquella que pueda ofrecerle su profesor o profesora de Filosofía, unida a aquella otra (centrada en la hominización) que haya tratado durante 1º ESO.

Creo que es de sumo interés y relevancia abordar las implicaciones que ha tenido, tiene y/o puede tener la evolución biológica en el ámbito social, político y cultural; buena muestra de ello son los casos de Ernst Haeckel y Alfred Russell Wallace, que llegaron a posturas tan absolutas y contrapuestas como el militarismo protonazi del primero frente al pacifismo igualitarista del segundo (Larson, 2006). Discutir estas cuestiones permite a los estudiantes desarrollar su espíritu crítico y aproximarse a la Naturaleza de la Ciencia; por ejemplo, a su componente subjetiva e interpretativa o su dependencia del contexto en el que se genera (Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002). No obstante, considero insuficiente hacerlo únicamente desde un punto de vista sociológico y metafísico; sin un conocimiento científico básico de la teoría se aumenta el riesgo de llegar a conclusiones demasiado simplistas y reduccionistas, advierte Larson (2006).

Del mismo modo, tampoco resulta apropiado tratar este denso y a la vez clave modelo científico como un tema más de los tantos que aparecen listados en el *currículum* de Biología (McVaugh, Birchfield, Lucero y Petrosino, 2011), ni relegarlo al final de la escolaridad obligatoria, cuando “la introducción de las ideas científicas clave, que explican un amplio rango de fenómenos, no se puede hacer directa y abruptamente porque resultarían abstractas y sin significado” (Criado, Cruz-Guzmán, García-Carmona y Cañal, 2014, p. 2). Y es que para entonces, el alumnado ha ido confeccionando numerosas y muy diversas concepciones alternativas que no solo entran en conflicto con el modelo científico escolar sino que además se han ido reforzando con el paso del tiempo (Roldán Muñoz, 2008).

En el capítulo dedicado a los resultados de este trabajo afrontaremos el análisis detallado de las posibilidades de progresión en la enseñanza de esta teoría que nos permite, o nos imposibilita, la actual normativa curricular. Consideramos de especial relevancia este análisis pues puede dificultar sobremanera un proceso de enseñanza-aprendizaje ya de por sí complejo. Al fin y al cabo, no es lo mismo no conocer algo de

nada que conocerlo de otra manera (Martí, 2012). Precisamente, dice este autor, la confrontación que suele darse entre el conocimiento intuitivo del alumnado y el conocimiento científico de la ciencia escolar tiene lugar porque ambos explican en buena medida los mismos fenómenos, pero lo hacen de forma muy diferente. En el caso concreto de la evolución, indican Sinatra, Brem y Evans (2008), asistir al alumnado en su comprensión del proceso evolutivo no consiste simplemente en añadir nueva información a lo que ya saben, sino más bien en ayudarlo a ver el mundo desde un punto de vista nuevo y diferente.

### 2.3.2. Dificultades y obstáculos en el proceso de enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución

Existe una amplia literatura acerca de las *misconceptions* y dificultades que suelen presentar los estudiantes respecto a la evolución biológica, ya sea del modelo en su conjunto o bien de alguno de sus aspectos en particular, como la selección natural, la deriva genética, la adaptación, la herencia, la pérdida de trazos, la evolución humana o incluso sobre cómo la visión que tienen los estudiantes sobre la ciencia (Naturaleza de la Ciencia) influye en la comprensión y aceptación de esta teoría. En los siguientes párrafos desgranaremos lo que nos van aportando las investigaciones sobre el tema.

Gran parte de estos trabajos de investigación se concentran en estudiar las *misconceptions* del alumnado de educación secundaria, quizás porque es durante esta etapa cuando, en muchos países, los estudiantes se enfrentan por primera vez a este contenido. Sin embargo, también hay estudios que ponen su foco de atención en niveles inferiores, es decir, en educación primaria (véase, por ejemplo, Toneatti, 2008; Prinou, Halkia y Skordoulis, 2008; Shtulman, Neal y Lindquist, 2016), o incluso en educación infantil (Evans, 2000; Nadelson *et al.*, 2009); y también en niveles superiores, esto es, en bachillerato y la universidad, incluyendo alumnado de ciencias biológicas (Rivas y González, 2016) y profesorado en formación (Kampourakis, Silveira y Strasser, 2016; Kim y Nehm, 2011), así como profesorado en servicio de distintas etapas educativas (Asghar, Wiles y Alters, 2007, en educación primaria; Ha, Baldwin y Nehm (2015), en educación secundaria; Rice, Clough, Olson, Adams y Colbert, 2015, en universidad).

Dada la amplitud y diversidad de las *misconceptions* sobre la teoría evolutiva, resulta especialmente interesante clasificarlas en función de su origen, tal y como realizan

Alters y Nelson (2002), basándose en el trabajo de Greene (1990, citado en Alters y Nelson, 2002). Estos autores las organizan en cinco grupos diferentes, pero no excluyentes, pues una misma *misconception* puede originarse en uno u otro ámbito y/o verse reforzada por los otros:

- 1) ***Misconceptions derivadas de la experiencia***, es decir, formadas de manera consciente o inconsciente a partir de los fenómenos observados en su vida cotidiana, tales como la inmensa variedad de especies domésticas y de interés comercial, la resistencia de las bacterias a los antibióticos o la propia diversidad humana (Grau y De Manuel, 2002), para los que crean sus propias explicaciones recurriendo a las formas de razonamiento que les son características (esencialismo, teleología, sentido común, antropomorfismo y vitalismo).

Martí (2012) dice que los niños y niñas, como pensadores teóricos que son, disponen de toda una batería de herramientas cognitivas para ir articulando el conocimiento que obtienen día a día a partir de su experiencia con el medio. Ahora bien, como ya adelantábamos en apartados anteriores, estas formas de razonamiento que poseemos de manera natural son tan responsables de posibilitar nuestro pensamiento como de condicionarlo, y el modelo de evolución no es una excepción.

- 2) ***Misconceptions construidas por uno mismo***, en las que los estudiantes entran en contacto con información que contradice lo que “saben”, pero lejos de cambiar su *misconception* original, lo que hacen es acomodar el nuevo conocimiento a su modelo mental previo.

Precisamente Vosniadou (2013) distingue entre *preconceptions*, o ideas que se forma el alumnado a través de su experiencia con el medio *antes* de la escuela, y *misconceptions*, o ideas fruto de la interpretación errónea, por parte de los estudiantes, de la información científica *después* de ser expuestos a ella.

- 3) ***Misconceptions enseñadas-y-aprendidas***, que se refieren a “hechos” no científicos que han sido enseñados - y consecuentemente aprendidos - de manera informal a través de familiares o amigos, o a partir de los medios de comunicación o de la ficción, en películas, libros o dibujos animados.

Existe una elevada presencia en la literatura, el cine o la televisión de temas y conceptos estrechamente vinculados con el modelo de evolución (Calonge y López, 2005; Cañal, 2009; Grau y De Manuel, 2002). Por ejemplo, los

dinosaurios en *Jurassic Park* y *Jurassic World*, *El viaje de Arlo...*; la mutación en *X-men*, *Hulk* o *Spiderman*; y la evolución de los pokémon en *Pokémon* o las “digievoluciones” de los digimones en *Digimon*.

Y también muchas veces se enseñan de manera formal a través de la escuela en los primeros años, cuando la propia instrucción trabaja este tema de modo superficial y simplista (Banet y Ayuso, 1998; Donnelly y Akerson, 2008).

- 4) **Misconceptions vernaculares**, esto es, relacionadas con la diferencia de uso o significado que se asigna a determinados términos en el lenguaje cotidiano, incluyendo los medios de comunicación, frente al lenguaje científico; por ejemplo, “teoría”, “adaptación”, “competencia”, “resistencia”, “desarrollo” o “evolución”, entre otros muchos que podemos encontrar en la extensa relación realizada por Pobiner (2016).

A ello habría que sumar cómo se presentan estos conceptos en los libros de texto (Bugallo, 1995), donde a menudo se recogen de forma ambigua o incorrecta (Cho, Kahle y Nordland, 1985; Jiménez-Aleixandre, 1994; Jiménez-Tejada, González García y Hódar, 2002), o la falta de consistencia en su uso por parte del profesorado (Nehm, Rector y Ha, 2010). Gregory (2009), por ejemplo, reclama cómo la expresión “supervivencia del más apto” para describir la selección natural puede resultar confuso y llevar a engaño. Incluso el modo en que se formulan las preguntas puede incidir en el tipo de razonamiento que los estudiantes ponen en marcha, más teleológico o causal (Halls, Ainsworth y Oliver, 2018).

- 5) **Misconceptions relacionadas con la religión y la mitología**, que son fruto de la transposición de nociones religiosas y mitológicas al ámbito científico, donde dejan de tener validez. Recordemos que ya durante la infancia se producen los primeros contactos con narraciones mágico-religiosas (Cañal, 2009; González-Galli, 2011) y que este tipo explicaciones sobrenaturales, lejos de ser temporales y transitorias, suelen pervivir en el tiempo y terminar coexistiendo con las científicas durante la etapa adulta (Legare, Evans, Rosengren y Harris, 2012). De ahí la conveniencia y la importancia de que los estudiantes tengan acceso también, al mismo tiempo, a explicaciones racionales (Cañal, 2009).

Recogiendo las aportaciones de diversos estudios hemos detallado en la siguiente tabla (Tabla 4) algunas de las principales *misconceptions* que aparecen en el alumnado desde educación primaria hasta la universidad (y aún más adelante):

Tabla 4. Selección ampliada de *misconceptions* sobre evolución biológica, a partir de Smith (2010), siguiendo la clasificación sugerida por Alters y Nelson (2002)

<b>1. <i>Misconceptions</i> derivadas de la experiencia</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La evolución no es un proceso dinámico sino una serie de eventos discretos (Evans, 2008)</li> <li>- Los seres vivos surgen por generación espontánea (Cañal, 2009)</li> <li>- La evolución solo se produce lenta y gradualmente (Plataforma <i>Understanding evolution</i> del Museo de Paleontología de la Universidad de California, 2012)</li> <li>- Al producirse de manera tan lenta, los seres humanos no podemos influir sobre ella. (<i>Understanding evolution</i>, 2012)</li> <li>- Las especies son entidades naturales en sí mismas, claramente definidas, por lo que pueden ser reconocidas de manera unívoca e inequívoca por cualquier persona. (<i>Understanding evolution</i>, 2012)</li> <li>- Todos los trazos de los organismos son adaptaciones (<i>Understanding evolution</i>, 2012)</li> <li>- La función hace al órgano (Cañal, 2009) (también por lenguaje teleológico)</li> <li>- En términos de aptitud biológica, las mutaciones son siempre desfavorables (Cho <i>et al.</i>, 1985)</li> <li>- Los progenitores no transmiten la misma cantidad de información hereditaria a sus descendientes (Wood-Robinson, 1994) o solo se transmite la que es más “fuerte”, en el sentido de “dominante” (Banet y Ayuso, 1998).</li> <li>- Las plantas no tienen reproducción sexual (Ramorogo y Wood-Robinson 1995)</li> <li>- Los seres humanos han parado de evolucionar (<i>Understanding evolution</i>, 2012)</li> </ul>
<b>2. <i>Misconceptions</i> construidas por uno mismo</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- La evolución se produce por necesidad (Alters y Nelson, 2002; Bizzo, 1994; Deadman y Kelly, 1978; Hackling y Treagust, 1984)</li> <li>- La especie/población al completo se transforma en respuesta a la necesidad (Gregory, 2009; García-Barros, Tiburzi y Martínez-Losada, 2009)</li> <li>- La evolución es sinónimo de progreso, es decir, los organismos mejoran constantemente a través del proceso evolutivo (Grau y De Manuel, 2002)</li> <li>- La evolución implica un esfuerzo intencional hacia formas superiores (Alters y Nelson, 2002; Evans, 2008)</li> <li>- Los nuevos tipos de rasgos que surgen están determinados por el medio (Gregory, 2009)</li> <li>- Todos los individuos que conforman una especie y/o población son iguales, es decir, no existe (o casi) variación intraespecífica (Andersson y Wallin, 2006; Ramorogo y Wood-Robinson, 1995; Prinou <i>et al.</i>, 2008)</li> <li>- Las nuevas especies aparecen por la combinación de otras dos (Ayuso y Banet, 2002) (también por influencia de medios y narraciones mágico-religiosas)</li> <li>- La deriva genética consiste en un cambio gradual de la información genética o bien en el traspaso de información genética de una población a otra, de un ambiente a otro (Andrews <i>et al.</i>, 2012)</li> <li>- Las especies consiguen nuevos rasgos a través de la selección natural pero los pierden por desuso (Ha y Nehm, 2014).</li> <li>- Solo las células sexuales contienen información hereditaria/Todas las células contienen información hereditaria pero solo sobre su función (Banet y Ayuso 1998)</li> </ul>
<b>3. <i>Misconceptions</i> enseñadas-y-aprendidas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hace falta que se produzca un cambio climático drástico para que tenga lugar la evolución (Nehm y Reilly, 2007)</li> <li>- La selección natural implica que los organismos tratan de adaptarse al medio en que viven</li> </ul>



<p>(Alters y Nelson, 2002; Andersson y Wallin 2006; <i>Understanding Evolution</i>, 2012).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Los caracteres adquiridos, sea por uso/desuso o por necesidad, son heredables (Alters y Nelson, 2002; Jiménez-Aleixandre, 1990; Cañal, 2008).</li> <li>- Los genes son exclusivos de los seres humanos y de algunos otros animales (Banet y Ayuso, 1998).</li> <li>- La mutación es cualquier cambio que tiene lugar en el organismo (Albadalejo y Lucas, 1988) para sobrevivir a los cambios del medio (Jensen y Finley, 1995)</li> <li>- La deriva genética se produce cuando no se puede producir selección natural o esta no está actuando (Andrews <i>et al.</i>, 2012)</li> <li>- El ser humano desciende del mono (Cañal, 2008)</li> <li>- Los seres humanos convivieron con los dinosaurios (Calonge y López, 2005; Prinou <i>et al.</i>, 2008)</li> </ul>
<p><b>4. Misconceptions vernaculares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La evolución es “solo” una teoría (Alters y Nelson 2002; Prinou <i>et al.</i>, 2008).</li> <li>- La adaptación/evolución se produce a nivel individual y durante el transcurso de la vida del individuo (Alters y Nelson, 2002) o bien se produce simultáneamente en todos los individuos de esa especie o población en particular (Bishop y Anderson, 1990; Lombrozo, Shtulman y Weisberg, 2006; Prinou <i>et al.</i>, 2008; Gregory, 2009).</li> <li>- Los seres vivos son capaces de desarrollar (por esfuerzo, conscientemente) las características más adecuadas para adaptarse al medio (Grau y De Manuel, 2002; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2009; Cañal 2008)</li> <li>- La aptitud en términos evolutivos se refiere a la salud, fuerza, inteligencia de un organismo (Alters y Nelson, 2002), tamaño y/o rapidez (<i>Understanding evolution</i>, 2012)</li> <li>- “Apto” se asocia a “dominante” y “no apto” a “recesivo” (Nehm y Reilly, 2007)</li> </ul>
<p><b>5. Misconceptions relacionadas con la religión y la mitología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Las especies no descienden de un ancestro común ni de especies anteriores (Alters y Nelson, 2002)</li> <li>- La aparición y/o extinción de especies se produce por la intervención de un ente superior (Banet y Ayuso 2003; Gregory, 2009)</li> <li>- La evolución propone que las especies actuales (p.ej. seres humanos) surgieron a partir de otras especies actuales (p.ej. gorilas, chimpancés, etc.) (Alters y Nelson, 2002)</li> <li>- Hay muy pocos (o ningún) fósiles intermedios (eslabones perdidos), especialmente en el caso de los seres humanos y de especies intermedias de especies actuales (Nehm y Schonfeld, 2007)</li> <li>- El ser humano ocupa la cúspide de la evolución (Grau y De Manuel, 2002; Cañal 2008).</li> <li>- La evolución se ha producido para originar a los seres humanos (Jiménez-Aleixandre, 1990).</li> </ul>

Por lo tanto, en la creación y desarrollo de estas ideas van a intervenir múltiples factores, entre ellos, la propia forma de razonamiento de los estudiantes, el contexto sociocultural en el que crecen, el uso que se hace de ciertos términos en el lenguaje cotidiano o el bombardeo constante de información desde los medios de comunicación. Entre todas ellas, nos gustaría dedicar una especial atención a la noción de la evolución como “una simple teoría”, dado que tiene que ver, ya no con este contenido en particular, sino con la conceptualización de la Naturaleza de la Ciencia en general, que va a jugar un papel crucial en la comprensión y aceptación de esta teoría (Lombrozo, Thanukos y Weisberg, 2008).

Derivado del uso coloquial del término “teoría”, se asume que la teoría evolutiva tiene un carácter hipotético y no probado, es decir, que carece de datos que la apoyen (Gregory, 2008); se entiende como un “hecho imperfecto” (Gould, 1981). Sin embargo, que la evolución es una teoría en el sentido propiamente científico significa que hay un hecho evolutivo para ser explicado y un mecanismo bien fundamentado para explicarlo.

En el caso de la evolución, la principal contribución de Darwin a este tema no fue introducir la idea, sino ensamblar un conjunto masivo de datos para apoyar lo que llamaba “descendientes con modificación”. Establecer el hecho de la evolución sólo fue la mitad de su objetivo; también quería proponer un mecanismo que explicara este hecho, su teoría de la evolución por selección natural (Gregory, 2008).

Al mismo tiempo, trabajar la NdC servirá para aclarar el significado de los términos “hecho”, “hipótesis”, “prueba” y “modelo” desde un marco científico.

Por otra parte, las dificultades para construir efectivamente el modelo de evolución no se limitan al ámbito de la Ciencia. Uno de los grandes obstáculos para entender cómo se produce la evolución de las especies tiene que ver con la Matemática y el pensamiento probabilístico (Nadelson, 2009): un inadecuado desarrollo o aplicación de este, así como una mala conceptualización de la noción de “probabilidad” va a impedir que se comprendan los cambios en la distribución y la frecuencia de un determinado rasgo dentro de una población con el paso de las generaciones.

Finalmente, es destacable la variación que a lo largo de los años se va produciendo desde esas primeras ideas construidas por sí mismos, hasta aquella más influenciadas por la educación y el entorno socio-cultural, pero en todos los casos lejos de una comprensión clara de la teoría sintética. Si bien en los primeros años de escolaridad los niños y niñas poseen ideas más próximas al generacionismo y al creacionismo, a partir de los 10-11 años comienzan a inclinarse por ideas evolucionistas (Evans, 2000).

Observando su origen comprendemos el hecho de considerar esas explicaciones como intuitivas, ingenuas y sesgadas, generadas en su mayoría durante la infancia (Gregory, 2009) y, con frecuencia, reforzadas por una enseñanza poco rigurosa de la teoría evolutiva. Incluso, cuando el tratamiento educativo del tema es el adecuado, hay una cualidad de estas concepciones, su resistencia, que las mantendrá aún después de la

instrucción (Banet y Ayuso, 1998; Hermann, 2011; Nadelson, 2009; Yates y Marek, 2015), volviéndose un obstáculo que seguiremos encontrando con el paso de los años.

Un ejemplo es que desde pequeños hacemos una primera diferenciación ontológica entre “seres vivos” (seres humanos incluidos) y “seres no vivos”, o inertes, (incluyendo entre estos los artefactos construidos por los seres humanos), lo que nos lleva a asignar a cada categoría unos u otros atributos. Esta primera distinción, absolutamente clave a la hora de empezar a estructurar nuestro conocimiento sobre los seres vivos, también puede generar dificultades en función de lo precisa y acertada que sea. Así, uno de los primeros rasgos que solemos asociar a los seres vivos es la capacidad de movimiento, lo que nos impedirá concebir las plantas como seres vivos y así poder razonar sobre ellas de manera efectiva (Martí, 2012). Y, sin embargo, muchos temas de genética se abordan a través de las plantas, como las Leyes de Mendel (Banet y Ayuso, 1998).

Ese aprendizaje/conocimiento ingenuo de la Biología, o *naïve biology* como lo denominan, presenta grandes debilidades (Inagaki y Hatano, 2013):

- a) un limitado conocimiento factual, esto es, un repertorio muy reducido, en cantidad y variedad, sobre entidades y procesos biológicos;
- b) una limitada capacidad para aplicar el razonamiento biológico a las distintas clases de fenómenos biológicos, que los lleva a centrarse en aspectos como la alimentación, el estar fuerte y saludable o el crecimiento, obviando otros igualmente relevantes, como la reproducción;
- c) falta de inferencias basadas en categorías biológicas cada vez más organizadas, jerarquizadas y complejas;
- d) ausencia del pensamiento mecánico-causal característico del pensamiento experto;
- e) falta de ciertos sistemas conceptuales, como “evolución” o “fotosíntesis”.

Mientras que los dos primeros se superan durante el inicio de la escolaridad a través de la simple incorporación de nueva información, y los dos siguientes a través de un cambio conceptual espontáneo en el que se produce cierto grado de reestructuración (no llega solo con añadir información, como sucedía con las dos primeras), el último requiere de un cambio conceptual intencional, basado en la instrucción. De otro modo, es poco probable que lo lleguen a adquirir.

Esta forma ingenua de aproximarnos a la realidad y pensar sobre ella puede suponer un obstáculo al aprendizaje del modelo de evolución:

- **Antropomorfismo o personificación**

Consiste en extender lo que saben sobre el ser humano (propiedades, comportamientos, emociones) a cualquier ser vivo, en una suerte de razonamiento analógico que toma como referencia nuestra propia especie (Carey, 1985). Ahora bien, el uso (o abuso) que se haga de esta forma de razonamiento va a depender en gran medida de: 1) lo familiarizados que estén niños y niñas con una amplia diversidad de organismos vivos y 2) la propia consideración que exista en el contexto sociocultural en que se crían esos niños y niñas sobre la situación de los seres humanos en relación con el resto de los seres vivos (Medin, Waxman, Woodring y Washinawatok, 2010). Así, en nuestro contexto, como apunta Martí (2012), es muy probable que nos encontremos razonamientos dominados por la personificación.

Está íntimamente relacionado con la intencionalidad (los seres humanos normalmente se comportan de un modo u otro, construyen esto o lo otro, por alguna razón) y es el razonamiento tras el Diseño Inteligente: “algo tan perfecto debe tener un creador supernatural” (Evans, 2013). De ahí que el creacionismo, a diferencia del evolucionismo, resulte mucho más atractivo y fácil de asimilar.

- **Vitalismo**

De acuerdo con Inagaki y Hatano (2004), consiste en suponer que los organismos disponen de una fuerza o poder vital que obtienen de los alimentos y que juega un papel central en su crecimiento, actividad diaria y enfermedad, como “una sustancia, energía o información no especificada que sirve para mantenerse y mantener la vida”.

Estos autores (2002) explican que este vitalismo sería producto de la integración de varias creencias: 1) la existencia de un poder vital que se toma del exterior; 2) es esencial e imprescindible; 3) no todos los alimentos contienen el mismo poder vital (esta asociación a los alimentos hace difícil comprender procesos como la respiración en la nutrición); 4) el crecimiento consiste en un exceso de poder vital; 5) la cantidad de poder vital guarda una relación proporcional con la enfermedad y la recuperación, aunque también reconocen la influencia de factores sociales y psicológicos en el estado de salud.

- **Teleología**

Se refiere a la tendencia – excesiva, de ahí que se hable de “teleología promiscua” (Kelemen, 2012) – de los niños y niñas a encontrar una finalidad a la existencia o actuación de cualquier entidad, lo que supone reconocerle a todos los seres vivos una cierta capacidad consciente o bien la existencia de un pulso interior o entidad sobrenatural que lo dirija todo (Martí, 2012). En realidad, esta forma de razonamiento no supone un problema en sí misma. De hecho, resulta muy útil a la hora de diferenciar entre seres vivos y no vivos, un punto importante para nuestra supervivencia por cuanto pueda suponer alimento, refugio o peligro (Evans, 2013). Igualmente, aparece de manera constante no solo en el ámbito cotidiano, donde muchas cosas son “para” algo, sino también en el contexto científico y escolar, por ejemplo, al explicar las relaciones fisiológico-anatómicas de un determinado órgano, aparato o extremidad, ya sea en el aula, en un texto de divulgación científica o en un documental de televisión.

El problema surge cuando se aplica al modelo de evolución, particularmente en relación con los conceptos de adaptación y selección natural (Kelemen, 2012). Por un lado, conduce a interpretar el fenómeno evolutivo desde un punto de vista exclusivamente funcional. Es decir, se asume que cualquier rasgo tiene una función específica que ha contribuido a la adaptación del ser vivo al medio, cuando en realidad los rasgos aparecen y desaparecen por razones muy variadas.

Por el otro, refleja una mala comprensión del proceso de selección natural, que se concibe como:

- 1) *Basic function-based*: justifican la presencia o ausencia de cada rasgo en términos de funcionalidad en el momento presente: “las jirafas tienen el cuello largo para así alcanzar las hojas más altas”.
- 2) *Basic need-based*: justifican la aparición o desaparición de rasgos en base a necesidades pasadas o presentes, obviando la existencia de cualquier mecanismo causal que produzca ese cambio. En consecuencia, se entiende que la sola aparición de una necesidad va a desencadenar la aparición de un rasgo, hereditable además, que la supla: “las jirafas desarrollaron cuellos largos porque los necesitaban para alcanzar las hojas más altas”.

3) *Elaborated need-based*: mantiene la idea de necesidad, pero incorpora nociones relacionadas con la existencia de algún mecanismo (esfuerzo, diseño) que genera el cambio. Incluye:

- El razonamiento basado en el esfuerzo, según el cual los seres vivos poseen una capacidad intrínseca para modificar sus rasgos (y hacerlos heredables) a voluntad: “las jirafas lograron tener cuellos largos a partir de alargarlos una y otra vez para alcanzar las hojas más altas”.
- El razonamiento basado en el diseño, según el cual un agente, léase “Madre Naturaleza” o la “Evolución” (como ente abstracto), responde a las necesidades del organismo dotándolo de aquellas características que contribuirán a su supervivencia: “las jirafas tienen el cuello largo porque la Naturaleza los transformó, los adaptó, hizo que evolucionaran para que pudieran alcanzar las hojas más altas”.

Así pues, tanto en la *basic need-based* como en la *elaborated need-based*, la adaptación es el resultado de un proceso transformista que tiene lugar durante la vida de un individuo y donde los rasgos adquiridos son heredables por la descendencia, lo cual supone un problema para asumir la noción de variabilidad necesaria para interpretar correctamente el fenómeno de selección natural. Constituyen el razonamiento que subyace a la aparición y desaparición de rasgos por uso y desuso y a la herencia de caracteres adquiridos que defendía Lamarck, amén de otros naturalistas de la época, Darwin incluido, dependiendo de qué caso estuviera tratando de explicar, como han puesto de manifiesto Ha y Nehm (2014). Ahora bien, no deben establecerse comparaciones simplistas entre estos naturalistas y los estudiantes modernos, como advierten estos autores, ya que unos y otros parten de situaciones, objetivos y marcos teóricos completamente diferentes.

En conclusión, el problema con la naturaleza teleológica de nuestro pensamiento no tiene tanto que ver con su existencia como con su uso excesivamente generalizado: según González-Galli y Meinardi (2011), la diferencia está en que mientras los docentes y los científicos y científicas lo emplean en el marco darwinista, el alumnado lo utiliza en un marco teórico completamente diferente, que es lo que hace difícil su tratamiento educativo. Por esta razón, Zohar y Ginossar (1998) insisten en la necesidad de clarificar en qué momento usar una u otra noción.

- **Esencialismo**

Gelman (2003) define el esencialismo como la creencia de que cada categoría tiene una suerte de realidad subyacente o “verdadera naturaleza” que, puede que no sea observable a simple vista, pero está ahí y le confiere a esa entidad su identidad, así como las propiedades que explican que pertenezca a dicha categoría. Se trata de un sesgo cognitivo que aparece ya en la más tierna infancia y si bien esta forma de razonamiento es bastante débil entre los 4 y los 5 años, a los 10 aparece completamente consolidado.

Nuevamente, esta forma de pensamiento por la cual los seres vivos son estables, independientes e inmutables resulta muy útil para el razonamiento cotidiano, pero choca de frente con el pensamiento evolutivo, en el que los seres vivos se encuentran en constante cambio (Evans, 2013). Precisamente, Gelman y Rhodes (2012) analizan hasta cinco formas en las que el esencialismo supone un obstáculo para el pensamiento evolutivo:

### **1) La noción de estabilidad e inmutabilidad**

Surge a muy temprana edad y resulta válida y productiva para una buena parte del pensamiento científico; por ejemplo, cuando los niños son capaces de asumir la idea de que un tigre es y seguirá siendo un tigre independientemente de los cambios físicos que le puedan acontecer. El problema viene cuando la evolución se sustenta precisamente en la idea de que las especies cambian a lo largo del tiempo, pero los niños consideran que una especie es la misma especie siempre y rechazan la idea de que haya una especie primera (un tigre primitivo del que vendrían los demás tigres), porque esa especie es *esa* especie pase lo que pase.

De admitirse la posibilidad de la evolución, esta se producirá justamente a nivel de esencia de esa especie en su conjunto, en lugar de entender que los cambios tienen lugar en los individuos que pertenecen a la especie (Shtulman y Schulz, 2008).

### **2) La intensificación de la delimitación**

Los niños de 4-5 años razonan de manera diferente si se trata de animales que si se trata de artefactos. Para los animales se establece una delimitación muy clara,

es decir, son categorías naturales absolutas y objetivas a las que se pertenece o no se pertenece. En cambio, para los artefactos sí que se admiten gradaciones, de suerte que algo puede pertenecer a una o varias subcategorías al mismo tiempo. Sin embargo, la evolución trabaja con proporciones y límites más bien difusos, en los que aparecen estados intermedios.

### **3) Subestimación de la variabilidad**

En el esencialismo, las categorías tienden a ser vistas, sobre todo en los niños más pequeños, como homogéneas, de manera que se da más relevancia al “prototipo” (al pensar en un ave, pensar en un pajarillo) que a los casos atípicos (al pensar en un ave, pensar en un pingüino), una tendencia que se ve reforzada por el propio uso del lenguaje, en el que es habitual recurrir a la generalización.

Esto conduce a subestimar la variabilidad intra-específica de una categoría, al tiempo que se exagera la inter-específica, entre categorías diferentes. De acuerdo con esta noción, la variabilidad no existe o bien se limita a aspectos superficiales. Así, es fácil sacar la conclusión de que dos personas de la misma “raza” (léase como etnia, ya que biológicamente no se sostiene el término de raza aplicado a la especie humana (Templeton, 2013), siempre van a ser genéticamente más parecidas entre sí que a una persona de otra “raza”.

### **4) Las causas son inherentes al individuo**

Al entender que la esencia, que es inherente a cada individuo, es la responsable de que ese individuo pertenezca a la categoría que pertenece y sea como es (o como puede llegar a ser), el cambio se explica desde procesos más bien individuales (como la necesidad o el esfuerzo), en lugar de con presiones poblacionales (selección natural). Lo que es más, se concede un papel secundario a la influencia del ambiente y pasa a trabajarse en una escala de tiempo de una vida en lugar de por generaciones. Esto hace que aquellos cambios que sean más significativos sean concebidos simplemente como imposibles.

### **5) La noción platónica de la esencia ideal**



Aparte de la noción más causal de esencia, como responsable de que un miembro de una categoría sea como es, también está la noción platónica de esencia como “ideal”, como epítome, y que sería la que conduce a asociar (erróneamente) evolución con progreso, con constante mejora. Según esta noción, las especies tienen formas ideales, hacia las que se encamina la evolución.

En definitiva, lo que hace tan complicado aprender, comprender y aceptar la evolución darwinista es justamente esta forma de pensar, fruto del “sentido común”, además de la incomodidad que genera acerca de nuestra posición como seres humanos en el mundo natural (Evans, 2013).

### 2.3.3. La enseñanza y el aprendizaje del modelo de evolución en educación primaria

Todo lo anteriormente mencionado explica por qué muchos especialistas insisten en la necesidad de comenzar a construir el modelo de evolución cuanto antes, en educación primaria o incluso en educación infantil. Después de todo, las experiencias que niños y niñas tienen antes de la enseñanza formal de la evolución pueden resultar tan determinantes, o más, que cómo se imparta su enseñanza o el enfoque que adopte el profesorado para abordarla (Hermann, 2011), hasta el punto de llegar a imposibilitar que los estudiantes alcancen una comprensión profunda y adecuada del fenómeno evolutivo en etapas posteriores. Por lo tanto, cuanto antes estas preconcepciones se vean desafiadas, más efectiva resultará la intervención educativa (Kampourakis y Zogda, 2009).

Además debemos recordar el bombardeo constante al que están sometidos desde los medios de comunicación sobre cuestiones de actualidad, y de gran repercusión social, relacionadas con la evolución, pero que no acaban de comprender: alimentos genéticamente modificados, obtención de fármacos por ingeniería genética, problemas de fertilidad, tratamiento de enfermedades hereditarias, clonación, “niños a la carta”, resistencia a insecticidas y antibióticos, vacunación, lucha contra plagas... (Banet y Ayuso, 1998; Jiménez-Aleixandre, 2003).

Numerosos especialistas se han mostrado partidarios de incluir tempranamente la evolución en la enseñanza, y no por razón de las posibles concepciones alternativas, sino por la centralidad que representan dentro de las ciencias biológicas. A este

respecto, Cañal (2009, p. 76) considera que, “desde una perspectiva didáctica, resulta indiscutible la conveniencia de una construcción temprana y sólida de los conocimientos más elementales relacionados con la evolución de los seres vivos y la Tierra, independientemente de la presencia o no de concepciones alternativas”. A su modo de ver, el enfoque evolutivo aporta un andamiaje cognitivo específico vital para la organización coherente y significativa del conocimiento sobre los seres vivos. Esta idea es compartida por Fail (2008), que entiende que es justamente en educación primaria donde la noción de Dobzhansky cobra sentido realmente, por ser en esta etapa en la que se sientan las bases del conocimiento científico. Como apuntan Nelson y Landell (2007), raramente los estudiantes que empiezan a estudiar ciencias en educación secundaria consiguen alcanzar los mismos objetivos de aprendizaje que aquellos otros que han venido desarrollando una sólida base científica durante la educación primaria.

Si los especialistas apuntan esta inclusión, ¿qué es lo que ocurre? Cañal (2009) lo define como un conflicto con la teoría, un conflicto que pervive hasta nuestros días y que provoca tergiversación, falta de atención al tema o polemización. Y así, a pesar de su validez e incorporación al *curriculum* de países de referencia, hay etapas como Primaria e Infantil, donde se continúa excluyendo la evolución biológica, como pasa en España.

Sin embargo, el principal objetivo de la educación científica es formar ciudadanos y ciudadanas competentes y científicamente alfabetizadas, es decir, capaces de tomar decisiones informadas sobre Ciencia y de participar responsable y activamente en la vida política y social de nuestro país, como vimos en el capítulo 1 del presente trabajo. Esto exige, y viene posibilitado a un mismo tiempo, por el diseño y desarrollo en aula de experiencias educativas significativas, valiosas, auténticas, donde se conjugue el estudio del conocimiento científico básico con la puesta en marcha de prácticas científicas y la discusión crítica de cuestiones sociocientíficas (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Ahora bien, siguiendo a Lehrer y Schauble (2012), comprender la teoría de la evolución, como familia de modelos que es, requiere comprender los modelos que lo subyacen, lo que a su vez exige ser capaz de (aprender a): 1) coordinar nuestro razonamiento a nivel de organismo (ser vivo) y población(es) con nuestro razonamiento sobre distribuciones y cambios en dichas distribuciones; y 2) evaluar simultáneamente

cuáles puedan ser los mecanismos que provocan dichos cambios. En palabras de estos autores, se trata de “sembrar el pensamiento evolutivo en el alumnado”, ya desde educación infantil y educación primaria, y para ello destacan el papel de tres modelos: *variabilidad, cambio y ecosistema*.

En cambio, McVaugh *et al.* (2011) consideran que hay cuatro *core areas*: *variación, selección, herencia y tiempo evolutivo*. Esta noción de tiempo evolutivo (Mestres y Arenas, 2005) también la encontramos en Pobiner (2016), que recoge hasta ocho *core building concepts*: *variación, diversidad, competición, supervivencia, adaptación, mutación, herencia y, de nuevo, tiempo evolutivo*; y en Andersson y Wallin (2006), que hablan de tiempo evolutivo, rol del azar, *variación de rasgos heredables, adaptación y acumulación, y selección natural ligado a diferencia en la tasa de supervivencia y diferencia en la tasa de reproducción*. De hecho, estas dos diferencias de tasa (en supervivencia y reproducción) constituyen *stepping-stones* en el paso del *need-based reasoning*, del pensamiento teleológico hacia la selección natural (Legare, Lane y Evans, 2013).

Por su parte, Catley (2006) pone el énfasis en la enseñanza-aprendizaje de la macroevolución, a menudo olvidada. Incide en la necesidad de abordar el concepto de *especie*, a la que considera unidad de la evolución, así como el proceso de especiación y la formación de grupos superiores, para lo que es indispensable el constructo de tiempo geológico y el pensamiento jerárquico, que permita moverse por los distintos niveles de organización escalar, desde el genoma hasta los clados, pasando por individuos y especies. Igualmente, en la propuesta de progresión de este autor, junto a Lehrer y Reiser (2005) se citan las siguientes *big ideas*: *diversidad, relación entre estructura y función, ecología/interrelaciones, variación, cambio y procesos geológicos*. Y sostiene la necesidad de tratarla junto con formas de argumentación y herramientas matemáticas, que consideran esenciales para desarrollar el pensamiento evolutivo.

Mientras, el Framework K-12 (NRC, 2012), se estructura en torno a las ideas (*component ideas*) de herencia de rasgos y *variación de rasgos, evidencia de ancestros comunes y diversidad, selección natural, adaptación, y biodiversidad y seres humanos*, en su *disciplinary core ideas* nº3, *Heredity: inheritance and variation of traits*, y nº4, *Biological evolution: Unity and Biodiversity*.

A la luz de todas estas aportaciones, el modelo de evolución primaria que proponemos desarrollar en aula constaría de siete *core ideas* (fig. 10), entendidas a su vez como modelos y que explicaremos en más detalle en el apartado 4.3:

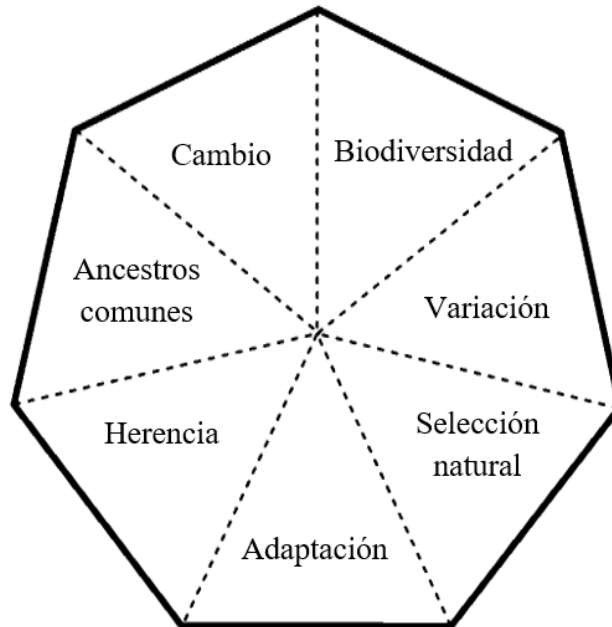


Figura 10. *Core ideas* del modelo de evolución para educación primaria.

#### Recomendaciones para enseñar la teoría de evolución biológica

Teniendo todo esto en cuenta, los distintos especialistas han formulado diversas recomendaciones para afrontar la construcción efectiva del modelo de evolución. Algunas son de carácter más genérico y bien podrían aplicarse a cualquier otro contenido; en cambio, otras son más específicas, relacionadas con los obstáculos que presenta este modelo científico en particular.

Uno de los primeros focos de atención, como hemos visto en el apartado anterior y en línea con la tradición constructivista, son las concepciones alternativas, que deberán hacerse explícitas y tomar como punto de partida sobre el que ir (re)construyendo el modelo, atendiendo asimismo a las formas de razonamiento de los estudiantes (Banet y Ayuso, 1998; Grau y De Manuel, 2002; Nelson, 2012).

Kampourakis y Zogda (2009) establecen además dos condiciones fundamentales para poder superarlas: por un lado, los estudiantes deben aprender aquellos conceptos biológicos básicos para entender procesos complejos como la selección natural; por el otro, debemos proveer a los estudiantes de situaciones que les generen un verdadero

conflicto cognitivo, que desafíe componentes estructurales de su modelo mental inicial y los predisponga así al cambio conceptual.

Así, para hacer frente al (sobreuso del) pensamiento teleológico, estos autores proponen abordar la noción de contingencia (entendida como incertidumbre) inherente al propio proceso evolutivo, tanto en su sentido más azaroso e imprevisible, como son las mutaciones, como con su sentido de dependencia del ambiente, íntimamente ligado a la selección natural (Beatty, 2006, en Kampourakis y Zogda, 2009). Igualmente, Martí (2012) sugiere que para superar la visión vitalista prestemos una mayor atención a los procesos fisiológicos y menos a la anatomía.

Por su parte, Ha y Nehm (2014) recuerdan cómo el razonamiento evolutivo está ligado al contexto y cómo ciertos fenómenos biológicos son particularmente difíciles de asimilar; por ejemplo, la pérdida de rasgos. Por eso recomiendan incidir en el carácter transversal de los mecanismos evolutivos, con independencia del caso que estemos trabajando, así como presentar casos de diferentes seres vivos y compararlos.

En primer lugar, porque suele ser más difícil comprender su funcionamiento en plantas que en animales, como ya comentamos en el apartado anterior. En segundo lugar, porque acostumbran a presentarse por separado, reforzando quizás la idea de que dicha separación es científicamente significativa. Por último, porque el pensamiento evolutivo no se transfiere con facilidad de un taxón, trazo y/o patrón a otro. En este sentido, también es importante destacar la necesidad de moverse entre niveles de organización escalar, es decir, desde lo micro (p.ej. alelos) a lo macro (p.ej. especies) y viceversa (Kampourakis y Zogda, 2009).

En esta línea, Ayuso y Banet (2002) recomiendan dar primero genética y justo a continuación enseñar evolución, estableciendo conexiones evidentes entre una y otra. Durante el aprendizaje de la genética habrá de clarificarse el concepto de mutación, incidiendo en su carácter azaroso y aparición espontánea. También habrá que resaltar la importancia de la variación intraespecífica; esto requerirá construir adecuadamente el concepto de especie y reforzar el papel que juega la reproducción sexual en la variabilidad de la descendencia, limitando la diferencia entre mitosis a formación de nuevas células idénticas a la madre y meiosis a formación de gametos desiguales, dejando las fases para los niveles más altos (Bachillerato en adelante). Andersson y

Wallin (2006) aconsejan además encontrar algún modo de hacer más tangible y concreto el tiempo evolutivo.

Igualmente, Roldán Muñoz (2008), al hilo de su propuesta didáctica, hace algunas recomendaciones específicas para algunos conceptos clave en el modelo de evolución, concretamente descendencia, cambio genético, azar, adaptación y selección natural. Por ejemplo, para el caso del “cambio genético”, habrá de diferenciarse el producido por las mutaciones del generado por la reproducción sexual, aprovechando la ocasión para mostrar cómo los organismos asexuales también evolucionan. En el caso de la pérdida de rasgos deberemos insistir además en cómo está presente a lo largo de todo el árbol de la vida, cómo se produce y por qué, anticipando estrategias que puedan contrarrestar los argumentos de uso y desuso que es probable que aparezcan (Ha y Nehm, 2014).

Es por ello que Moreno, Zuñiga, Cofré y Merino (2018) consideran clave la capacidad del profesorado para anticiparse, y responder efectivamente, a las posibles preguntas e inquietudes que pueda formular el alumnado durante el transcurso de cada sesión y de la propuesta en su conjunto. Si bien trataremos este punto con más detenimiento en el siguiente apartado, compartimos el énfasis que ponen estos autores en la ejecución de una buena planificación que, además de tener en cuenta las concepciones alternativas de los estudiantes al inicio de la propuesta, incluya actividades de cierre, como un diálogo dirigido, preguntas guiadas, ticket de salida, debates breves, etc.

Así pues, la metodología se erige como un elemento decisivo dentro del proceso de enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución. No solo influirá en el grado de motivación del alumnado, de por sí ya muy interesado en este tema, sino también, y sobre todo, en que el aprendizaje sea verdaderamente significativo, en oposición a aquel más memorístico – y, paradójicamente, más olvidadizo – que suele promover el empleo exclusivo del libro de texto (Calonge y López, 2005).

Se debe recurrir a enfoques metodológicos fuera de lo usual (Cañal, 2009), que ayuden (enseñen) al alumnado a plantearse preguntas significativas (Caballer, Giménez y Madrid, 2002) y donde aprendan “haciendo ciencia” (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000). Se habrá de emplear además una gran variedad de recursos, desde explicaciones en gran grupo, lecturas, analogías, ilustraciones, ejemplos, diálogos que aporten nuevos elementos para la reflexión y discusión (Grau y De Manuel, 2002;

Chanet y Lusignan, 2009), juegos didácticos (Campos y Sà-Pinto, 2013; Campos, Vieira da Almeida y Araújo, 2018), narraciones (Cuvi, Georgii, Guarderas y Arce, 2013; Emmons, Smith y Kelemen, 2016), hasta los museos (De la Rubia y Hernández, 2010) y la Historia de la Ciencia (Torreblanca *et al.*, 2009).

Sobre todo, debe partirse de problemas auténticos (Jiménez-Aleixandre, 1998) y situaciones derivadas de su experiencia diaria, tomando como ejemplo preferente el ser humano (Ayuso y Banet, 2002); Banet y Ayuso, 2003; Grau y De Manuel, 2002; Jiménez-Tejada *et al.*, 2002; Salgado de Matos y Silva, 2009; Nettle, 2010; Nelson, 2012). Como apuntan Domènech y Lope (2009), es esencial favorecer una visión menos dogmática de la evolución, que permita desechar el modelo de ciencia informativa desvinculada de cualquier aspecto emocional, social y problemático. Pobiner (2016) presenta una larga lista de posibles temáticas para promover una visión más contextualizada y próxima: la evolución de la adaptación a las grandes alturas o la tolerancia a la lactosa, la evolución del color de piel, el rol de los genes en el comportamiento humano, la resistencia a los antibióticos, la vacunación, el uso de pruebas como el ADN en la ciencia forense y criminalística, el origen de enfermedades y condiciones genéticas como la malaria o la anemia falciforme...

Y ya hablando de problemas auténticos, hablemos de ciencia real. Recordemos que es imprescindible trabajar explícitamente y en profundidad la Naturaleza de la Ciencia. En este sentido, el modelo de evolución ofrece muchas oportunidades de abordarla (Moreno *et al.*, 2018), tanto desde su componente social como racional (Fuselier, Jackson y Stoiko, 2015). Por ejemplo, a través de la biografía de Darwin o de la repercusión de la publicación de *El Origen de las Especies*, u observando cómo ha cambiado el propio estudio de la selección sexual a partir de las críticas a su androcentrismo inicial (Fuselier *et al.*, 2015).

Igualmente, como ya adelantamos en un apartado anterior, para poder comprender (y aceptar) la evolución es fundamental entender cómo y por qué una teoría científica llega a validarse y consolidarse, así como asumir que, a la luz de nuevos hallazgos o formas de interpretación, pueda sufrir cambios sin que por ello sea descartada o derive necesariamente en una nueva ley (Lombrozo *et al.*, 2008; Akyol, Tekkaya, Sungur y Traynor, 2012). Esta tarea debe abordarse además desde el principio, pues durante la educación primaria los estudiantes aún se encuentran desarrollando su forma de conocer

el mundo y tienen dificultades para distinguir entre saber y creer y, en consecuencia, entre ciencia y no ciencia (Hermann, 2011).

Por esta razón resulta fundamental abordar en profundidad el trabajo con las pruebas de la evolución. Además de jugar un papel fundamental en el desarrollo de la competencia científica, el uso de pruebas sirve, sobre todo, para respaldar su validez frente a la falacia de ser “una simple teoría”. Ayudan al alumnado a ver la evolución como realmente es: “un proceso actual que guarda relación con su vida diaria y no como una mera teoría de la época de Darwin que explica fenómenos del pasado remoto” (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2009, p. 44).

No estamos hablando de conocer el listado de pruebas que la sustentan, sino de entender su importancia en el proceso de creación y consolidación de la teoría. No basta, pues, con su simple presentación, como reclaman Chinn y Buckland (2012), sino que requieren de un trabajo específico que permita a los estudiantes comprender por qué son pruebas de la evolución. Se trata de un cambio conceptual a dos niveles: el de contenido, por el que aprenden sobre el propio fenómeno evolutivo y la Naturaleza de la Ciencia, y el de las prácticas epistémicas, por el que aprenden a coordinar la teoría con las pruebas existentes. Por eso consideran que los enfoques metodológicos basados en el uso de modelos y/o en modelización (como su propuesta PRACCIS, *Promoting Reasoning and Conceptual Change In Science*) resultan especialmente productivos para la enseñanza-aprendizaje de la evolución biológica, porque exigen al alumnado la (re)construcción de explicaciones a la luz de los datos disponibles, de forma argumentada y justificada; estableciendo además sus propios criterios para evaluar la validez del modelo seleccionado (Pluta, Chinn y Duncan, 2011). Lo que se pretende en última instancia es hacer reflexionar al alumnado sobre cómo sabemos lo que sabemos y cómo las pruebas pueden dar lugar a unas conclusiones u otras en función del marco teórico, o “lente”, desde el que se lean (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Además, señalan estas autoras, posibilita que los estudiantes puedan valorar críticamente afirmaciones fundamentalistas y carentes de rigor científico, que se pueden encontrar fácilmente al navegar por Internet, en los medios de comunicación o incluso en algunos textos. En esta línea podríamos situar la iniciativa “Interroga a un cristiano”, que encontramos hoy en día en muchas universidades españolas y en la que, al



responder desde un prisma religioso, se acaban poniendo en tela de juicio numerosas cuestiones científicas, entre ellas, la evolución.

En resumen, a la hora de llevar el modelo de evolución al aula, habremos de (Beardsley, Bloom y Wise, 2012):

- 1) Renunciar a los enfoques educativos más tradicionales, basados fundamentalmente en la sesión magistral, pues no parecen funcionar.
- 2) Partir de cuestiones que resulten relevantes para el alumnado y su vida diaria, lo que despertará su interés por la materia y otorgará significado a sus aprendizajes.
- 3) Combinar actividades de tipo indagativo, que promuevan el uso y puesta en práctica de destrezas científicas y ayuden al alumnado a comprender el papel de los modelos y la modelización en la explicación de la evolución, con estrategias de cambio conceptual, que pongan en jaque lo que ya saben, o creen saber.
- 4) Hacer uso del aprendizaje colaborativo, permitiendo al alumnado intercambiar ideas, debatir y construir el conocimiento de forma colectiva, tal y como hacen los propios científicos y científicas.
- 5) Dedicarle (mucho) más tiempo que de costumbre.

Más adelante, y a la luz de un análisis curricular, matizaremos esta última recomendación. No es tanto un tema de cantidad de tiempo como de graduar a lo largo de la escolaridad la dedicación a todos los modelos que se precisan para construir la teoría. Mucho tiempo dedicado al final (en uno o dos cursos) no va a compensar una carencia, sino que, incluso, puede derivar en una mayor confusión sobre un tema que es complejo. Un tratamiento progresivo, a lo largo de los cursos educativos, sería la recomendación más adecuada.

Existen múltiples propuestas de progresión de aprendizaje que pueden resultar muy útiles tanto a nivel legislativo como a nivel de aula: Cañal (2008), Catley, Lehrer y Reiser (2005), Lehrer y Schauble (2012), Zabel y Gropengiesser (2011), o el propio *Framework K-12* (NRC, 2012) con sus correspondientes *Next Generation Science Standards* (en adelante, NGSS) (NGSS Lead States, 2013).

En el capítulo de resultados expondremos una secuencia de actividades en la que se han seguido (en la medida de lo posible) estas recomendaciones y se han tenido en

cuenta distintas experiencias con éxito realizadas con el modelo de evolución biológica en la enseñanza primaria en las últimas décadas.

#### 2.3.4. La formación del profesorado de educación primaria sobre el modelo de evolución y su enseñanza

Si hay un denominador común a todas las recomendaciones que acabamos de ver es el docente. Su papel en la construcción del modelo de evolución resulta crucial, pues son los docentes quienes deciden el qué (contenidos), el cómo (metodología y recursos) y el cuándo (tiempos y secuencias), y gestionan el proceso de enseñanza-aprendizaje en su conjunto de todos y cada uno de sus estudiantes.

Desafortunadamente y a pesar de mostrar por lo general una buena actitud en cuanto a enseñar evolución biológica en educación primaria (Ashgar *et al.*, 2007; Ceballos, Vílchez y Escobar, 2017; Prinou, Halkia y Skordoulis, 2005), el profesorado de esta etapa, ya sea en formación o en servicio, no parece disponer ni del conocimiento ni las destrezas pedagógicas precisas para abordar con éxito este modelo en sus aulas. Ellos mismos se reconocen incapaces de hacerlo (Akyol *et al.*, 2012, Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2017).

Además de tener problemas para gestionar la controversia que acostumbra generar esta teoría (Thagard y Findlay, 2010) y no comprender adecuadamente la Naturaleza de la Ciencia (Kim y Nehm 2011), suelen presentar numerosas concepciones alternativas, como concebir la selección natural como una lucha donde sobrevive el más fuerte, expresar la aparición y desaparición de rasgos en términos de necesidad, o, en menor proporción, creer que los dinosaurios convivieron con el ser humano (Nadelson, 2009; Prinou, Halkia y Skordoulis, 2011). Claro que no cabe sorprenderse de la pervivencia de estas *misconceptions* también en el profesorado, dado que la mayoría experimenta los mismos niveles de educación científica que el público general (Nadelson, 2009). Igualmente, carecen de las estrategias didácticas necesarias tanto para trabajar desde una perspectiva evolutiva, como para enseñar el modelo de evolución directamente (Ashgard, Wiles y Alters, 2007).

Por lo tanto, resulta imperativo proveer al profesorado de educación primaria de una formación especializada que le permita manejar cómoda y eficazmente este tema (Akyol *et al.*, 2012; Hermann, 2011; Torreblanca *et al.*, 2009). ¿Qué habrá de incluir

esta formación? A partir de una extensa y exhaustiva revisión bibliográfica, Sickel y Friedrichsen (2013) han concluido que la formación a los maestros y maestras, tanto inicial como continua, deberá organizarse en torno a cinco aspectos básicos:

### **1. Conocimiento del contenido**

Como acabamos de ver, el profesorado presenta a menudo las mismas *misconceptions* que el alumnado. Sin embargo, es imprescindible tener un buen dominio del contenido para poder enseñarlo bien. Según Shulman (1986), esto incluye comprender el tema (en este caso, el modelo de evolución biológica), ser consciente del papel que juega dentro de la disciplina a la que pertenece (la evolución es piedra angular de la biología), y saber en qué circunstancias es válido (lo que nos remite al proceso de investigación propio de las ciencias biológicas y que se relaciona con la Naturaleza de la Ciencia).

Concretamente, recomiendan trabajar sobre las siguientes áreas específicas, abordándolas con distinto grado de profundidad dependiendo de si se trata de educación primaria o secundaria, en línea con los niveles de conocimiento que suelen exigirse a los estudiantes en una y otra etapa:

- Mutación como fuente de variación genética.
- Mecanismos de la evolución, poniendo especial énfasis en la selección natural, pero abordando también la selección sexual y la deriva genética.
- Microevolución.
- Especiación, factores y modos en que surgen las nuevas especies, esto es, hibridación, aislamiento geográfico y cuello de botella.
- Macroevolución, incluyendo la noción de ancestro común y árboles filogenéticos, poniendo en relación el nivel macro con el nivel micro y viceversa.
- Pruebas de la evolución: biogeográficas, paleontológicas, biomoleculares, anatómicas y embriológicas.

A esto añadiríamos el propio hecho de proporcionar fuentes adecuadas (y criterios para seleccionarlas, como aquellos que sugieren Pluta, Chinn y Duncan, 2011) de las que obtener información, dado que su conocimiento suele provenir fundamentalmente de lo que hayan aprendido durante sus años de escolaridad y lo que encuentran en periódicos y revistas no necesariamente especializados e Internet (Akyol *et al.*, 2012).

## **2. Naturaleza de la Ciencia**

Como ya comentamos en apartados anteriores, es aconsejable enseñar la Naturaleza de la Ciencia de manera explícita y conjunta con el modelo de evolución biológica (Lederman *et al.*, 2002). Sickel y Friedrichsen (2013) sugieren hacer al alumnado construir sus propias explicaciones basadas en pruebas para comprender la evolución y reflexionando después sobre el proceso que siguieron. Es un ejemplo más de las posibles conexiones que podemos establecer entre NdC y modelo de evolución, junto a otras propuestas relacionadas con la Historia de la Ciencia o con el tratamiento en aula de problemáticas sociocientíficas como la clonación, la resistencia a los insecticidas o los antibióticos, la vacunación, la pérdida de biodiversidad, etc., como ya hemos ido mencionando en diversos momentos a lo largo del trabajo.

## **3. Aceptación**

Aunque concuerdan en que conseguir que el profesorado acepte la evolución no debe una de las prioridades al hablar de la enseñanza de la evolución, sí que consideran clave que la acepten como una teoría científica válida, cuestión que también hemos comentado en la sección de recomendaciones. Se trata de poder discutir en clase sobre evolución sin que nadie sienta amenazadas sus creencias, es decir, se trata de evitar formular la cuestión en términos contrapuestos de “acuerdo vs desacuerdo” que obligan a posicionarse.

## **4. Gestión de la controversia**

Se refieren a que el profesorado cuente con estrategias para gestionar el conflicto en caso de que aparezca en el aula, aunque creemos que esta cuestión puede resultar más relevante en países como Estados Unidos, donde existe un gran debate público en relación a la enseñanza de la evolución que, sin embargo, no sucede en España, donde, como hemos visto, existe un alto grado de aceptación (Miller *et al.*, 2006; British Council, 2009; Rivas y González, 2016). En mi opinión, podría incluirse también en este apartado una de las recomendaciones que hace Pobiner (2016) a mayores de Sickel y Friedrichsen (2013), concretamente la de proporcionar información al profesorado acerca del apoyo legal, científico, educativo e incluso religioso hacia la enseñanza de la evolución, para que se sienta respaldado de ser (nuevamente) necesario.

## 5. Conocimiento Didáctico del Contenido

Como para cualquier otro contenido, no es suficiente solo con saber evolución para poder enseñarla. Los docentes deben tener cierto dominio de los modelos teóricos expertos pero también poseer un profundo conocimiento de las ideas y modelos teóricos infantiles. De lo contrario, les será imposible identificar las diferencias y dificultades que puedan aparecer y, en consecuencia, planificar las ayudas necesarias (Martí, 2012).

De la interacción entre el conocimiento del contenido, el conocimiento de la didáctica y el conocimiento de los estudiantes surge el Conocimiento Didáctico del Contenido (en adelante, CDC), término acuñado por Lee S. Shulman (1986). Se apoya en la idea de que aquellos docentes con una clara comprensión del contenido a enseñar y de la didáctica sobre cómo enseñarlo, son los que consiguen mejores resultados de aprendizaje (Acevedo, 2009).

El CDC no es una simple agregación del Conocimiento del Contenido, Conocimiento Didáctico y Conocimiento del Contexto, sino que genera un nuevo tipo de conocimiento que requiere el establecimiento de conexiones claras y explícitas entre unos y otros elementos. Por lo tanto, la formación, tanto inicial como continua, deberá prestar especial atención a este punto (Nilsson, 2008).

Dependiendo de los autores o autoras, de los aspectos a los que concedan un mayor énfasis, o de si parten de una óptica más integrativa o más transformativa (Gess-Newsome, 1999), nos encontraremos con un modelo de CDC más amplio o más sucinto, más generalista o más específico (Kind, 2009). Tomando a Magnusson y otros autores (1999) como referencia, Sickel y Friedrichsen (2013) entienden que el CDC está constituido por los siguientes cuatro componentes, que son precisamente los más habituales en la investigación sobre este constructo (Ziadie y Andrews, 2018):

- **Conocimiento del *curriculum*:** tanto en un sentido vertical, es decir, familiarizarse con qué dice el *curriculum* que hay que dar a cada edad; como en horizontal, esto es, cómo abordar el modelo de evolución desde la perspectiva unificadora que posee, uniéndolo al resto de temas.

Esta última perspectiva resulta especialmente interesante en el caso de España: pese a que el *curriculum* de educación primaria no hace ninguna mención a la evolución *per se*, sí contiene conceptos estrechamente relacionados con ella y

que deberán quedar bien asentados; por ejemplo, adaptación, biodiversidad o extinción, como veremos en el capítulo de resultados dedicado al análisis curricular.

Por otra parte, aun cuando no sea hasta secundaria que el alumnado reciba instrucción explícita sobre evolución biológica, considero importante que el profesorado conozca qué secuencia sugiere el *curriculum* en etapas posteriores, dada la finalidad propedéutica que tiene la etapa de educación primaria (art. 6 RD 126/2014).

Igualmente, Pobiner (2016) añade que este conocimiento de los objetivos, contenidos y estándares deberá ser tanto a nivel estatal como regional, algo que también es aplicable a España, dadas las competencias en educación de las Comunidades Autónomas (CCAA).

- **Conocimiento sobre los estudiantes:** además de conocer las principales formas de razonamiento de los estudiantes, el profesorado debe saber cómo pueden influir en el aprendizaje de la evolución en particular. Asimismo, deben estar al tanto de las *misconceptions* y dificultades más comunes entre los estudiantes. Como decía Shulman (1986), se trata de ser capaz de identificar qué aspectos resultarán más interesantes y motivadores al alumnado de distintas edades, así como anticipar qué elementos y relaciones les generarán más problemas de aprendizaje.
- **Conocimiento de estrategias didácticas:** parafraseando a Shulman (1986), habrá de incluir las formas más útiles de representar y formular la evolución biológica, y sus conceptos clave (analogías, ilustraciones, ejemplos, explicaciones, simulaciones...) para hacerla comprensible al alumnado.

Nuevamente, encajan bien aquí dos elementos que Pobiner (2016) presenta de forma independiente a las recomendaciones de Sickel y Friedrichsen (2013). En primer lugar, el disponer de material pedagógico atractivo y para todas las franjas de edad, desde infantil hasta universidad. A este respecto, Jewers (2011) apunta que proporcionar actividades y/o propuestas didácticas adecuadas al profesorado puede posibilitar que incluso aquel que no tenga un buen dominio del modelo de evolución, pueda llegar a enseñarlo de forma efectiva, en tanto que estos recursos pueden contribuir a mejorar su propia comprensión del contenido. Pero, en segundo lugar, estas estrategias y recursos no solo habrán de

proveerse, sino también practicarse en clase durante la formación (Nadelson, 2009; Sickel y Friedrichsen, 2013).

- **Conocimiento sobre evaluación del modelo de evolución:** consiste en dotar al profesorado de instrumentos con los que valorar el grado de comprensión del modelo de evolución por parte de los estudiantes (Pobiner, 2016). Instrumentos que han sido cuidadosamente diseñados para poner de manifiesto tanto sus *misconceptions* como ideas científicas aceptables, y que pueden usarse tanto antes, como durante y después de la instrucción (Ziadie y Andrews, 2018). Sirva como ejemplo el trabajo de Anderson y Fisher (2002), quienes desarrollaron un método tipo cómic/viñetas donde se plantea una pregunta, y distintos personajes dan distintas respuestas sobre las que el alumnado debe posicionarse razonadamente.

Además de estos cuatro componentes, podríamos considerar otros aspectos más generales, como la capacidad de establecer relaciones transversales más allá del dominio específico que se trate (en este caso, la Biología o Ciencias Naturales) (Acevedo, 2009) o las dimensiones ideológica, ética y social derivadas de la práctica docente (Bolívar, 2005). En cualquier caso, esta formación deberá diseñarse cuidadosa y detenidamente para lograr que tenga un efecto a largo plazo (Ha *et al.*, 2015).

Precisamente, una de las quejas más habituales del profesorado en formación es que no recibe la preparación suficiente para desempeñar adecuadamente su trabajo (Loughran, Mulhal y Berry, 2008). En este sentido, Nilsson (2008) insiste en la importancia de proporcionar a los futuros docentes oportunidades para reflexionar, examinar e integrar la nueva información en su conocimiento previo. Después de todo, no llegan de vacío, sino con sus propias concepciones, fruto de su propia experiencia como estudiantes, así como de lo que observan y experimentan durante los periodos de *practicum* que van configurando inconscientemente su CDC; de ahí la importancia de enseñar explícitamente sobre este constructo teórico (Loughran *et al.*, 2008).

En cuanto a la formación continua del profesorado en particular, Pobiner (2016) hace una serie de observaciones que consideramos especialmente valiosas: en su desarrollo profesional no solo habrá de abordarse el CDC, sino también proporcionar orientación y promover el apoyo entre compañeros y compañeras. Precisamente en el presente estudio dos profesoras del grupo de discusión, una de secundaria y otra de primaria, apuntan a

la diferencia que hay entre contar con apoyo o no a la hora de poner en marcha cualquier iniciativa.

Finalmente, lo que esta autora considera más relevante en este tema, es la necesidad de dotar de estrategias para crear un ambiente de aula apropiado para enseñar y aprender sobre evolución, haciendo hincapié en la Naturaleza de la Ciencia (NdC), y también en el uso de modelos y modelización, por el papel que juegan en el desarrollo de la Ciencia (Gilbert y Justi, 2016). Sin olvidar el papel que juegan las habilidades de argumentación, que ayudan no solo a justificar su posición sino también refutar la de otras personas basándose en pruebas (Jiménez-Aleixandre y Puig, 2013). Al fin y al cabo, el profesorado deberá ser “un guía que permita al alumnado crear sus propios discursos a partir de la interacción, la investigación bibliográfica, el debate y la confrontación sin abandonar el diálogo y la socialización de las ideas”, como dicen Torreblanca y otros (2009, p. 60).

Y cuando hablamos de NdC debemos recordar que el CDC nos provee de un paradigma unificador y unitario para su didáctica. Aborda la NdC desde una perspectiva unificadora para todas las ramas de las ciencias, pues sus contenidos deben plantearse transversalmente, sin distinciones entre Física, Química, Biología o Tecnología. Una visión especialmente útil para ser coherentes con la alfabetización científica de la ciudadanía, lejos de la especialización y cerca de una perspectiva conjunta de la ciencia y la tecnología. Esa unión se plantea a través de rasgos transversales, es decir, de conceptos, procesos y actitudes que pueden ser aplicables a cualquiera de las disciplinas científicas. Los ejemplos potenciales, los modelos, las actividades o las ilustraciones provienen de las distintas ramas, lo que permite contextualizarlos adecuadamente en cualquiera de ellas, subrayando la transversalidad del NdC (Manassero y Vázquez, 2009).





### **3. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. La investigación cualitativa y el estudio de caso**

Para el desarrollo de la presente investigación, se ha decidido continuar empleando la metodología cualitativa, no solo porque ha dado buenos resultados en el desarrollo de la anterior investigación, produciendo información muy valiosa, sino porque reúne una serie de características que seguimos considerando las más adecuadas tanto por el enfoque y el ámbito de estudio que nos ocupa como por los objetivos que se pretende conseguir y el contenido a trabajar.

Tradicionalmente definida en contraposición a la investigación cuantitativa, la investigación cualitativa constituye hoy en día una forma de investigación en sí misma, de pleno derecho (Denzin y Lincoln, 1998; Flick, 2015). A pesar de usarse con frecuencia de manera genérica, a modo de “concepto paraguas” y agrupar un elevado número de enfoques metodológicos muy diversos, posee una serie de características que le son propias y permiten delimitar su significado.

Denzin y Lincoln (2012) describen la investigación cualitativa como aquella que estudia la realidad en su contexto natural, atendiendo a los significados que le confieren las personas implicadas. Flick (2015) la define como aquella que pretende acercarse al mundo “de ahí fuera” desde el interior, esto es, de desgranar cómo las personas construyen el mundo a su alrededor. Después de todo, la realidad de la investigación cualitativa no es una realidad dada, sino una realidad construida, construida entre todos y cada uno de los actores que forman parte de ella (Flick, 2004).

Se trata de hacer visible el mundo, convirtiéndolo en un conjunto de representaciones que el investigador o investigadora abordará desde un punto de vista holístico, interpretativo y naturalista (Denzin y Lincoln, 2012; Stake, 2010). El objetivo último es reconstruir ese conocimiento compartido y alcanzar una comprensión profunda de la realidad estudiada, y para ello se toma como elemento central la interpretación (LeCompte, 1995; Stake, 1998). Quizás por eso todos esos enfoques que acoge el término de investigación cualitativa son conocidos también como enfoques hermenéuticos, reconstructivos o interpretativos (Flick, 2015).

Es además una metodología inductiva y flexible, en tanto que opera a través un diseño abierto y emergente en el que se van tomando las decisiones más oportunas en

cada momento, esto es, se va adaptando a las circunstancias que rodean la investigación (Simons, 2011; Taylor y Bodgan, 1986). Precisamente, si hay un rasgo que define la investigación cualitativa y que ha sido una constante en su desarrollo, es el principio de idoneidad, entendido como adecuación a las particularidades y necesidades de cada campo o entorno estudiado (Flick, 2015). Parte de la idea de que métodos y teorías deben ser apropiados a lo que se estudia, de modo que, si no encajan, habrán de adaptarse o adoptarse otros nuevos. Igualmente, los objetivos y preguntas de investigación se van refinando a medida que avanza el proceso.

En este sentido, la investigación cualitativa es un arte, ya que el investigador o investigadora se convierte en un artífice (Taylor y Bodgan, 1986). De hecho, suele ser el principal instrumento de investigación (Stake, 2010). De este modo, las decisiones que toma, así como los datos que recoge y cómo los interpreta van a estar condicionados, entre otros factores, por su propia capacidad de reflexión, su trayectoria investigadora, sus valores personales y sus experiencias en el campo – antes, durante y después del estudio – (Flick, 2004). En consecuencia, en la investigación cualitativa el investigador o investigadora constituye una nueva subjetividad a tener en cuenta junto al resto de participantes, que adquieren a su vez un papel más activo (LeCompte, 1995). De ahí que se le exija una cierta suspensión, o explicitación, de sus propias creencias y su inmersión en la realidad estudiada para lograr comprenderla (Taylor y Bodgan, 1986).

Esta inmersión requiere del empleo de procedimientos metodológicos humanistas que procuren respetar la voz, los sentimientos y el pensamiento de los propios participantes, así como recoger, en la medida de lo posible, todas las perspectivas, dando a todas y cada una de ellas la misma importancia, haciendo honor a la diversidad (Stake, 2010). Para ello se dispone de una amplia variedad de técnicas, como la entrevista, la observación participante, el grupo de discusión, el análisis documental... A partir de ellas podemos registrar las experiencias de los individuos, o grupos, que forman parte de la realidad estudiada, sus interacciones y comunicaciones, así como analizar los documentos y artefactos que producen (Flick, 2015). Se genera así una ingente cantidad de información de tipo eminentemente descriptivo (Taylor y Bodgan, 1986).

De acuerdo con Flick (2004), la aplicación de esta diversidad de enfoques y métodos permiten superar lo individual, traspasar lo superficial y así descubrir las relaciones y

los significados que se esconden detrás de ese conjunto de subjetividades que conforman la realidad. Entre sus distintas formas de investigación encontramos la etnografía, la investigación-acción, o el estudio de caso, entre otros.

En la presente investigación nos hemos decantado por el estudio de caso, que Simons (2011) define como:

El estudio de caso es una investigación exhaustiva y desde múltiples perspectivas de la complejidad y unicidad de un determinado proyecto, política, institución, programa o sistema en un contexto real. Se basa en la investigación, integra diferentes métodos y se guía por las pruebas. La finalidad primordial es generar una comprensión exhaustiva de un tema determinado (por ejemplo, en una tesis), un programa, una política, una institución o un sistema, para generar conocimientos y/o informar el desarrollo de políticas, la práctica profesional y la acción civil o de la comunidad (p. 42).

Nuestro caso es el proceso de enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución biológica en la educación primaria española. Es el *tema*, o situación problemática o controvertida (de “*issue*”, en Stake, 1998), del que pretendemos *generar una comprensión exhaustiva* y, así, *informar el desarrollo* de programas curriculares y planes de formación docente que posibiliten la construcción progresiva de este modelo científico a lo largo de la escolaridad. Con ese conocimiento se busca capacitar al alumnado para la toma de decisiones informadas y la participación social.

Se han escogido los estudios de caso por varias razones metodológicas:

- Son especialmente pertinentes para las investigaciones que pretenden responder al “cómo” y el “por qué” de las cosas (Yin, 1989), y nuestras preguntas de investigación, como veremos en detalle en el próximo apartado, giran en torno al “qué” (por ejemplo, ¿qué contenidos se trabajan ahora mismo? ¿Cuáles habría que incluir?), pero, sobre todo, al “cómo” (p. ej. ¿Cómo habría de incluirse en el *currículum* para garantizar la construcción progresiva del modelo? ¿Cómo debe enseñarse? ¿Cómo incorporarlo en la formación docente inicial?) y al “por qué” (p.ej. ¿Qué razones hay para incluirlo o no? ¿Por qué los estudiantes tienen problemas al aprenderlo?).

- Al igual que cualquier método cualitativo, permite acercarse a la realidad desde un punto de vista holístico, pero también más específico, exhaustivo y bien delimitado (Simons, 2011), que busca ante todo comprender en profundidad el caso o casos estudiados en su contexto particular y concreto. Cada centro, aula, grupo de estudiantes o docente genera y se desarrolla en un contexto determinado, que no es posible dissociar del propio proceso de investigación. Del mismo modo, son muchos los factores que intervienen en los procesos de enseñanza y aprendizaje (ideas previas del alumnado, la planificación y actuación docente, el tipo de actividades escogido, el material empleado...) que no se pueden controlar, pero que habrá que tener en cuenta a la hora de representar fielmente los resultados.
- Tiene un elevado grado de flexibilidad, no solo en métodos y técnicas empleados, sino también en el tiempo, pues puede desarrollarse durante varios meses o en tan solo unos pocos días. Además, el informe suele redactarse en un lenguaje accesible, combinándolo con observaciones, descripciones e intervenciones de los propios participantes, facilitando su comprensión y permitiendo al público experimentar el propio caso de forma indirecta (Simons, 2011).

Por supuesto, comparte también muchas de las desventajas que presentaba la investigación cualitativa, como el personalismo, la subjetividad, la lenta contribución a la ciencia o la generación de más enigmas que soluciones (Stake, 1998). Ahora bien, pueden tomarse diferentes medidas para contrarrestar estas debilidades, medidas que recogemos en el apartado dedicado a la calidad y ética de la investigación.

Por último, existen diferentes tipos de estudio de caso, cuya clasificación diferirá dependiendo del autor o autora que tomemos como referencia y del criterio que emplee para categorizarlos. Atendiendo al tipo de interés que tengamos en el caso, Stake (1998), distingue entre:

- **Estudio de caso intrínseco:** el caso que se estudia posee valor en sí mismo, es decir, presenta una serie de particularidades por las cuales resulta de especial interés y relevancia analizarlo. De este modo, el caso tiene preponderancia sobre el tema.

- **Estudio de caso instrumental:** el caso se escoge no por su carácter especial sino por ser un ejemplo de aquello que queremos estudiar. Nos sirve para caracterizar y comprender nuestro objeto de investigación; es un medio para alcanzar nuestro fin. Por tanto, aquí el tema domina sobre el caso.
- **Estudio de caso colectivo o múltiple:** se seleccionan varios casos que se estudiarán intensivamente para dar lugar a una interpretación conjunta, global y necesariamente coordinada de la realidad estudiada.

En cambio, combinando el número de casos estudiados (único *vs* múltiple) con el de unidad de análisis considerada (una *vs* varias), Yin (1989) establece la existencia de cuatro tipos básicos:

Tabla 5. Tipos básicos de estudio de caso según Yin (1989, p.46)

	Single-case designs	Multiple-case designs
Holistic (one only unit of analysis)	TYPE 1	TYPE 3
Embedded (multiple units of analysis)	TYPE 2	TYPE 4

Atendiendo a estas dos clasificaciones, podemos catalogar el estudio de caso que se presenta en esta investigación como un estudio de caso único, instrumental y holístico:

- Único, porque analiza el diseño e implementación de una secuencia de actividades sobre el modelo de evolución en un aula de 5º curso de educación primaria (10-11 años) de un centro público de doble línea de A Coruña (España). La muestra estaría compuesta entonces por 25 estudiantes (grupo-clase).  
A efectos de esta investigación, dado que el tema de la secuencia de actividades es “¿Por qué tenemos la piel de diferentes colores?”, resulta pertinente añadir que se trataba de un aula multiétnica, donde la mayoría del alumnado era de ascendencia europea (20), pero también había alumnado con ascendencia asiática (2), sudamericana (1) y africana (2).
- Instrumental, en oposición a intrínseco, porque 1) el interés se concentra en el tema de estudio (posibilidades y obstáculos a la introducción del modelo de evolución en educación primaria), dejando de lado el contexto particular en el que se produce (el grupo de estudiantes con el que se llevó a cabo la propuesta) y 2) el caso estudiado no es un caso natural, previamente existente, sino que ha sido específicamente creado para que cumpla las condiciones que se pretende

investigar: la búsqueda de centros de educación primaria que estuvieran trabajando sobre el modelo de evolución a través de una metodología basada en modelización resultó infructuosa, lo cual es comprensible dado que el *currículum* de nuestro país no recoge este contenido para la etapa de educación primaria, como veremos en el capítulo de análisis curricular.

- Holístico, porque se presta más atención a la globalidad de la realidad estudiada (una sola unidad de análisis; por ejemplo, el desempeño del aula en su conjunto, como se hace en el presente trabajo), que a sus partes (múltiples unidades de análisis; por ejemplo, los estudiantes).

### **3.2. El diseño de investigación**

Aun cuando la investigación cualitativa opera bajo un diseño abierto y emergente, es importante elaborar un primer plan de acción que nos sirva como punto de partida. Siguiendo a Flick (2014), un buen diseño de investigación, fruto de la reflexión, posibilita concretar el foco de nuestro estudio, hace la investigación manejable en tiempo y recursos, orienta la actividad y la toma de decisiones, y presta atención a la perspectiva ética, garantizando así su calidad. De ahí que dedicara los primeros seis meses de tesis doctoral – plazo máximo fijado por la Escuela de Doctorado de la Universidade da Coruña – a elaborar un buen plan de investigación (véase cronograma de la tabla 6).

En la confección de este plan el primer paso fue concretar qué quería investigar. Como dice Stake (2010), primero la pregunta, después el método. Se trataba de marcar una serie de objetivos específicos y preguntas de investigación que permitiera encaminar mi estudio, aunque más tarde se fueran (re)definiendo en mayor detalle, a partir de la revisión bibliográfica y del propio trabajo de campo, como fue el caso.

Apoyándome en las investigaciones que había realizado previamente acerca de la enseñanza-aprendizaje de la teoría de la evolución en educación primaria – mi Trabajo de Fin de Grado (TFG) y mi Trabajo de Fin de Máster (TFM) –, decidí que el principal objetivo de mi tesis doctoral sería explorar cómo se podía incorporar el modelo de evolución biológica en un aula de educación primaria en España en el contexto actual.

En principio, esto incluía analizar el estado de la teoría de la evolución en el *currículum* español, a nivel estatal y autonómico, así como en otros países y estados;

entrevistarme con especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales, con profesorado de educación primaria y secundaria en servicio, y con personas a cargo de desarrollar el marco legislativo curricular; diseñar e implementar una propuesta didáctica en un aula real de educación primaria para comprobar en qué medida el alumnado de esta etapa es capaz de asimilar los contenidos básicos de esta teoría; y, finalmente, diseñar e implementar una propuesta didáctica destinada al profesorado en formación sobre la teoría de la evolución y su didáctica, con el ánimo de identificar fortalezas y obstáculos en la formación inicial docente.

Sin embargo, según fue avanzando el estudio, estos objetivos fueron perfilándose y concretándose hasta alcanzar la forma final que se recoge en la tabla nº6, en el apartado de Introducción. Algunos incluso fueron descartados (entrevista a legisladores, formación docente), al entender que trascendían el objetivo principal de la investigación, centrado en el análisis de la situación curricular del modelo de evolución en España y en el alumnado de educación primaria. Así lo apuntaron los especialistas en Didáctica de las Ciencias que asesoraron este proyecto durante la 4ª Escuela de Doctorado de ÁPICE (Asociación de Profesores e Investigadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales) (véase apartado 3.5).

Consecuentemente, el enfoque metodológico también ha sufrido variaciones. Por ejemplo, se abandonó la idea de hacer un estudio de caso múltiple y, en su lugar, se ha optado por hacer un estudio de caso único. Esto nos permitiría analizar con mayor detalle el grupo de estudiantes y la secuencia que se implementara.

El propio diseño de la secuencia ha estado informado por el contexto educativo en el que se aplicó, además de por la revisión bibliográfica y los resultados obtenidos en el análisis curricular, las entrevistas a especialistas y el grupo de discusión con profesorado. Incluso se incorporaron cuestiones derivadas de mi colaboración con el equipo de investigación de la Pfa. Dra. Ravit Golan Duncan durante mi estancia en Rutgers (New Jersey, EEUU). Por ejemplo, la relación entre gen y proteína a la propuesta, aprovechando además que el alumnado estaba familiarizado con los términos “gen” y “genética” (véase apartado 4.4.1). Y también sufrió modificaciones a partir de las observaciones y sugerencias formuladas por la docente responsable del aula.

Lo mismo sucedió a la hora de analizar el material producido por los estudiantes. Su naturaleza y su variedad, así como las limitaciones impuestas por las condiciones de



investigación (p. ej. que no se pudiera tomar fotografías ni grabar las conversaciones del alumnado), han conducido al desarrollo de un sistema de análisis específico, que ha permitido capturar la capacidad de los estudiantes para operar con las ideas nucleares a diferentes niveles de organización escalar. Este sistema se explicará en detalle en el apartado 3.4.

En definitiva, el diseño de investigación se fue adaptando a las posibilidades y obstáculos surgidos a lo largo del proceso de investigación. El cronograma recoge su configuración final, incluyendo su temporalización.

Tabla 6. Cronograma de investigación

Nov	Dic	Ener	Feb	Mar	Abr	Mayo	Junio	Julio	Agost	Sept	Oct
AÑO 0 – CURSO 2013/2014											
						Entrevistas especialistas Did. CCEE I					
						Grupo de discusión					
1º AÑO – CURSO 2015/2016											
Plan de investigación											
				Análisis Curricular							
						Entrevistas especialistas Did. CCEE II					
								Análisis de datos			
Revisión bibliográfica											
2º AÑO – CURSO 2016/2017											
Análisis curricular											
						Estancia en Rutgers					
Análisis de datos										Análisis de datos	
Revisión bibliográfica											
3º AÑO – CURSO 2017/2018											
			Diseño y aplicación PD EP								
Análisis de datos									Análisis de datos		
Revisión bibliográfica											
4º AÑO – CURSO 2018/2019											
Análisis de datos											
Revisión bibliográfica											
Redacción informe										Depósito	

### 3.3. La recogida de datos

Para la consecución de cada uno de estos objetivos se ha recurrido a diversas técnicas:

### 3.3.1. El análisis documental

Para Goezt y LeCompte (1988) los documentos son una fuente de información de inestimable valor, que proporciona datos de base, de proceso y de significado, especialmente en el ámbito educativo. Entendiendo por documento cualquier clase de producción escrita o artefacto, Angrosino (2012) define el análisis documental como el análisis de materiales que se han almacenado con fines burocráticos, administrativos, personales, de investigación..., tanto de forma oficial como no oficial. Por ejemplo, mapas, registros varios, actas, fotografías..., que suelen ser ajenos a los propios objetivos que tiene el investigador o investigadora que acude a ellos.

Simons (2011) amplía la definición a cualquier producción escrita, visual, o de otro tipo, relativa al contexto y/o al escenario, ya sea creada de forma espontánea o bien expresamente para la investigación. Así pues, las notas de campo, el diario de investigación y el material elaborado por los estudiantes a lo largo de intervención, son también documentos que analizar.

Sin embargo, apunta esta autora, también puede ser necesario, o recomendable, “un análisis de los documentos políticos relevantes de la unidad mayor, que nos ayude a comprender las razones y el contexto de la política y cómo se complementa en la práctica” (Simons, 2011, p. 97); tal es el caso del *curriculum*, punto de partida del presente trabajo.

Detallamos a continuación el material documental analizado durante esta investigación:

- Normativa curricular, nacional e internacional, elegida a partir de la selección por criterios de Goezt y LeCompte (1988):
  - **Portugal** (Metas curriculares de Ensino Básico para as Ciências Naturais 2013): se han realizado recientemente experiencias educativas con alumnado de Ensino Básico para iniciar el aprendizaje de la evolución, experiencias de gran interés porque son transferibles a otros países (Campos y Sá-Pinto, 2013).
  - **Inglaterra** (Reino Unido) (*National Curriculum 2013*): su elección se justifica porque, en el curso 2014/2015, entró en vigor el nuevo marco

curricular que incluye expresamente la evolución en la etapa de Primary Education.

- **Francia** (*Socle commun de connaissances, de compétences et de cultura 2015*) y **Estados Unidos** (*Framework for K-12 Science Education 2012*) se han escogido porque en sus normativas aparece como contenido nuclear.

El programa marco estadounidense, muy valorado entre los especialistas en Didáctica de las Ciencias (Criado *et al.*, 2014), es la base para el diseño del *curriculum* de cada estado. Sin embargo, la polémica que existe en torno a la enseñanza de la evolución en este país ha conducido a una diferente aceptación de este marco. Ante la imposibilidad de analizar todos los estados, se ha tomado como referencia el estudio de Doyle (2002), que presenta una clasificación en tres categorías (bien, medio y mal) según cómo se trabaje la evolución en el contexto educativo, es decir, tanto a nivel curricular como de aula. Se han descartado los catalogados como deficientes, pues ni siquiera la abordaban, y se han seleccionado dos con diferente grado de incorporación -uno excelente (California) y uno medio (New York)-, para observar si existían diferencias notables en sus programas.

- **Suecia** (*Curriculum for the compulsory school, preschool class and the recreation centre, 2011*): se ha seleccionado porque su marco legislativo considera la evolución como principio organizador del *curriculum* de ciencias.

Tres de ellos (Reino Unido, Estados Unidos y Francia) son, también, una referencia para Secundaria en análisis comparativos de la evolución histórica curricular de la Biología, como el trabajo de Barberá *et al.* (1999).

Nuestro estudio se centra en la revisión del área de Primaria al aprendizaje de las ciencias experimentales, tomando como referencia el rango de edad del sistema educativo español (6 a 12 años):

- *Estudio do Méio y Ciências Naturais* en Portugal;
- *Questionner le monde y Sciences et Technologie* en Francia;
- *Science* en Reino Unido y Estados Unidos;
- *Biologi* (incluida en *Naturorienterande ämnen*) en Suecia.

En España, dada la subdivisión acometida por la LOMCE del área de Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural en dos materias (Ciencias de la Naturaleza y Ciencias Sociales), se han analizado ambas, por si hubiera contenidos relevantes para la investigación que pudieran haber quedado integrados en ésta última, como la evolución humana a propósito de la Prehistoria.

- Material producido por los estudiantes:
  - Prueba de evaluación inicial.
  - Plantillas de trabajo de las actividades prácticas.
- Diario de investigación, en el que se recogieron:
  - Las observaciones derivadas de la implementación de la secuencia didáctica en el aula de educación primaria.
  - Las reflexiones y decisiones que la investigadora fue tomando en el transcurso de la investigación. En este sentido, ha servido de apoyo para (re)orientar, recapitular y establecer conexiones entre los distintos componentes del estudio (literatura, fuentes, estrategias de recogida y análisis de datos, resultados...).

También podríamos incluir aquí todas las publicaciones académicas consultadas, en línea con los apuntes hechos por Rapley (2014) a propósito del papel que pueden jugar las fuentes secundarias en el propio desarrollo del estudio y en la confección de un archivo “maestro”, entendido como “colección diversa de materiales que permiten implicarse en el problema o las preguntas de investigación específicos y pensar en ellos” (Rapley, 2014, p. 31). De este modo, aunque no hayan sido analizadas exhaustivamente como en el caso de los marcos curriculares consultados, sí han contribuido de un modo u otro a la realización de esta investigación.

Por ejemplo, la literatura consultada nos permitió identificar especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales que hubieran trabajado sobre la enseñanza y aprendizaje de la teoría de la evolución para poder entrevistarlos. Igualmente, como acabamos de ver, fueron los artículos de Doyle (2002) y Campos y Sá-Pinto (2013) los que nos pusieron sobre la pista de qué países o estados podría resultar más fructífero analizar desde un punto de vista curricular en comparación con España.

### 3.3.2. La entrevista

Asumiendo que la conversación es un modo básico de interacción humana, Kvale (2011, p. 24) entiende que “la entre- vista es una inter-acción entre el entrevistador y el entrevistado” que, debido a su carácter profesional, va más allá del intercambio espontáneo de ideas. En realidad, es un lugar de construcción de conocimiento que proporciona al investigador o investigadora un acceso único al mundo del individuo, puesto que es el individuo el que, usando sus propias palabras, describe lo que hace, lo que vive y lo que piensa, tal y como lo experimenta.

La entrevista cualitativa se caracteriza, en líneas generales, por (Kvale, 2011):

- a) Tratar sobre un tema cotidiano, próximo al entrevistado/a.

En el caso de la entrevista con los especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales, todos ellos habían trabajado en algún momento sobre la enseñanza y aprendizaje de la evolución, aunque desde diferentes enfoques y contextos. En cambio, la maestra con la que llevamos al aula la propuesta didáctica no había abordado antes la enseñanza de la evolución, pero hablaba en base a su experiencia docente del día a día con su grupo de alumnos y alumnas y a los resultados de aplicación de la secuencia.

- b) Buscar el significado de lo dicho y cómo se ha dicho, es decir, que no se limita a los hechos, sino que se interesa también por sus implicaciones.

Preguntamos por el “qué” (qué investigaciones habían hecho en el pasado, qué opinaban sobre introducir evolución en educación primaria, qué actividad de la propuesta había resultado más difícil...), pero también por el “porqué” (por qué decidieron investigar sobre esta temática, por qué se debería usar tal o cual metodología, por qué tal o cual actividad resultó más difícil que otras...) y las repercusiones (de su trabajo de investigación, de abordar la evolución en educación primaria, de usar una metodología activa como la empleada en la secuencia didáctica propuesta).

- c) Guiarse por una “ingenuidad matizada”, esto es, el entrevistador/a adopta una actitud abierta, sensible y curiosa, pero también crítica consigo mismo/a para no dejarse llevar por prejuicios ni juzgar al otro/a. Debe ser una experiencia positiva, en la que se genere un clima agradable y de confianza. Asimismo, la persona entrevistadora debe estar familiarizada con el tema en cuestión para poder captar

mejor su extensión. A este respecto caben dos matizaciones: una situación de entrevista suele comportar una relación de asimetría entre entrevistado/a y entrevistador/a (el entrevistador/a es quien, en principio, tiene el control sobre la conversación) pero, en función de quién sea la persona entrevistada, esta relación puede llegar a anularse o verse invertida si la persona de la que estamos hablando es un especialista en su campo.

Este ha sido el caso en el presente trabajo al entrevistar a los especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales. En cambio, en el caso de la entrevista con la docente de educación primaria, diríamos que nos hemos acercado más a la primera situación. A pesar de la relación de confianza que tenía con la investigadora y que quedó de manifiesto a lo largo de la propuesta (a la hora de confeccionar la propuesta y ajustarla a sus recomendaciones o en la fluidez de los intercambios más informales durante las sesiones en aula), al momento de sugerir la grabación en audio de la entrevista más “formal”, pareció mostrar cierta reticencia. De ahí que decidiéramos hacerla vía email, para ajustarnos así a sus preferencias y, sobre todo, a su disponibilidad.

- d) Ser cualitativa, descriptiva, específica y enfocada, en el sentido de que trabaja con las palabras, con el discurso, preguntando por situaciones y cuestiones concretas, de forma que el entrevistador/a guía la conversación, pero no condiciona ni dirige las respuestas. Se deja así margen a la ambigüedad y contradicción propias del discurso o de la vida misma.

En función del grado de estructuración que posean, se distinguen distintos tipos de entrevista (Flick, 2004; Rodríguez *et al.*, 1996; Simons, 2011): estructurada, donde se encontraría la entrevista estandarizada y el cuestionario; semiestructurada, como la entrevista focalizada o la entrevista semiestandarizada; entrevista no estructurada, denominada también entrevista abierta o en profundidad.

Optamos por un diseño semiestructurado para entrevistar a los especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Precisamente, Flick (2004) identifica la entrevista a expertos -también denominada “entrevista con élites” por Kvale (2011)- como un tipo de entrevista semiestructurada, en la que esa persona deja de representarse a sí mismo/a para representar al grupo de expertos y expertas en el área de conocimiento explorada. Esto exige al entrevistador/a no solo tener dominio sobre el tema tratado,

sino también del vocabulario específico y de la trayectoria profesional de la persona entrevistada (Kvale, 2011).

Por esa razón, elaboré una breve ficha de cada uno de los especialistas que iba a entrevistar. Estas personas fueron seleccionadas en base a su experiencia docente y/o investigadora sobre el proceso de enseñanza-aprendizaje de la evolución biológica y/o genética, procurando atender a una amplia variedad de trayectorias, lugares y contextos de trabajo. De los 16 especialistas contactados, participaron finalmente 12, seis hombres y seis mujeres, de nacionalidades y universidades muy diversas. En España, dos investigadoras de la Universidad de A Coruña, uno de la Universidad de Murcia, una de la Universidad de Santiago de Compostela y uno de la Universidad de Sevilla. Entre los especialistas de otras nacionalidades, entrevistamos a un investigador de la Universidad de Buenos Aires (Argentina); una investigadora del Instituto Weizmann de Ciencias (Israel); una investigadora de la Universidad de Rutgers (New Jersey, Estados Unidos); una investigadora de la Universidad Nacional Kapodistriaca de Atenas (Grecia); un investigador de la Universidad de Karlstad (Suecia); y, finalmente, dos investigadores de la Universidad de Ginebra (Suiza).

A diferencia de la entrevista abierta, en la semiestructurada las preguntas se centran en un tema concertado previamente, es decir, están formuladas para obtener información específica, rebajando así la posibilidad de digresión y nuevas direcciones (Angrosino, 2014). Esto permite además ahorrar tiempo, algo especialmente conveniente en este caso dada la poca disponibilidad horaria de los participantes (Simons, 2011).

Precisamente, por razones de localización y agenda, algunas de las entrevistas tuvieron que ser vía correo electrónico, concretamente cinco (tres con especialistas españoles: Universidad de Murcia, Universidad de Santiago de Compostela y Universidad de Sevilla; y dos con especialistas extranjeros: Universidad de Buenos Aires, Argentina y Universidad Nacional y Kapodistriaca de Atenas, Grecia. A este respecto, debemos reconocer los inconvenientes de las entrevistas no presenciales, como, por ejemplo, la pérdida de la interacción personal y, con ella, de la información transmitida mediante el lenguaje no verbal. Así mismo, desaparece la oportunidad de conducir la conversación hacia cuestiones que vayan surgiendo y sean de mayor relevancia para la investigación. Para superar este problema, solicitamos más

información (puntualizaciones, aclaraciones, ampliaciones...) cuando fue necesario, nuevamente vía correo electrónico.

Por otra parte, llevar a cabo entrevistas de forma no presencial también posee ciertas ventajas (Simons, 2011). Por ejemplo, dejan de importar las distancias, las incompatibilidades de horario y agenda y los costes económicos, lo que permite acceder a un mayor número y variedad de participantes, como refleja nuestra propia investigación, que reúne especialistas de países tan distantes como Argentina e Israel. Igualmente, al disponer de más tiempo, el entrevistado o entrevistada puede tener una reflexión más profunda sobre las preguntas formuladas, dando lugar a respuestas más elaboradas, organizadas y completas. Además, al ser él o ella directamente quien que redacta sus opiniones, se garantiza la exactitud de las mismas, lo que redundando tanto en la calidad como en la ética de la investigación.

Las otras siete entrevistas tuvieron lugar de forma presencial. Dos de ellas se realizaron en la fecha y hora convenida por las participantes en su propio despacho y usando grabadora, si bien más tarde les remitimos la transcripción para que la revisaran, de acuerdo con la validación del respondiente (Simons, 2011). Las otras cinco, en cambio, se produjeron durante el *workshop* “Future Directions in Genetics Education”, celebrado en Ginebra (Suiza) durante los días 2 y 3 de junio de 2016, en distintos momentos y lugares del complejo. En este caso, se optó por no realizar grabación, dado que las condiciones de sonido no eran las más adecuadas, y en su lugar la investigadora fue tomando nota de las respuestas de los especialistas, que más tarde enviaría de vuelta para su revisión, como ya se hiciera con las primeras.

Con la profesora decidimos combinar la entrevista abierta, más informal, antes, durante y después de las sesiones, con la entrevista semiestructurada que, finalmente, fue llevada a cabo también vía correo electrónico, por comodidad y disponibilidad horaria de la docente.

Se diseñaron, por tanto, dos guiones de entrevista, uno para los especialistas en Didáctica de las Ciencias y otro para la docente. Ahora bien, tanto en uno como en otro se procuró que las preguntas fueran relativamente genéricas o abiertas, para dar la oportunidad a los entrevistados y entrevistadas de explayarse cuanto consideraran necesario y desde el punto de vista que creyeran más oportuno (p.ej. “¿Sería posible introducir la enseñanza de la teoría de la evolución así como del hecho evolutivo en la



educación primaria?” o “¿Cómo valorarías la actuación del alumnado a lo largo de la propuesta?”), pero también centrando cada una de ellas en un aspecto diferente para poder recabar la información necesaria para responder a nuestros objetivos (p.ej. “¿Qué razones habría a favor/en contra?”, “¿Qué conceptos habrían de trabajarse y qué metodología debería emplearse?” o la organización por secciones – secuencia de contenidos, secuencia de actividades, metodología y material, alumnado, temporalización... – en el caso de la entrevista a la docente, Anexo C).

### 3.3.3. El grupo de discusión

Quizás debido a ser una técnica reciente de investigación aparecen muchas y variadas definiciones de qué es y en qué consiste un grupo de discusión. Así, unos ponen mayor énfasis en unas características y otros en otras. En el presente estudio optamos por la definición proporcionada por Suárez Ortega (2005, p.24), al entender que recoge los principales rasgos definitorios de un grupo de discusión:

Cuando hablamos de grupo de discusión nos referimos a:

- Un conjunto de personas.
- Que se *reúnen con un fin determinado* (atienden a propósitos y objetivos de investigación).
- Cuyo número puede variar de un *mínimo a un máximo*, según características de los procesos grupales, así como de la habilidad, formación y experiencia previa del moderador para con la práctica.
- Que poseen ciertas *características comunes* (atendiendo a los criterios de homogeneidad y heterogeneidad).
- *Ofrecen datos* (internos, desde su propia perspectiva).
- *En un tiempo y en un espacio propios* (determinados por el investigador).
- De *naturaleza cualitativa* (producen un material tras la situación discursiva).
- En una *conversación guiada* (caracterizada por la no directividad)
- Por una persona cuyo rol es de *moderador/a*”.

Ahora bien, también hemos incorporado la aportación de Callejo (2001) al indicar que no se trata de un grupo previamente constituido, de un grupo “natural”, sino que,

por el contrario, es una reunión fortuita de personas, que puede que se conozcan o no, en un espacio y tiempo determinados.

Los grupos de discusión poseen una serie de características según hagan referencia a su proceso de preparación o de aplicación (Suárez Ortega, 2005) que hemos aplicado al caso concreto de nuestra investigación:

a) A la preparación:

- **Tamaño del grupo:** el número de integrantes puede variar en función de la propia investigación. Debe ser suficientemente grande para que haya diversidad de ideas, pero también pequeño para que todos los participantes puedan intervenir y el propio investigador o investigadora pueda manejarlo.

Nuestro grupo de discusión (Anexo D) estuvo compuesto por tres docentes, una de educación primaria y dos de secundaria. Entendemos que *a priori* puede parecer un número reducido de participantes. Sin embargo, permitió que todos y todas pudieran intervenir con comodidad y extensión, posibilitando un debate en profundidad y resultando idóneo para mantener el control de la situación.

- **Selección de los y las participantes y de los contextos de investigación:** elegir participantes es una cuestión clave para obtener información suficiente y relevante. Deberán tener una serie de rasgos comunes que les ayude a desarrollar el sentido de grupo, pero, al mismo tiempo, una cierta heterogeneidad que garantice la disparidad de perspectivas y fomente la discusión. Además, habrá de tenerse en cuenta el contexto de investigación.

En el presente caso, como se trata de explorar sus opiniones acerca de la introducción de la teoría de la evolución en primaria, el contexto de investigación es la propia educación obligatoria. Y, en cuanto a la homogeneidad de los participantes, comparten un perfil de docente innovador; y su heterogeneidad deriva del desarrollo de su trabajo en diferentes etapas educativas. Así pues, los criterios de selección fueron estar en ejercicio de la docencia, ya sea en la etapa de educación primaria o secundaria, e impartir alguna asignatura de ciencias (*Conocimiento del Medio, Ciencias de la Naturaleza o Biología*).

- **Captación de los y las participantes:** cómo se accede a las personas que queremos que participen y cómo se consigue su colaboración.

Para la captación de nuestros participantes se han utilizado dos vías. La primera fue contactar con docentes de educación secundaria asociados a la propia Facultad de Ciencias de la Educación. La segunda se realizó a través de la responsable del área científica y tecnológica del Centro de Formación y Recursos de A Coruña (CFR) para localizar a cualquier docente de ambas etapas que pudiera estar interesado. Finalmente, aunque hubo más personas interesadas, sobre todo de educación secundaria, solo tres de ellos – una docente de educación primaria (DOC1) y dos de educación secundaria, un hombre (DOC2) y una mujer (DOC3) - pudieron asistir al grupo de discusión por motivos de incompatibilidad horaria.

- **Conocimiento – desconocimiento de los y las participantes:** en el sentido más estricto, por cuestiones de validez, las personas que integren un grupo de discusión no deberían conocerse entre sí. Sin embargo, no acaba de existir un consenso al respecto. De hecho, hay autores que entienden que este ha de ser un criterio a decidir en función de la finalidad que tenga tanto la realización del grupo de discusión como la propia investigación. (Nelson y Frontczack, 1988; Fern, 1982; Finch y Lewis, 2003; citados en Suárez Ortega, 2005).

En la presente investigación, aun cuando contactamos con los participantes por distintas vías, resultaron conocerse todos: en el caso de los dos docentes asociados a la universidad, era de esperarse, pues imparten docencia en la misma titulación; en el caso de la docente de primaria, por ser familiar de un conocido de los otros dos participantes. Ahora bien, no supuso ningún inconveniente. En todo caso, supuso una ventaja, sobre todo para los de secundaria, porque hablaban con más confianza, lo que hacía que fueran intercambiando y puntualizando rápidamente las diversas opiniones.

- **Existencia–inexistencia del grupo:** Aun cuando los y las participantes se conozcan entre sí o formen parte de una misma comunidad, el grupo de discusión que se establece es algo nuevo. Comienza en el momento y el lugar en el que se produce y deja de existir una vez que se ha terminado la sesión.

Nuestro grupo de discusión fue de una única sesión, que se desarrolló en una sala de juntas de la Facultad de Ciencias de la Educación de la Universidad de A Coruña.

b) En cuanto a la aplicación:

- **Se requiere responder a una tarea:** tiene que cumplir con la tarea indicada por el moderador o moderadora, que es la de expresar su opinión. Necesariamente en el discurso producido quedarán inmersos elementos ideológicos, idiosincrásicos y culturales que caracterizarán al grupo como tal.

En el contexto de este estudio, tenían que expresar su opinión acerca de diferentes cuestiones relativas a la introducción la enseñanza de la evolución en la educación primaria: necesidad y/o pertinencia, dificultades que encuentra el alumnado de educación secundaria para comprender este contenido, la existencia o no de controversia, actitud de las familias, contenidos que deberían abordarse (a nivel curricular y/o aula), metodología a emplear, capacidad y formación (inicial y/o continua) del profesorado de educación primaria y secundaria para impartirla...

- **Es una situación discursiva:** los integrantes reflexionan individual y colectivamente sobre una problemática, construyendo, deconstruyendo y reconstruyendo un discurso propio.

A pesar de pertenecer a ámbitos y contextos culturales diferentes, los tres docentes participantes se complementaron muy bien entre sí. Además de expresar su opinión, intercambiaban ideas, introducían nuevas cuestiones, puntualizaban tal o cual aspecto en función de las aportaciones que hacían sus compañeros, compartiendo experiencias vitales - personales y profesionales - que sirvieran para ilustrar su punto de vista o ejemplificar aquello que se estaba discutiendo. Incluso se pedían consejo sobre cómo abordar distintos temas y situaciones, intercambiando impresiones, creando un verdadero discurso de grupo.

- **Exige de moderación:** la obtención de la información se produce mediante preguntas abiertas formuladas por el propio moderador o moderadora, que además ha de procurar la participación efectiva de todos los y las participantes.

Fue la propia investigadora en este caso la que ejerció de moderadora en el grupo de discusión. El ambiente distendido que se estableció desde el principio en el grupo y la fluidez de la conversación hizo innecesario emplear pautas de intervención más rígidas, por lo que su trabajo consistió fundamentalmente en enunciar nuevos interrogantes que sirvieran para enriquecer la discusión y mantenerla en torno al tema de estudio.

- **Comporta el uso paralelo de la observación, indicadores sociales y fuentes documentales:** no es solo atender al discurso que se genera en el grupo de discusión, sino que también hay que prestar atención a cómo se desarrolla el propio encuentro, así como procurar recopilar otros datos que puedan permitir contextualizar y caracterizar al máximo al propio grupo y el tema discutido.

Para ello la investigadora, en su guion de moderación, desarrolló un apartado de observaciones anotando inmediatamente después de que se diera por concluido el grupo de discusión, aquellas cuestiones que consideró pertinentes.

Dentro de la aplicación del grupo de discusión a situaciones educativas que plantea Suárez Ortega (2005), en nuestro caso, como se puede observar, hemos decidido recurrir a su uso combinándolo paralelamente con otras técnicas de investigación, es decir, que no es la única técnica de investigación cualitativa empleada. No obstante, no tiene un papel subsidiario, sino complementario a las demás, en tanto que sirve para explorar otro de los ámbitos del problema a estudiar, esto es, la opinión del profesorado de educación primaria y secundaria a propósito de la posibilidad de tratar la teoría de la evolución en la etapa de educación primaria.

#### 3.3.4. La observación participante

La observación es una de las principales técnicas de recogida de datos dentro de la investigación cualitativa, quizás porque posibilita un acercamiento directo de la persona investigadora a las experiencias que viven personas e instituciones en tiempo real. De este modo, el investigador o investigadora no “necesita” que nadie le cuente cómo han sucedido las cosas porque estaba allí para “verlo” (Rodríguez *et al.*, 1996). En este sentido, es especialmente adecuada para investigaciones sobre entornos y acontecimientos específicos (Angrosino, 2014). De ahí que decidiéramos usarla como medio para estudiar la aplicación en aula de las dos intervenciones didácticas propuestas en este trabajo, una destinada a educación primaria y otra a formación inicial de maestros y maestras.

Ahora bien, la observación participante no es en sí misma un método de investigación, sino una combinación del rol del investigador (de alguna forma participante) con la técnica misma de recogida de datos (la observación), advierte

Angrosino (2014). Así, en función del rol que asuma el investigador o investigadora, Gold (1958, en Angrosino 2014 o Rodríguez *et al.*, 1996), distingue entre:

- **Observador completo**, que se limita a observar en la distancia lo que sucede, por ejemplo, en un aula, sin intervenir de forma activa en ningún momento y procurando que su presencia altere en lo mínimo posible el desarrollo natural de la realidad estudiada.
- **Observador-como-participante**, que se relaciona con los participantes pero no interactúa de forma activa con ellos y ellas porque se encuentra en ese escenario únicamente en calidad de investigador o investigadora.
- **Participante-como-observador**, que se integra en mayor medida en la realidad estudiada, de manera que establece vínculos con las personas que la conforman, pero se le reconoce también su papel de investigador “neutral”.
- **Participante completo**, que o bien pertenece ya desde el inicio a la realidad que investiga (lo que facilita el acceso) o prácticamente “se vuelve uno” con la realidad que investiga, lo que puede hacer peligrar su capacidad investigadora.

Así pues, en el presente estudio la investigadora se ha situado en una posición intermedia entre Observador-como-participante y Participante-como-observador. Aunque su papel como investigadora estaba muy bien delimitado y era un elemento externo al centro, ejerció también como docente al responder preguntas del alumnado, fomentar el diálogo y la discusión en pequeño y gran grupo (compuesto por 25 estudiantes con edades comprendidas entre 10 y 11 años), asistir a la tutora en el reparto del material y en el desarrollo de las actividades, o al impartir la última de las cuatro sesiones que componen la propuesta didáctica.

Esto implicó que la toma de notas tuviera que realizarse *a posteriori*, en lugar de *durante* las sesiones, como habría sido deseable. Igualmente, se combinó la observación participante con otras técnicas de recogida de datos, como la entrevista con la docente y el análisis documental de las producciones escritas de los estudiantes.

Esta combinación de técnicas responde a la recomendación hecha por Angrosino (2014) para reducir el sesgo producido por la observación. Recordemos que la imagen construida y explicada a partir de la observación es una imagen personal e incompleta de esa realidad, por cuanto es la mirada del propio investigador o investigadora (Stake, 1998). En este sentido, se presenta a menudo como un método complementario a la

entrevista y/o al grupo de discusión (y viceversa), porque permite obtener una descripción rica y completa de la realidad estudiada que más tarde servirá de base para la interpretación y análisis cruzado de toda la información recopilada (Angrosino, 2014; Simons, 2011).

### **3.4. El análisis de datos**

En línea con las recomendaciones de diferentes autores, como Flick (2004), Simons (2011) o Miles, Huberman y Saldaña (2013), y como quedó reflejado en el cronograma mostrado anteriormente, el análisis de datos fue ejecutándose al mismo tiempo que se recogían los datos, lo que permitió no solo ir afinando el propio mecanismo de recogida y análisis, sino también ir obteniendo resultados preliminares que guiaran las subsecuentes fases de investigación. Un ejemplo de esta circularidad es la propuesta didáctica destinada a educación primaria que se presenta en este trabajo. Su confección e implementación estuvo informada por la literatura disponible pero también, y sobre todo, por el análisis documental, las entrevistas a especialistas en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales y el grupo de discusión a profesorado en servicio realizados en el contexto del presente estudio.

Para el análisis de datos hemos seguido las etapas de Miles y Huberman (1994):

#### **1. Reducción de datos**

Consiste en simplificar, resumir y/o seleccionar la información disponible para hacerla más manejable. Esta tarea consta a su vez de tres pasos.

Primero, se separan y organizan los datos en segmentos independientes que resultan en sí mismos relevantes. Para ello, se pueden seguir diferentes criterios (Rodríguez *et al.*, 1996); aquí se ha hecho en función de criterios espaciales y temáticos.

A continuación, se identifican y clasifican todas esas unidades, es decir, se realiza la codificación y categorización de la información, ya sea de forma manual y/o a través de software específico. En la presente investigación, se ha combinado la codificación manual con el uso de MAXQDA 2018.2. Además, se ha aplicado un procedimiento mixto de codificación (Rodríguez *et al.*, 1996): algunos códigos fueron desarrollados *a priori*, a partir del marco teórico (p.ej. código “Conc. Altern. No herencia caracteres

adquiridos”), mientras otros fueron creados *a posteriori*, a partir de los propios datos (Gibbs, 2012) (p.ej. código de “Extinción”, como idea nuclear, en el análisis curricular).

Por último, un proceso de jerarquización (Gibbs, 2012) en el que se hace una síntesis o agrupamiento de toda esa batería de códigos y categorías previamente identificados. El resultado es una tabla de códigos estructurada por niveles; p.ej. dimensiones> categorías> códigos> subcódigos, como en este caso.

## **2. Disposición y transformación de datos**

Hace referencia a la presentación “ordenada, abarcable y operativa” de la información para dar respuesta a las preguntas de investigación (Rodríguez *et al.*, 1996, p. 212). Para este segundo paso se decidió seguir el diseño de matrices propuesto por los propios Miles y Huberman (1994), por facilitar el establecimiento de comparaciones entre los datos, alcanzando así niveles de análisis más complejos (Gibbs, 2012).

## **3. Obtención y verificación de conclusiones**

La obtención de conclusiones se refiere al conjunto de conocimientos adquiridos por la persona investigadora en relación con el problema estudiado a medida que analiza e interpreta los datos recabados. En cambio, su verificación remite a la calidad de la investigación, que trataremos en detalle más adelante.

### 3.4.1. El análisis documental del *curriculum*

Se comenzó el análisis documental por la comparativa a nivel de país y estado. Así, después de traducir cada texto legislativo (de ser necesario) y organizar sus contenidos tomando cada apartado como una unidad de análisis independiente, se procedió a su codificación. En un primer ciclo se recurrió a la codificación inicial y descriptiva (Saldaña, 2009). A través de ella se localizaron, seleccionaron y clasificaron los contenidos que aludían a la evolución biológica o a alguna de sus ideas clave, ya fuera de manera implícita o explícita.

Por ejemplo, “Identificar cómo los animales y las plantas están adaptadas al medio en el que viven de distintas formas y que esta adaptación puede conducir a la evolución” (Inglaterra, 6º curso) fue codificado como Adaptación y Evolución, y ambos son nombrados específicamente. En cambio, “3.3. d) Saben que cuando el medio ambiente cambia, algunos animales y plantas sobreviven y se reproducen, mientras que otros



mueren o emigran” (California, 3º curso) recibió el código de Selección natural, además de Cambio del medio y Supervivencia, porque está claramente haciendo referencia a este proceso, aunque no se exprese en esos términos.

A continuación, en el segundo ciclo de análisis, guiado por una codificación focalizada (Saldaña, 2009), se examinaron los contenidos identificados buscando indicios de su posible contribución a la progresiva construcción del modelo de evolución. Para realizar este segundo ciclo de análisis partimos de las ideas nucleares incluidas en la progresión de aprendizaje descrita por los NGSS (NGSS Lead States, 2013), complementadas con el estudio de Lehrer y Schauble (2012). Hemos comenzado aplicando una codificación de carácter inductivo y se ha terminado el proceso de análisis de modo deductivo (Saldaña, 2009). De este modo, una vez codificadas todas las evidencias, se procedió a la agrupación de aquellos códigos que, por su proximidad o interrelación, remitían a una misma idea nuclear; por ejemplo, los códigos Fuentes de variación, Mutación, Reproducción sexual vs asexual, Variabilidad de la descendencia, Variación debida al ambiente y Variabilidad intraespecífica acabaron por asimilarse bajo la idea nuclear de *variación*. Con la estructura de categorías resultante hemos realizado la comparación del *currículum* de los países y Estados seleccionados.

En el caso de las Comunidades y Ciudades Autónomas españolas, se combinó la aplicación de este mismo sistema de categorías con la codificación evaluativa (Saldaña, 2009) para su valorar su grado de explicitación y coherencia.

#### 3.4.2. El análisis de las entrevistas y el grupo de discusión

Siguiendo criterios temáticos y espaciales, comenzamos por organizar los datos disponibles en unidades: en el caso de las entrevistas, por pregunta; en el caso del grupo de discusión, por tema abordado. Seguidamente, se procedió a la síntesis temática de los datos y a su codificación descriptiva (1º ciclo análisis) (Saldaña, 2009).

Se generó así una larga serie de códigos relacionados con las razones que llevaron a los especialistas a trabajar sobre este tema (Interés personal, Experiencia docente, Participación en proyectos...), las dificultades que tuvieron y tienen que enfrentar, como investigadores y/o docentes (Ausencia de material, Dificultad de colaboración con las escuelas como investigador, Falta de apoyo...), su opinión ante la situación de la evolución en la educación española (Insuficiencia, Necesaria para toma de decisiones

informadas, Situación diferencial entre países...) o las recomendaciones en cuanto a qué, cómo y cuándo abordar el modelo de evolución en la etapa de educación primaria (Interés del alumnado, Ideas previas desde infantil, Necesidad de progresión, Edad más adecuada, Explicación y discusión sobre contextos reales, Uso de metodologías activas...), entre otros.

Más tarde este conjunto de códigos sería depurado a través de una codificación focalizada (2º ciclo de análisis) (Saldaña, 2009) en la que se crearon diferentes categorías (“Razones a favor de introducción en EP”, “Metodología (¿Cómo?)” o “Formación del profesorado” o “Papel de la Didáctica de las Ciencias Experimentales”) y dimensiones (“Posiciones”, “Obstáculos” y “Propuestas”...) a partir de las cuales se elaboró la matriz de datos conjunta y se organizó la propia presentación de resultados del capítulo 4.2.

### 3.4.3. El análisis de la propuesta didáctica y el material del alumnado

Con los datos recogidos a través de la observación participante, el material producido por los estudiantes antes, durante y al terminar la secuencia de actividades, y la entrevista con la docente, se han puesto en marcha dos procesos de análisis paralelos, orientados a dar respuesta a preguntas de investigación diferentes:

#### 1. Análisis del desempeño de los estudiantes

Para comprobar en qué medida el alumnado es capaz de operar con las ideas nucleares que servirán de *building blocks* en la construcción del modelo de evolución, se decidió en un primer momento revisar qué ideas habían empleado antes de comenzar la secuencia (prueba de ideas previas, ANEXO A5.1) y al terminarla (actividad de aplicación, ANEXO A5.12). Sin embargo, esta aproximación dejaba fuera todas las conversaciones que el alumnado había mantenido durante las sesiones e incluso el material que había ido produciendo y, por lo tanto, impedía dar respuesta al objetivo planteado.

Fue así como se estimó más pertinente analizar todo el material disponible en su conjunto, incluyendo los extractos de conversaciones recogidos por la investigadora en su diario de investigación – al no ser posible grabar (ni en vídeo ni en audio) al alumnado, por razones de privacidad, como se verá en el apartado 3.6. dedicado a la ética de la investigación –.

Así, atendiendo al esquema sobre el aprendizaje de modelos adaptado por Oliva, Aragón, Bonat y Mateo (2003) a partir de Clement (2000) (ver capítulo 2.2), nos dispusimos a analizar los modelos iniciales (a partir de la prueba de ideas previas), intermedios (por cada sesión) y finales (a partir de la ficha de aplicación) de cada estudiante.

Para ello se recurrió al propio modelo científico escolar propuesto y que hemos representado por medio de un heptágono regular en el que se recogen las siete ideas nucleares antes mencionadas (*biodiversidad, variación, selección natural, adaptación, herencia, ancestros comunes y cambio*) (véase capítulo 4.3. para una descripción más detallada). Asimismo, como no solo estábamos interesadas en saber qué ideas pueden manejar sino también en qué medida son capaces de identificarlas y aplicarlas en diferentes niveles de organización escalar (célula, organismo y población) (Gómez Galindo, Sanmartí y Puig, 2007), subdividimos el heptágono en tres nuevas secciones concéntricas, una por cada nivel:

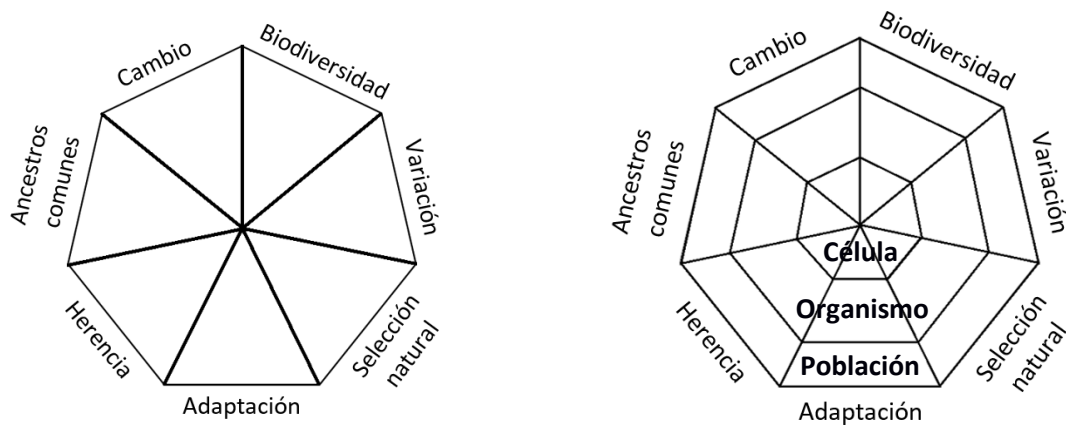


Figura 11. Representación de los tres niveles de organización escalar dentro del modelo de evolución

Habiendo asociado a cada idea nuclear un color, se procedió a colorear cada sección con mayor o menor intensidad dependiendo de si la referencia a cada idea nuclear en cada nivel de organización era explícita o implícita. Si el/la alumno/a no hacía ninguna alusión a un nivel de organización determinado, o bien a la idea nuclear en su conjunto, se dejaba en blanco.

Por ejemplo, la respuesta de Lorena a la pregunta de por qué Sakura se quema durante su viaje a Kenia, pero no así su primo Muruthi, permitió colorear las ideas

nucleares de Adaptación y Biodiversidad a todos los niveles de organización escalar, pero no así otras ideas, a las que no se hace ninguna referencia:

“Porque Sakura *no está adaptada a ese lugar*, tampoco su piel. Entonces la piel de su primo es más oscura por tener *eumelanina, que protege más del sol* y así no se quema tanto. Pero Sakura tiene *feomelanina que le da un tono de piel más claro y protege menos*, entonces se quema antes”.

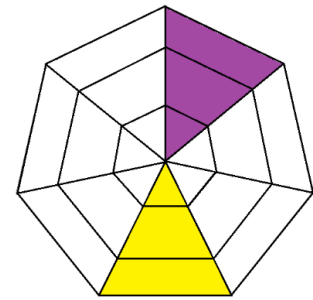


Figura 12. Ejemplo de análisis del material producido por el alumnado.

En este punto surgieron dos nuevos problemas: por un lado, no estábamos capturando si reconocían interacciones entre los distintos modelos; por el otro, el análisis y representación de los resultados sesión a sesión impedía obtener una imagen de conjunto sobre la capacidad del alumnado, que en función de lo que hubiera respondido en cada ocasión podía “ganar” o “perder” capacidad operativa, tanto en número de ideas como de niveles.

Para resolver la primera cuestión se barajó la posibilidad de crear un nuevo modelo que se centrara específicamente en esa conexión entre niveles. Para ello se irían coloreando tantas secciones como número de niveles abordados, en orden creciente, desde el centro hacia fuera, lo que resultaba además muy intuitivo para comprender la exposición de resultados. No obstante, esto agravaba el segundo de los problemas, cuya solución pasaba por unificar todos aquellos modelos intermedios y presentar un único modelo “final” que recogiera todo el trabajo realizado por el alumno o alumna a lo largo de la secuencia.

Así pues, decidimos finalmente producir dos modelos para cada estudiante: uno (“inicial”) codificaría las ideas previas; el otro (“final”) tendría en cuenta la secuencia en su globalidad e informaría de la interacción entre distintos niveles de organización escalar a través de la discontinuidad de la línea divisoria entre secciones. Por ejemplo:

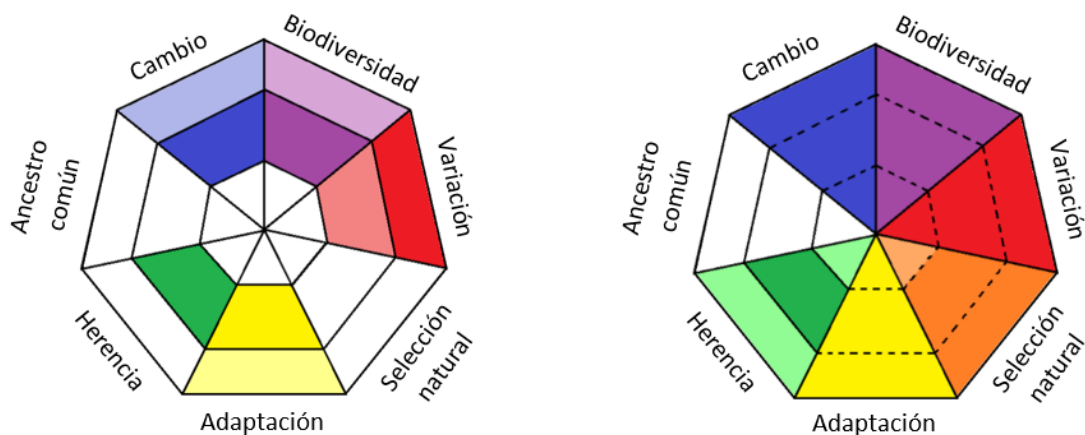


Figura 13. Ejemplo de modelo inicial (izquierda) y modelo final (derecha) de un alumno

Este cambio se justifica además en el hecho de concebir la secuencia como una enseñanza conjunta y progresiva de las ideas nucleares que construyen el modelo, por lo que debían tenerse en consideración todas las respuestas, independientemente de la fase en que aparecieran. Recordemos que estamos hablando de una secuencia de tareas destinada a la introducción de estas “ideas nucleares”, para comprobar si es posible su tratamiento con éxito en aula. Así que cuando hablemos de modelo final estaremos refiriéndonos al resultante de la secuencia en su globalidad.

Tampoco nos pareció especialmente relevante realizar una valoración individual del progreso de cada estudiante, ya que, una vez más, nuestro propósito se centra en ver en qué medida el alumnado de educación primaria puede operar con esas ideas en un aula.

Es necesario puntualizar que la secuencia de actividades se desarrolló en cuatro sesiones “dobles”, en aquellos días y horarios en los que el grupo tenía al menos dos sesiones de clase consecutivas con su tutora, que les imparte, entre otras, el área de Ciencias de la Naturaleza. Al coincidir estos horarios con los de la clase de apoyo del alumnado con necesidades específicas de apoyo educativo, no disponemos de material producido por estos estudiantes. De ahí que se hayan analizado los datos de 22 del total de 25 estudiantes.

## 2. Análisis de la secuencia didáctica

Para identificar las fortalezas y debilidades de la propuesta, y así proponer mejoras, se sometieron las observaciones y la entrevista de la docente a un proceso conjunto de codificación inicial (1º ciclo de análisis) y focalizada (2º ciclo de análisis) (Saldaña,

2009). Se realizó a través del MAXQDA, en forma similar al análisis de las entrevistas y el grupo de discusión, dado su formato discursivo.

### **3.5. Calidad de la investigación**

En investigación cualitativa, dice Flick (2015), la calidad deja de expresarse en términos de estandarización y control y en su lugar se convierte en una cuestión relativa al modo en que se gestiona el estudio, es decir, hace referencia a la solidez de la investigación como un todo. Esto incluye tanto el diseño, como la ejecución y la propia difusión de la investigación.

Para cada uno de estos tres niveles, establece tres requisitos para lograr que la investigación sea una investigación de calidad: indicación, adecuación y apertura a la diversidad del plan de investigación; rigor y creatividad, uniformidad y flexibilidad, criterios y estrategias para promover la calidad de la investigación durante su realización; y transparencia, retroalimentación y adaptación a la audiencia a la hora de informar de los hallazgos. A continuación los discutimos más pormenorizadamente.

#### 3.5.1. Calidad de la investigación en relación con el diseño y la planificación de la investigación

- a) **Indicación**, es decir, que el tipo de investigación, diseño, enfoque y método(s) escogidos sean los más pertinentes (*indicados*) para la cuestión estudiada, la pregunta de investigación formulada, el conocimiento previo y la población, tomando la decisión de forma clara, explícita y meditada, no por simpatía.

Como se ha ido viendo en apartados anteriores, cada una de las decisiones tomadas (sobre metodología, técnicas de recogida y análisis de datos, selección de fuentes documentales y personales, diseño de las propuestas didácticas, entrada al centro y tratamiento de los datos...) ha venido motivada por la revisión de la literatura, los interrogantes planteados, el tema y el contexto de investigación.

Dada la novedad de esta cuestión en el contexto español, estimamos más productivo abarcar tres ámbitos diferentes, pero completamente interrelacionados: *currículum*, formación docente e intervención en el aula. Y para ello debíamos emplear diferentes instrumentos y técnicas de recogida y análisis de datos, puesto que unos resultarían más efectivos en unos casos o en otros: la observación participante sirvió para capturar el

desarrollo de las sesiones de aula mientras que las entrevistas y el grupo de discusión permitieron descubrir diferentes puntos de vista sobre qué, cómo y cuándo incorporar el modelo evolutivo en la educación primaria. Del mismo modo, a la hora de escoger qué otros países o estados debíamos analizar, nos pareció más productivo revisar aquellos que ya lo incluían. Así pues, su selección no fue caprichosa ni al azar, sino basada en la literatura disponible e incluso aportaciones de los especialistas entrevistados.

- b) **Adecuación**, es decir, si todas las decisiones tomadas encajan con el problema y con el campo (situación, contexto, personas) en el que se lleva a cabo la investigación. Esto incluye prepararse lo máximo posible y estar dispuesto a reformular lo que sea y cuanto sea necesario.

Inicialmente se tenía previsto que todas las entrevistas fueran presenciales o por videoconferencia; sin embargo, las incompatibilidades de agenda y horario, o incluso las preferencias personales de cada persona entrevistada, obligaron a cambiar esta previsión inicial. En su lugar, atendiendo a la literatura disponible, se dispuso hacerlas vía correo electrónico, a través de un guión de entrevista conformado por preguntas concretas, en lugar de temas, y acordando la posibilidad de ampliar la información de ser necesario.

- c) **Apertura a la diversidad**, es decir, aunque al diseñar se busca concretar lo máximo posible el problema de estudio, también habrán de contemplarse medidas para atender, buscar y manejar la variedad de casos que presenta el campo.

Por ejemplo, decidimos analizar el programa curricular de todas y cada una de las Autonomías que conforman nuestro país para obtener un mejor diagnóstico de la situación, identificando puntos en común pero también diferencias y, por tanto, distintos modelos de aproximarse a la organización y contenido del área de Ciencias de la Naturaleza en la etapa de educación primaria. Igualmente, entrevistar a profesionales de nacionalidades y contextos de trabajo muy dispares serviría para recoger esta diversidad.

### 3.5.2. Calidad de la investigación en relación con la puesta en marcha y la ejecución de la investigación

- a) **Rigor y creatividad**, esto es, ser estricto y consecuente en la aplicación del método, pero manteniendo una actitud creativa a nivel teórico, conceptual, práctico y metodológico, que lleva a generar nuevas ideas – no solo a comprobar lo esperado – y se adapte al campo.

Se confeccionaron sendos guiones de entrevista para los especialistas, así como para el grupo de discusión. Sin embargo, ambos sufrieron modificaciones, bien *a priori*, según se tratara de una entrevista en persona o vía correo electrónico, en su despacho o en el contexto de una reunión internacional, o sobre la marcha, por la emergencia de nuevas temáticas, como las dificultades en el aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza derivadas de la aplicación del plan de plurilingüismo de la Xunta de Galicia, que comentaron los docentes del grupo de discusión.

- b) **Uniformidad y flexibilidad**, manteniendo el equilibrio entre ambos: al tiempo que se opera del mismo modo para cada uno de los casos explorados, también se saca provecho de las singularidades que puedan aparecer.

Por ejemplo, al hacer entrevistas, resulta conveniente hacer a todos los especialistas las mismas preguntas, estableciendo como una suerte de protocolo, porque garantiza que estamos preguntando a cada uno de ellos sobre las mismas cuestiones y empleando los mismos términos, lo que facilita además la comparación de resultados posterior. Por esta razón decidimos hacer a todos las mismas preguntas.

No obstante, también es importante mantener una actitud lo suficientemente flexible como para adaptar las preguntas a cada participante y curso de cada entrevista; por ejemplo, omitiendo preguntas que el entrevistado/a ya ha contestado a raíz de una pregunta anterior, como sucedió con la primera entrevistada, que introdujo la cuestión de trabajar la evolución en educación primaria a propósito de una de sus publicaciones, al comienzo mismo de la entrevista, cuando esta pregunta se localizaba más adelante en el guion. Otra posibilidad es formular nuevas preguntas sobre la marcha para profundizar en algún aspecto que mencione el entrevistado/a y que pueda ser interesante para la investigación; así ocurrió con el entrevistado nº9, al que preguntamos sobre el enfoque *evo-devo* por estar especialmente familiarizado con él.



Igualmente, para mantener este equilibrio entre uniformidad y flexibilidad, redujimos el número de preguntas a cuatro grandes cuestiones en la segunda fase de entrevistas a especialistas, en lugar de las ocho iniciales (más detalladas, aunque preguntando por la misma información). Al realizarse en el contexto de un *workshop*, sin haber tenido contacto previo con los participantes y en modalidad presencial, decidimos que lo más oportuno sería hacer un guion más breve y conciso, que permitiera recabar información clave, pero sin exigir *a priori* demasiado tiempo de los participantes. En función de cómo fluyera la conversación, la investigadora podría concretar y/o profundizar en unos u otros aspectos.

- c) **Establecimiento de criterios**, como la validez, fiabilidad y objetividad (o credibilidad, transferibilidad, dependencia y confirmabilidad, en términos de Lincoln y Guba, 1985) y **estrategias para cumplir con esos criterios**, como la triangulación y la inducción analítica (Flick, 2015), la validación del respondiente (Simons, 2011) o la reflexividad y la comparación constante (Gibbs, 2012).

La *validez* hace referencia al grado en que resultados y conclusiones se corresponden con la realidad (Goezt y LeCompte, 1988): se compone de una validez externa, que hace alusión a la comprensibilidad del estudio y su grado de “comparabilidad” con otras investigaciones relacionadas; y de una validez interna, que alude a la correspondencia entre el significado atribuido a la realidad por los participantes y el conferido por el investigador o investigadora.

La *fiabilidad*, en cambio, remite a la posibilidad de replicar el estudio de manera que se obtengan los mismos resultados. Nuevamente, habremos de distinguir entre externa (posibilidad de que un investigador o investigadora externo/a pueda conseguir los mismos resultados al hacer el mismo estudio), e interna (correspondencia entre los datos recogidos por el investigador o investigadora y la percepción de los participantes sobre los mismos (Goezt y LeCompte, 1988).

Finalmente, la *objetividad* se concibe en términos de coherencia, en el sentido de que diferentes investigadores o investigadoras, dados los mismos datos, sean capaces de llegar a las mismas conclusiones (Flick, 2014).

Así, para lograr cumplir con todos estos criterios, en la presente investigación nos hemos decantado por la triangulación, la validación del respondiente, la reflexividad y la comparación constante:

- La *triangulación* es definida por Flick (2004) como una combinación de métodos, grupos de estudio, entornos locales y temporales, y perspectivas teóricas diferentes al ocuparse de un fenómeno. Una suerte de análisis cruzado (Simons, 2011) en el que se incluyen cuatro tipos distintos:
  - *triangulación de datos*, referida al empleo de distintas fuentes de información;
  - *triangulación de teorías*, a través del uso de distintos enfoques;
  - *triangulación de investigadores*, es decir, la existencia de más de un investigador para contrarrestar la influencia que pueda tener el investigador como
    - persona sobre la investigación;
  - *triangulación de metodologías*, mediante el uso de distintas estrategias dentro del mismo método o el empleo de diferentes métodos.

En nuestro caso, cumplimos con dos de ellas: la triangulación de fuentes, ya que hemos contado con programas curriculares, tanto nacionales como internacionales, especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales, profesorado de educación primaria y secundaria, estudiantes de educación primaria y futuros maestros y maestras de educación primaria; y la triangulación de metodologías, al recurrir al análisis documental, la entrevista, el grupo de discusión y la observación participante.

- La *validación del respondiente* (Simons, 2011) consiste precisamente en devolver el material a los participantes para comprobar que el investigador o investigadora ha logrado captar el significado que tiene la realidad para ellos y ellas. Se analiza con los implicados la exactitud, adecuación e imparcialidad de las observaciones, representaciones e interpretaciones realizadas por la persona que investiga.

Esta cuestión queda resuelta en nuestro trabajo mediante la devolución de todo el material a los participantes, dejándoles la posibilidad de añadir, modificar, puntualizar o eliminar todo aquello que consideren oportuno. Así ocurrió con algunas

entrevistas a especialistas: algunos añadieron nuevos datos, pero otros puntualizaron e incluso llegaron a eliminar algunos comentarios que habían hecho.

- La *reflexividad* parte del reconocimiento por parte del investigador o investigadora de su subjetividad dentro de la investigación y su intento por ponerla en evidencia para minimizar sus efectos en la medida de lo posible. Se trata de hacer explícitas sus ideas iniciales, describir las relaciones de poder y las formas de interacción que tienen lugar entre investigador/a y participantes, explicar cómo interpreta la realidad y cómo ha ido variando en sus interpretaciones...

Para ello se dispuso el uso de un diario de investigación en el que la investigadora fue recogiendo las experiencias de su día a día, así como las reflexiones que le suscitaban acontecimientos, informaciones, interacciones con compañeros y compañeras, con su directora de tesis y otro profesorado, o con participantes de la investigación... y las decisiones que se fueron tomando junto con las razones que suscitaron dichas elecciones.

- La *comparación constante* (Gibbs, 2012) se refiere a realizar comparaciones de alto nivel que lleven a desarrollar ideas analíticas sobre los datos, proceso que se ha de llevar a cabo durante todo el periodo de análisis. Permite comprobar la uniformidad y precisión de códigos y categorías al tiempo que se pueden identificar relaciones entre unos y otros aspectos, de ser el caso.

Esto puede observarse en la evolución que sufrió la tabla de códigos del análisis documental del material curricular: en un primer momento se llegaron a producir alrededor de una veintena de códigos diferentes. Sin embargo, según se fueron cruzando unos programas curriculares con otros, y atendiendo a la revisión bibliográfica, fueron experimentando numerosos cambios, desde adiciones y supresiones hasta fusiones y redefiniciones. Lo mismo ocurrió con las categorías de entrevista y grupo de discusión, que acabaron dando fruto a una matriz conjunta de análisis relacional.

Así mismo, dentro de la calidad de la investigación podemos tener en cuenta otros factores, como son la riqueza de la información obtenida, por ejemplo, en las entrevistas (Kvale, 2011); la originalidad del trabajo (Flick, 2014); o el reconocimiento de las limitaciones, que recogemos al final del presente trabajo.

### 3.5.3. Calidad de la investigación en relación con la difusión

- a) **Transparencia:** dado que el informe es el que habla realmente de la calidad de la investigación (Lüders, 1995), hay que informar al lector no solo de nuestros hallazgos sino también de cada uno de los pasos que fuimos dando, los motivos detrás de cada decisión y cómo hemos llegado a estos resultados y conclusiones. De esa manera se puede valorar el trabajo en su conjunto y estimar si habría (o no) actuado igual, llegado a las mismas conclusiones, o si sería aplicable (y en qué medida) a su contexto.

En este sentido, se ha tratado de describir con detalle, tanto a nivel teórico como metodológico, qué se ha hecho, por qué, cómo y qué se ha descubierto, para que cualquier persona que acceda al texto pueda seguir el proceso y así valorarlo con criterio.

- b) **Retroalimentación y controles de los miembros,** es decir, haber recogido “la reacción del campo”: de los participantes (validación comunicativa, retroalimentación...) y de la comunidad científica (colegas, congresos...), y dar cuenta de cómo ello influyó en la investigación.

La validación del respondiente, explicada en el apartado anterior, ha servido no solo para contrastar percepciones sino también para recoger las impresiones de los participantes sobre la investigación y el papel que desempeñan en ella. Igualmente, podemos incluir aquí las modificaciones que se incorporaron a la propuesta didáctica de educación primaria a partir de las peticiones y sugerencias formuladas por la docente, o también por la propia fotógrafa Angélica Dass, cuando solicitamos emplear algunas de sus fotografías del proyecto *Humanae* para la primera actividad de introducción y motivación de la propuesta didáctica (véase apartado 4.4)

Por lo que se refiere a la reacción de la comunidad científica, queda cubierta mediante:

- Publicación de artículos:
  - Vázquez-Ben, L. (2016). Biodiversidade e evolución no *currículum* español de educación primaria. *Revista AmbientalMente Sustentable*, 2, 21 - 34.
  - Vázquez-Ben, L. y Bugallo-Rodríguez, Á. (2018). El modelo de evolución biológica en el *currículum* de Educación Primaria: Un análisis comparativo en

distintos países. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3, 3101-3113.

- Asistencia y presentación de comunicaciones en congresos, concretamente:
  - XIII Congreso Internacional Galego-Portugués de Psicopedagogía (A Coruña, 2015).
  - Workshop Future Directions in Genetics Education (Ginebra, 2016).
  - X Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias (Sevilla, 2017).
  - XV Foro Internacional sobre la Evaluación de la Calidad de la Investigación y de la Educación Superior (FECIES) (Santander, 2018).
  - XII Conference of European Researchers in Didactics of Biology (ERIDOB) (Zaragoza, 2018).
  - 28 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales (A Coruña, 2018).
- Participación en la 4ª Escuela de Doctorado promovida por la Asociación Española de Profesores e Investigadores de Didáctica de las Ciencias Experimentales (ÁPICE), donde asistimos a varios talleres de investigación y además recibimos asesoramiento por parte de un nutrido grupo de tutores especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales sobre nuestras investigaciones en particular, tanto a nivel individual como grupal. Precisamente, fue a raíz de las recomendaciones hechas por mis dos tutores de la Escuela de Doctorado que decidí renunciar al objetivo de investigación relacionado con la formación docente inicial y, en su lugar, centrarme por completo en el desempeño del alumnado de educación primaria.
- Estancia predoctoral de 3 meses en Rutgers University (New Jersey, EEUU) junto a la Pfa. Dra. Ravit Golan Duncan y su grupo de investigación. Durante este tiempo participé activamente en los proyectos en curso, como PRACCIS o I2LeaPs, así como en otros nuevos; uno de ellos en colaboración con Geniconect (Boston), el otro con la Dra. Michal Haskel-Ittah, del Weizmann Institute de Israel. De este último proyecto se ha derivado la siguiente publicación, recientemente aceptada y aún en prensa al momento de depositar el presente documento:

Haskel-Ittah, M.; Duncan, R.; Vázquez-Ben, L. & Yarden, A. (aceptado). Reasoning about genetic mechanisms: affordances and constrains for learning. *Journal of Research in Science Teaching*, X, XX-XX. DOI:10.1002/tea.21595

Además, actualmente formo parte de la COST Action CA17127. *Building on scientific literacy in evolution towards scientifically responsible Europeans* (EuroScitizen), donde participo en el grupo de trabajo n°1, que busca evaluar el conocimiento y actitudes frente a la evolución biológica en Europa, y en el grupo de trabajo n°2, que estudia la enseñanza y aprendizaje de la evolución biológica en el ámbito de la educación formal.

- c) **Adaptación de las presentaciones a las audiencias**, esto es, adoptar el estilo más adecuado a la audiencia para la que escribimos (academia, profesionales, políticos/as...), haciéndolo más o menos detallado, resaltando unos u otros aspectos.

En este caso, al tratarse de una tesis doctoral, el discurso está orientado hacia un público especializado en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias Experimentales y aún en las corrientes más innovadoras, como son la enseñanza basada en modelos y la modelización en el aula. No obstante, tal vez por mi formación como maestra de educación primaria y mi deseo de que este trabajo no quede restringido al mundo académico, también he intentado que los materiales de la propuesta didáctica, así como el informe de resultados y, sobre todo, las conclusiones, sean asequibles a un público más amplio. Mi propósito es que cualquier docente de la etapa de educación primaria, o de secundaria, en formación o en servicio, o cualquier otra persona interesada en este tema, pueda acceder al documento y aprovecharlo de algún modo, quizás para aplicar la propuesta en su aula, haciendo las modificaciones que considere oportunas, o simplemente para informarse del estado de la cuestión.

### **3.6. Ética de la investigación**

Ninguna investigación es intrínsecamente neutra. Muy al contrario, los valores y principios éticos (y prejuicios) del investigador o investigadora van a condicionar en mayor o medida el proceso, desde el principio hasta el final (Rodríguez *et al.*, 1996). Por esta razón, Flick (2014) concibe la ética como un elemento más de la calidad de la investigación, al que deberemos prestar especial atención en todas y cada una de las fases del estudio. Al fin y al cabo, como dice Kvale (2011), la investigación debe contribuir no solo al aumento de conocimiento sino también – quizás, sobre todo – a la promoción del bienestar humano. Ahora bien, ¿qué principios deben regir una

investigación para conseguir que sea éticamente adecuada y qué medidas deben tomarse para lograrlo?

Flick (2014) enumera algunos principios básicos, como el principio de beneficencia (y no maleficencia), la justicia, el respeto y la confidencialidad, la honestidad y la veracidad, la precisión y la transparencia. A ellos podríamos añadir los criterios de relevancia e imparcialidad en el tratamiento de los datos, o la necesidad de negociación (Simons, 2011). Ante todo, se trata de desarrollar una práctica ética y políticamente íntegra, profesional y consciente, que permita superar los problemas que vayan surgiendo en relación con esta cuestión y así conseguir que el perjuicio sea el mínimo posible (si no inexistente), o al menos, muy inferior al beneficio (Gibbs, 2012; Kvale, 2011).

Así pues, el primer paso es contar con el asentimiento de las personas a ser investigadas, e incluso grabadas o fotografiadas, de ser el caso, como sucede en la presente investigación. Y para ello habrá que informarlos adecuada y detalladamente sobre cuáles son los propósitos de la investigación, qué actividades se van a llevar a cabo y cuáles pueden ser las repercusiones de los hallazgos; sobre todo, cómo puede afectarles (Erickson, 1989; citado en Rodríguez *et al.*, 1996). Esto es lo que se conoce como el *consentimiento informado*, que Flick (2014) define como un contrato mutuo, entre investigadores y participantes, en el que se establecen los términos bajo los que se desarrollará la investigación; términos que serán fruto de la negociación entre ambas partes y que se materializarán en forma de *contrato de confidencialidad*.

En este documento, que deberá ser firmado por ambas partes, se concretará cuál es el objetivo de investigación, qué se espera del participante, cómo y cuándo se procederá a recoger y analizar los datos..., así como si los participantes aceptan (o no) ser grabados/fotografiados, si desean permanecer (o no) en el anonimato, bajo qué condiciones se permitirá (o no) la divulgación de la información recabada durante la investigación, cómo se van a proteger esos datos, y su derecho a modificar, corregir, añadir o eliminar sus aportaciones mediante la devolución del material.

De este modo, para esta investigación se han confeccionado hasta cuatro modelos diferentes de contrato de confidencialidad, dependiendo del público, su función y tipo de participación dentro de la investigación:

- 1. Contrato de confidencialidad para la entrevista de los especialistas en Didáctica de las Ciencias Experimentales:** incluía su decisión sobre dar a conocer (o no) su identidad y atribuirle (o no) sus citas textuales, así como el compromiso de la investigadora de respetar lo acordado y devolver el material. Por lo que se refiere a su afiliación, se acordó que era necesario rebelar la institución a la que pertenecían para reflejar la diversidad de expertos y expertas consultados, tanto a nivel nacional como internacional.

Este contrato se empleó con las dos primeras entrevistas de carácter presencial, en las que se presentaron y firmaron dos copias *in situ*, al momento de la realización de la actividad; una para el participante y otra para la investigadora. En cambio, para las entrevistas realizadas por correo electrónico, se decidió que con su consentimiento por escrito en ese mismo mensaje sería suficiente. Este criterio también se aplicaría más tarde con las entrevistas presenciales realizadas durante el *workshop* “Future Directions in Genetics Education”, al comprobar que resultaba más cómodo y conveniente para los propios entrevistados.

De entre todas las personas entrevistadas, ocho dieron su consentimiento expreso a que apareciera no solo la institución en la que trabajan sino también su nombre. Sin embargo, hubo dos que no respondieron y dos que decidieron que preferían que solo apareciera su afiliación. Por esa razón, decidimos mantener a todos ellos y ellas en el anonimato.

- 2. Contrato de confidencialidad para los docentes de educación primaria y secundaria que participaron en el grupo de discusión:** al igual que en el contrato de confidencialidad de la entrevista presencial, se solicitó a los participantes que firmaran el contrato de confidencialidad en el momento mismo de realizar el grupo de discusión. Y nuevamente, como en las entrevistas, se dio la opción a los participantes de determinar si deseaban permanecer (o no) en el anonimato y si podrían serles atribuidas (o no) sus citas textuales, además del compromiso a respetar lo pactado y devolver el material para su revisión. Ahora bien, en este caso, dimos la posibilidad de mantener el nombre del centro en el que trabajaban en el anonimato, ya que no podíamos prever cuáles podrían ser las consecuencias de su participación y no era necesario para la investigación.

Todo el profesorado se mostró conforme a grabar la conversación mediante una grabadora y también dieron su consentimiento a que apareciera tanto su nombre



como el del centro educativo para el que trabajan. Sin embargo, por inseguridad sobre las repercusiones que este trabajo pueda tener, y que también, como acabamos de ver, deben ser valoradas, entendimos que nuevamente sería mejor mantener la confidencialidad.

**3. Contrato de confidencialidad para el centro educativo de educación primaria:** firmado y sellado por la secretaría del centro y la docente del grupo, y con el conocimiento y aceptación expresa de la dirección.

Autores como Simons (2011) nos recuerdan el cuidado especial que requiere trabajar con niños y niñas, para garantizar que obtenemos su consentimiento informado, aun cuando ellos no estén en condiciones de firmarlo.

Fue por eso que desde el primer momento abordamos la cuestión con la docente, acordando que no se incluiría en ningún momento el nombre real del alumnado (los nombres que se utilizan en la exposición de resultados y en los anexos son completamente ficticios). Tampoco se harían grabaciones (ni de vídeo ni de audio) ni se tomarían fotografías durante la implementación de la propuesta didáctica. Y ello a pesar de que el centro cuenta con el permiso de las familias para fotografiar a la práctica totalidad del grupo de alumnos y alumnas participante y subir dichas fotografías al blog del centro.

Precisamente la existencia de este blog suscitó una cuestión ética que la investigadora no había previsto: como la propuesta didáctica de la investigación se enmarcaba en el Proyecto Documental Integrado del centro, la encargada del blog esperaba poder hacer una entrada al respecto, para que las familias pudieran ver qué estaban haciendo sus niños y niñas como parte de dicho proyecto, tal y como veían haciendo para otras actividades complementarias, como visitas de autores y autoras de literatura infantil, celebraciones de “Días de”, etc. Sin embargo, esta publicación podía representar un problema a la hora de defender mi tesis si no se tomaban las medidas adecuadas. Fue la propia docente quien me consultó acerca de esta posibilidad.

Para solucionarlo, incluimos una cláusula en la se estableció que en cada publicación (al momento de redactar el trabajo no se sabía cuántas entradas de blog se harían, si una explicando toda la propuesta, como finalmente se hizo, o varias, una por cada sesión) se haría constar mi nombre, el título de la tesis y los códigos del proyecto MINECO y de la ayuda a la etapa predoctoral de la Xunta

que disfruté durante el desarrollo de la investigación. Asimismo, deberían notificarme cualquier otro uso que desearan hacer de dicho material.

La docente además facilitó a la investigadora el texto que se publicó finalmente – elaborado por uno de los alumnos – para asegurarse de que la información facilitada no causaría ningún perjuicio (en un primer momento, el alumno llegó a ser muy exhaustivo en sus descripciones).

Con respecto a las familias, se acordó que lo mejor sería que fuera la propia docente del grupo la que se pusiera en contacto con ellas. Ninguna declaró su oposición a la investigación.



## **4. RESULTADOS**

### **4.1. La evolución biológica en el *currículum* de educación primaria**

Numerosos especialistas en Didáctica de las Ciencias citados en el marco teórico defienden iniciar la construcción del modelo de evolución biológica en los primeros años de escolaridad. Este tratamiento temprano facilitaría la progresión en su aprendizaje, evitaría parte de los obstáculos en los años posteriores y capacitaría al alumnado para la toma de decisiones informadas.

Es por ello que uno de los primeros pasos en nuestra investigación fue el análisis del *currículum* de educación primaria, tanto a nivel nacional, para conocer el estado de la cuestión en nuestro país, como internacional, para explorar qué tratamiento se concede a esta teoría en otros países e identificar qué contenidos, o ideas nucleares, deberían incluirse (y cómo) en este nivel educativo.

#### **4.1.1. Tratamiento curricular de la evolución biológica en diferentes países**

Como ya se explicó en el capítulo metodológico, se han revisado los textos curriculares de países de referencia en los ámbitos científico y/o educativo (Estados Unidos, Francia, Reino Unido y Suecia) o de gran proximidad cultural (Portugal), y todos ellos en pleno proceso de reforma curricular al momento de realizar este estudio. Precisamente, durante el transcurso de esta investigación, California y Nueva York han actualizado sus marcos curriculares, adaptándolos al *Framework for K –12 Science Education* (NCR, 2012) y a los *Next Generation Science Standards* (NCR, 2013), mientras que Portugal ha sustituido su *Organização curricular e programas. 1º Ciclo do Ensino Básico* (ME-DEB, 2004) e incluso sus Metas curriculares de Ensino Básico para as Ciências Naturais (MEC, 2013) por las *Aprendizagens Essenciais (AE) de Estudo do Meio* (1º ciclo, de 1º a 4º curso) y *Ciências Naturais* (2º ciclo, de 5º a 8º) en 2018.

La comparativa inicial de estos países ha sido publicada en Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez (2018). En las presentes líneas se combinan algunos de los aspectos mencionados en dicha publicación con nuevos resultados del presente estudio.

El análisis (Tabla 7) ha permitido comprobar que ni España ni Portugal contienen referencia alguna a la evolución biológica en su marco general, aunque sí está presente en el de Francia, Estados Unidos o Suecia. De hecho, en este último país se considera

principio organizador de todos los contenidos de la materia, razón por la que se ha omitido del segundo ciclo de análisis, al entender que su presencia será constante, aunque no necesariamente explícita. Tampoco Reino Unido habla de evolución en su marco general, pero sí incluye un bloque específico sobre Evolución y Herencia en 6º curso.

Tabla 7. Referencias explícitas a la evolución biológica en los marcos curriculares generales analizados (Reproducción Tabla nº2 de Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2018)

<p style="text-align: center;"><b>SUECIA</b> <i>Curriculum for the compulsory school, preschool class and the recreation centre</i> (2011)</p>	<p><b>Science Studies, 3.9. Biology, Aim</b> (p. 105) “Teaching should also contribute to pupils developing familiarity with the concepts, models and theories of biology, as well as an understanding of how these are developed in interaction with experiences from studies of nature and people. [...] Through teaching, pupils should get an insight into the world view of science with the theory of evolution as a foundation, and also get perspectives on how this has developed and what cultural impact it has had.”</p>
<p style="text-align: center;"><b>FRANCIA</b> <i>Socle commun de connaissances, de compétences et de culture 2015 Programmes pour les cycles 2, 3 et 4</i> (2015)</p>	<p><b>Domaine 4: les systèmes naturels et les systèmes techniques</b> (p.7) “Pour atteindre les objectifs de connaissances et de compétences de ce domaine, l’élève mobilise des connaissances sur: - les principales fonctions du corps humain, les caractéristiques et l’unité du monde vivant, l’évolution et la diversité des espèces.”</p>
<p style="text-align: center;"><b>ESTADOS UNIDOS</b> <i>Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas</i> (2012)</p>	<p><b>Disciplinary Core Ideas</b> (p.3): <i>Life Sciences</i> <i>LS3: Heredity: Inheritance and variation of traits</i> <i>LS4: Biological evolution: Unity and diversity</i></p> <p><b>Dimension 3. Disciplinary Core Ideas Life Sciences</b> (p.139-140) <i>A core principle of the life sciences is that all organisms are related by evolution and that evolutionary processes have led to the tremendous diversity of the biosphere. [...] Evolution and its underlying genetic mechanisms of inheritance and variability are key to understanding both the unity and the diversity of life on Earth. [...] Finally, the core ideas in the life sciences culminate with the principle that evolution can explain how the diversity that is observed within species has led to the diversity of life across species through a process of descent with adaptive modification. Evolution also accounts for the remarkable similarity of the fundamental characteristics of all species.</i></p>
<p style="text-align: center;"><b>REINO UNIDO</b> <i>National Curriculum in England: framework to key stages 1 to 4 Science programmes KS 1-2</i> (2013)</p>	<p style="text-align: center;">No aparece en marco general.</p> <hr/> <p><b>Evolution and inheritance</b> (Year 6 programme). Statutory requirements (p. 32)</p>
<p style="text-align: center;"><b>PORTUGAL</b> <i>Organização curricular e programas. 1º Ciclo do Ensino Básico 2004 Metas curriculares de Ensino Básico para as Ciências Naturais</i> (2013)</p>	<p style="text-align: center;">No aparece en marco general.</p>
<p style="text-align: center;"><b>ESPAÑA</b> <i>Real Decreto 126/2014 por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria Orden ECD/686/2014 por la que se establece el currículo de la Educación Primaria</i></p>	<p style="text-align: center;">No aparece en marco general.</p>

Los resultados se han recogido en la siguiente tabla (8), donde se sintetizan las referencias que contiene cada país o estado a cada una de las ideas nucleares, que sirven de base para construir el modelo de evolución (*biodiversidad, variación, selección natural, adaptación, herencia, ancestros comunes y cambio*; véase apartado 4.3). Se ha añadido la noción de *extinción* por su tratamiento recurrente y, a menudo, diferenciado dentro del *currículum*, sobre todo, en la normativa española. En realidad, este fenómeno estaría incluido en las ideas nucleares de *biodiversidad, adaptación y selección natural*.

Tabla 8. Presencia de ideas nucleares del modelo de evolución en los *currícula* de diversos países y estados, incluido España, por curso y edad (Adaptación de Vázquez-Ben y Bugallo-Rodríguez, 2018).

Idea nuclear	New York	California	Inglaterra	Francia	Portugal	España
Herencia	K – 4; 5 – 8 (5 a 14 años)	2º (7-8 años)	6º (10-11 años)			
Variación	K – 4; 5 – 8 (5 a 14 años)	2º (7-8 años)	6º (10-11 años)	4º - 6º (9 a 12 años)		
Cambio	5 – 8 (10 a 14 años)	2º (7-8 años)		4º - 6º (9 a 12 años)		
Ancestros comunes	5 – 8 (10 a 14 años)	2º, 3º (7 a 9 años)	6º (10-11 años)	4º - 6º (9 a 12 años)		
Selección natural	K – 4; 5 – 8 (5 a 14 años)	3º, 4º (8 a 10 años)	6º (10-11 años)			
Adaptación	K – 4 (5 a 9 años)	1º, 3º (6, 8 años)	2º, 4º, 6º (6, 8, 10 años)	4º - 6º (9 a 12 años)	5º, 6º (10 a 12 años)	
Biodiversidad	5 – 8 (10 a 14 años)	1º (6-7 años)	2º (6-7 años)	4º - 6º (9 a 12 años)	5º (10-11 años)	5º (10-11 años)
Extinción	5 – 8 (10 a 14 años)	3º (8-9 años)	4º (8-9 años)		5º (10-11 años)	5º (10-11 años)

El *currículum* español (RD 126/2014) solo incluye una breve referencia a la *extinción*, sin indicar el curso, en la sección de Estándares de Aprendizaje Evaluables del *Bloque 3. Los seres vivos*: “3.2 Identifica y explica algunas de las causas de la extinción de especies”. Dada esta falta de asignación, para revisar el curso se ha acudido a la Orden Ministerial ECD/686/2014, cuyo ámbito de aplicación se reduce a Ceuta y Melilla. Dicha Orden menciona explícitamente *biodiversidad y extinción* en 5º de educación primaria, como contenido (“Extinción de especies”), entre los criterios de evaluación (“4. Conocer la relación entre el ser humano y la biodiversidad e identificar las causas de la extinción de especies”) y en los estándares de aprendizaje evaluables

(“4.1. Identifica y explica la relación entre el ser humano y la biodiversidad e identificando y ejemplificando las causas de la extinción de especies”; “4.2. Establece y explica la relación entre las actuaciones del ser humano y la biodiversidad”; “4.3. Propone acciones argumentadas para evitar la extinción de especies”). También en el caso portugués ambos contenidos se tratan en 5º curso, añadiéndose solo uno a mayores, *adaptación*.

Esta carencia de ideas nucleares, precisas para la construcción del modelo, se contraponen con la situación del resto de los países analizados que, aunque de formas diferentes, incluyen de forma rotunda la teoría evolutiva en los niveles elementales.

En Estados Unidos, estados como Nueva York y California, han avanzado desde hace décadas en el tratamiento curricular de esta teoría. El programa curricular neoyorquino ya incluye desde 1996 contenidos relacionados con todas y cada una de las ideas consideradas fundamentales para la construcción del modelo de evolución. Además, presentaban un desarrollo progresivo a lo largo de los cursos que van de los 5 a los 14 años (Vázquez-Ben, Bugallo-Rodríguez, 2018). Recogen explícitamente *adaptación*, *herencia* o *variación* desde los primeros cursos (K4): “3.1. c) Para sobrevivir en el medio, las plantas y los animales tienen que estar *adaptados* a ese medio ambiente”, “Reconocer que los rasgos de los seres vivos son tanto *heredados* como adquiridos o aprendidos”, y “3.2. b) Todos los individuos sufren *variaciones*, y es por estas variaciones que algunos individuos de una misma especie pueden tener cierta ventaja en la supervivencia y la reproducción con respecto a otros”.

Lo mismo ocurre con California (2004) cuyo *curriculum* recoge todas las ideas nucleares. Crea además su propia secuencia de aprendizaje, donde los conceptos se van abordando desde los 6 a los 10 años:

- se empieza por *adaptación* y *biodiversidad* en 1<sup>st</sup> Grade (6 años),
- luego se trabaja *herencia* y *variación de rasgos* en 2º, así como *cambio* y *ancestros comunes*;
- esta última idea se retoma en 3º, junto a *adaptación*, curso en el que también se introducen *extinción* y *selección natural*,
- ambos contenidos que vuelven a aparecer en 4º.

En 5th y 6th *Grade* la materia de *Science* centra su atención en otros aspectos (el cuerpo humano y las Ciencias de la Tierra, respectivamente), por lo que no se contemplan estos contenidos.

También en el caso inglés se incluyen algunos contenidos desde edades tempranas (*adaptación y biodiversidad* en *Year 2* o *adaptación y extinción* en Y4), aunque su tratamiento se concentra en Y6 (10-11 años). Concretamente el bloque de *Evolución y Herencia* incorpora las ideas de *herencia, variación, ancestros comunes* y *selección natural* junto a *adaptación*. Aunque es positivo que se aborden una gran cantidad de ideas, se puede considerar que presenta una excesiva concentración y ausencia de progresividad.

Progresión que sí aparece en la normativa francesa, donde se trabajan las ideas nucleares de *variación, cambio, ancestros comunes, adaptación y biodiversidad* a lo largo de todo el Ciclo 3 (de 9 a 12 años), tanto en los contenidos como en las recomendaciones para su enseñanza.

#### 4.1.2. Tratamiento curricular de la evolución biológica en España por Comunidades y Ciudades Autónomas

Para completar el análisis del *curriculum* derivado de la LOMCE y dadas las competencias en educación de las administraciones autonómicas, se ha aplicado este sistema de códigos a la normativa para educación primaria de cada Comunidad y Ciudad Autónoma.

El análisis de las materias de *Ciencias de la Naturaleza* y *Ciencias Sociales* ha puesto de manifiesto que, como ya ocurría con el RD 126/2014, ninguna CCAA menciona la evolución biológica, ni como hecho ni como teoría, ni tampoco como modelo científico. No obstante, sí se hace referencia a algunas de sus ideas nucleares, a partir de las cuales se podría comenzar a construir este modelo. Concretamente, dependiendo de la Comunidad Autónoma, se incluyen referencias, más o menos explícitas, con mayor o peor grado de coherencia y progresión, a las ideas de *adaptación, biodiversidad y extinción* fundamentalmente (Tabla 9):



Tabla 9. Referencias a ideas nucleares del modelo de evolución en los *currícula* de las CCAA

	<b>Adaptación</b>	<b>Biodiversidad</b>	<b>Extinción</b>						
<b>RD 126/2014</b>	----	----	<b>1° - 6°</b>						
<b>Ceuta y Melilla</b>	----	<b>5°</b>	<b>5°</b>						
<b>Andalucía</b>	----	----	<b>5° - 6°</b>						
<b>Aragón</b>	2°	----	4°	5°		6°			
<b>Asturias</b>	3°   4°	5°	2°	3°	4°	5°	6°		
<b>Baleares</b>	----	----	<b>4° - 6°</b>						
<b>Canarias</b>	2°	4°	4°	5°		6°			
<b>Cantabria</b>	6°	----	6°						
<b>Castilla - La Mancha</b>	----	----	4°			6°			
<b>Castilla y León</b>	----	6°	4°	5°		6°			
<b>Cataluña</b>	1° - 2°	----	----						
<b>Extremadura</b>	4°	----	1	2	3	4	5	6	
<b>Galicia</b>	1°   2°	----	5°			6°			
<b>Madrid</b>	----	----	5°						
<b>Murcia</b>	----	----	6°						
<b>Navarra</b>	1°   2°	5°	5°						
<b>País Vasco</b>	----	----	----						
<b>La Rioja</b>	1°   2°	5°	5°						
<b>Comunidad Valenciana</b>	----	----	1	2	3	4	5		

**Nota:**

- El curso aparece en **Negrita** cuando el término aparece mencionado explícitamente en ese curso, ya sean en contenidos, criterios de evaluación o estándares de aprendizaje.
- El guion (-) indica que el contenido, criterio de evaluación o estándar de aprendizaje corresponde a un ciclo educativo que abarca los cursos listados.
- La flecha (→) indica que existe progresión entre esos cursos.
- El código de color (de más claro a más oscuro) hace referencia al grado de coherencia:
  - Claro: el término aparece recogido en uno solo de los elementos curriculares considerados (contenidos, criterios de evaluación, estándares de aprendizaje).
  - Intermedio: el término aparece recogido en dos de los tres elementos curriculares considerados (contenidos, criterios de evaluación, estándares de aprendizaje).
  - Oscuro: el término aparece recogido en todos los elementos curriculares considerados (contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje).

En el caso de aquellas CCAA que operen únicamente con dos de los elementos curriculares (contenidos y criterios de evaluación, contenidos y estándares de aprendizaje, etc.), se aplica el tono de gris más claro si el término solo aparece en uno de los dos elementos, y gris oscuro si aparece en ambos, sea de forma explícita o implícita.

Los datos de la tabla revelan el escaso tratamiento de las ideas nucleares del modelo de evolución, con una falta clara de progresión y de coherencia en la mayoría de los casos:

▪ *Extinción*

Una parte importante de las referencias se concentran únicamente en el fenómeno de extinción, la única idea nuclear que aparece en todas las Comunidades Autónomas, con la excepción de Cataluña y País Vasco. Esta situación parece derivar directamente de la

legislación ministerial (RD 126/2014), que actúa como marco para la elaboración de las autonómicas. Tanto es así que muchas de las CCAA que incorporan la noción de *extinción* lo hacen solamente entre sus estándares de aprendizaje, tal y como hace el propio RD 126/2014, ya sea en uno (p.ej. Cantabria) o varios cursos (p.ej. Aragón, Baleares o Extremadura).

De hecho, la práctica totalidad de las CCAA (15) reproducen la redacción de dicho estándar prácticamente sin modificaciones, (“Identifica y explica algunas de las causas de la extinción de especies”). Ahora bien, lo que sí que varía es su grado de coherencia y, sobre todo, de progresión, destacando en este caso las siguientes:

- Ceuta y Melilla, Asturias (para los cursos 4º y 6º), Navarra y La Rioja incluyen esta idea nuclear en los contenidos, criterios de evaluación y estándares de aprendizaje evaluables de un mismo curso. Además, las alusiones a la *extinción* son siempre explícitas.
- La Comunidad Valenciana recoge de forma expresa *extinción* tanto en sus contenidos como en sus criterios de evaluación (no concreta estándares de aprendizaje a nivel autonómico). Además es la única que ofrece cierto grado de progresión, apelando tanto a causas humanas como a causas naturales: extinción en relación con el cuidado y respeto por los seres vivos en 1º; en relación con el hábitat en 2º; con la sobreexplotación en 3º; con las cadenas alimentarias en 4º y con el ambiente (terrestre vs acuático) en 5º. Desafortunadamente, esta es la única idea nuclear que contiene la Comunidad Valenciana, al igual que Madrid o Murcia.

#### ▪ *Biodiversidad*

Por su parte, la idea de *biodiversidad* solo aparece en siete CCAA, bien entre los contenidos, los criterios de evaluación o los estándares de aprendizaje, nunca en los tres a la vez. Asimismo, por lo general se encuentra ligada a la relación con el ser humano y a la extinción de especies, procurando fomentar su respeto, conservación y cuidado. Por ejemplo, Ceuta y Melilla “4. Conocer la relación entre el ser humano y la biodiversidad e identificar las causas de la extinción de especies.”

#### ▪ *Adaptación*

Cinco CCAA (Asturias, Cantabria, Cataluña, Extremadura y Galicia) incluyen explícitamente entre sus elementos curriculares la idea nuclear de *adaptación*. Otras

cuatro (Canaria, Aragón, Rioja y Navarra) presentan enunciados que podrían relacionarse con esta idea (“Asociación de rasgos físicos y pautas de comportamiento de plantas y animales con sus entornos”), aunque aparecen claramente orientadas hacia el modelo ecosistema.

Por último, es necesario aclarar que algunas CCAA aluden a temas que se podrían relacionar con contenidos clave en la construcción del modelo de evolución, pero que por su carácter anecdótico y/o particular se decidió omitir de la tabla principal. Concretamente, dos comunidades recogen entre los elementos curriculares de Ciencias Sociales la relevancia científica del Hombre de Orce (Andalucía) y de los yacimientos de Atapuerca (Cantabria), dentro del estudio de la Prehistoria en 4º de educación primaria. Dichas alusiones permitirían aproximarse a la noción de evolución humana. Asimismo, Ceuta y Melilla, Navarra y La Rioja mencionan brevemente el genoma humano en uno de los estándares del *Bloque 5. La tecnología. Máquinas y aparatos*, pero como un ejemplo más de avance en medicina; por tanto, sin ningún tipo de apoyo que ayude a comprender ese contenido adecuadamente.

La normativa del País Vasco no incluye ninguna de las ideas nucleares del modelo de evolución biológica. En cambio, es la única que habla de cómo el conocimiento científico se articula en torno a leyes, modelos y teorías, una cuestión fundamental en el desarrollo de la competencia científica, como se apuntaba en el apartado 2.1 del marco teórico.

Es interesante resaltar el hecho de que en los apartados introductorios del área de Ciencias Naturales de casi todas las CCAA aparece recogida la idea de *cambio*: “En la actualidad la ciencia es un instrumento indispensable para comprender el mundo que nos rodea y sus cambios”. Pero al concretar los elementos curriculares esa idea se centra en el ser humano (desde el punto de vista de su crecimiento como organismo o de su impacto sobre el planeta) o en la materia (composición, estado, movimiento). No existe ningún contenido ni estándar donde se hable de cambios producidos por causas naturales. Las únicas excepciones son Navarra y La Rioja donde se habla de cambios producidos en el medio ambiente, tanto por procesos naturales como por la actividad humana.

## **4.2. La evolución biológica en la educación obligatoria: la percepción de los profesionales**

Recordamos que para facilitar tanto la lectura como la presentación de los resultados, se emplearán los siguientes códigos: DOC1, Docente de Educación Primaria; DOC2 y DOC3, profesor y profesora de Educación Secundaria Obligatoria; E1, Especialista de la Universidad de Buenos Aires (Argentina); E2 y E3, respectivamente, para las especialistas de la Universidad de A Coruña; E4, para el de la Universidad de Murcia; E5, para la especialista de la Universidad de Santiago de Compostela; E6 para el experto de la Universidad de Sevilla; E7, de la Universidad de Rutgers (Estados Unidos); E8, de la Universidad de Atenas (Grecia); E9, del Instituto Weizmann (Israel); E10, de la Universidad de Karlstad (Suecia); y, finalmente, E11 y E12 de la Universidad de Ginebra (Suiza).

### 4.2.1. La posición de los especialistas sobre la situación actual de la evolución en la educación obligatoria y las razones a favor de su tratamiento en educación primaria

Cuando se les pregunta a los especialistas en Didáctica de las Ciencias acerca de la situación de la enseñanza de la evolución en España, la opinión es unánime: trabajar únicamente sobre esta teoría al final de la escolaridad obligatoria, y en materia(s) optativa(s) resulta insuficiente para que *el alumnado adopte razonamientos anti-intuitivos y eviten hacer referencia a la “necesidad” en sus explicaciones* (E8). Y también ilógico, *aunque solo sea desde la perspectiva de una alfabetización científica* (E4), opinión que comparte E5: *“Porque sin comprender la evolución no se comprende la Biología”*. De hecho, E6 afirma que *“la evolución, en sus ideas más básicas, debe estar presente desde el principio de la escolaridad”*.

Consideran (E5, E6, E8) la evolución biológica *central* para *“hacer ciencia y ciencia de la vida”* (DOC3) e indispensable para *tomar decisiones informadas en nuestra vida diaria* (E7). Nos capacita para decidir sobre cuestiones y ámbitos tan diversos y cruciales como (E11):

1. *las implicaciones de obtener información sobre nuestros genes y las decisiones que ello puede suponer, sobre a quién compete esta información;*
2. *la infancia – en relación con tener una familia;*
3. *las enfermedades – con respecto a aquellas de origen genético;*

4. *la diversidad humana – comprender de dónde viene y promover el respeto hacia los demás;*
5. *el Determinismo Genético – de cara a comprender la relación que existe entre genes y rasgos, así como hasta qué punto los genes realmente determinan nuestro destino;*
6. *resistencia a antibióticos y pesticidas, etc.*

Problemas que aparecen en la vida cotidiana de los alumnos y alumnas, pero a los que no se les está dando respuesta desde las aulas, tal y como advierten (E2 DOC2); “*no viene en los libros de texto, no viene en el curriculum*” (DOC1). Sin embargo, se ve en la necesidad de abordarlo en su aula (5º- 6º EP), “*porque claro, los niños... oyen campanas, ¿no? Han oído que descendemos del mono... Entonces... empiezas a introducir el tema en el aula y sí que surgen preguntas*”. De hecho, E2 nos recuerda que “*el alumnado, incluso desde la etapa de infantil, tiene ideas previas sobre la evolución*”, ideas que va construyendo, natural e inevitablemente, a partir del constante bombardeo de información al que se encuentra sometido; por ejemplo, a través de los medios de comunicación, de su familia... Fuentes que no siempre presentan la evolución de la manera adecuada. Una situación que también acusa DOC2: “*la evolución la tienen los niños presente desde que empiezan a hablar: los dibujos animados, los cómics... es decir, está presente en todos los ámbitos del niño [...] salvo en la escuela*”.

Además, es un tema que “*les interesa, les motiva mucho y les gusta*” DOC1 y su tratamiento en las primeras etapas “*favorecería mucho después el trabajo en secundaria*” (DOC2). Al fin y al cabo, cuanto más dilatemos su introducción, más complicado será “*modificar todas esas ideas alternativas a las científicas para que sea realmente aceptada la teoría de la evolución como tal*” (E2).

Es importante que la ciudadanía *conozca y comprenda* la teoría de la evolución por varias razones fundamentales:

- a. *para entender cómo somos* (E1), y así darnos cuenta de que “*no somos perfectos y, en consecuencia, no existe un Diseño Inteligente*” E12.
- b. *para asumir que constituimos, de hecho, una parte muy pequeña del mundo, lo que “evitaría que fuéramos tan arrogantes a la hora de usarlo”* E12, dotándonos de “*una perspectiva global e integrada de la vida*” (E5).

- c. para analizar críticamente aquellos “*argumentos falaces basados, por ignorancia o mala fe, en tergiversaciones de la biología*” que numerosas personas emplean “*para sostener visiones del mundo conservadoras asociadas al racismo, el clasismo y el sexismo*”. E1

En definitiva, conocer la teoría de la evolución biológica constituye un *derecho* (E8) y un *deber* (DOC2) de la ciudadanía, que además la capacitaría para hacer frente a aquellos sectores de la sociedad que intentan invalidarla (E2). De ahí la conveniencia de comenzar a construir este modelo científico desde la educación primaria, opinión que comparten todos los profesionales consultados, a excepción de E3, que muestra cierta reticencia.

Tabla 10. Posición de los profesionales sobre la situación actual de la evolución en la educación obligatoria

<ol style="list-style-type: none"><li>1. La atención curricular que recibe hoy en día la evolución resulta insuficiente.</li><li>2. Base de modelos biológicos y debería incluirse en los primeros niveles educativos.</li><li>3. Tema de gran actualidad y, en esas edades, la información que reciben procede de ámbitos no educativos.</li><li>4. El tratamiento del modelo en Ed. Primaria evitaría obstáculos y modelos erróneos.</li><li>5. La ciudadanía necesita conocerlo para comprender el mundo y tomar decisiones informadas.</li></ol>
--

#### 4.2.2. Obstáculos en la enseñanza y aprendizaje del modelo de evolución

Aunque las concepciones alternativas, de las que hablamos pormenorizadamente en el apartado 2.3.1, son uno de los obstáculos mencionados por los especialistas y profesorado participante en el estudio, no es ni el único ni el más importante.

La principal dificultad que encuentran a la hora de introducir la evolución en educación primaria – e incluso en relación con su tratamiento en educación secundaria – pasa por la formación docente. Concretamente, por la insuficiencia de formación científica del caso del profesorado de educación primaria y por la insuficiencia de formación didáctica del profesorado de secundaria (DOC3). De acuerdo con E5, “*maestros y maestras tienen hoy en día una formación deficiente para abordar el modelo de evolución*”. Y el problema afecta tanto a la formación inicial como a la continua: “*La base científica que nos da Magisterio es escasísima*”, denuncia DOC1, “*En cuanto a los cursos... Yo le veo otro problema: ¿qué cursos se están valorando hoy en día más? [...] El inglés y las nuevas tecnologías. Si tú haces algo de ciencias... Eso no se valora, no se tiene en cuenta*”.

Ahora bien, *“si la formación profesional básica no es suficiente, el docente tiene la obligación y debe tener los medios para avanzar en su conocimiento profesional y poder abordar correctamente este ámbito fundamental de la educación biológica”* (E6). Una obligación que el propio profesorado reconoce: *“Pero no vamos a echar la culpa. Luego cada uno es responsable de su formación”* (DOC1). De hecho, DOC2 sugiere aprovechar esa ausencia de oferta formativa para *“formarte por tu cuenta. [...] Si no hay cursos que te interesen o que te cubran las necesidades pues los tienes que buscar por otro lado”*. Después de todo, es un tema que exige de *actualización constante* (DOC3).

Asimismo, *“existe un problema en relación con la población religiosa y la secular”* (E9), tal vez porque la teoría *“va al centro de muchas cuestiones religiosas”* (E2). En efecto, la maestra advierte que en su clase *“tienen una confusión muy grande por lo que les dice la religión”*. DOC2 atribuye este conflicto a que *“se sitúan en el mismo plano dos cosas que son distintas”*, de manera que la solución pasaría por mantener cada una en su ámbito. En cambio, DOC3 considera que la materia de religión no es un inconveniente sino una ventaja por la oportunidad de debate que genera, lo que repercute directamente sobre la formación democrática del alumnado: *“es también abrir caminos y luces para que cada uno cree su propio pensamiento. [...] De los conflictos se sacan ventajas, siempre”*.

A ello habría que sumar la *ausencia de debate sobre su incorporación* (E2), la *invisibilidad* (E2) y *dificultades* (p.ej. falta de financiación, falta de colaboración desde los centros...) (E9, E12) que enfrenta de por sí la investigación didáctica relacionada, la *complejidad* intrínseca del modelo (E3, E6, DOC2) y la tendencia a seleccionar el contenido *“en función de su “programabilidad”* (E11). Todo ello contribuye a que se continúe relegando su enseñanza a los últimos cursos.

Finalmente, advierten que el *enfoque metodológico actual* en la enseñanza de las Ciencias *resultaría inadecuado* para desarrollar con éxito el modelo (E5, DOC2). E4 teme que se aborden los contenidos implicados *“desde una perspectiva académica; no sería eso lo aconsejable”*. Igualmente, el abuso de un lenguaje eminentemente teleológico al explicar numerosos fenómenos biológicos podría suponer un problema; un problema que se perpetúa a través del propio libro de texto: *“La jirafa tiene el cuello para... [...] No hay voluntad en la jirafa para que le crezca el cuello. Y eso crea un concepto, yo creo, que es confuso... Y eso viene en el libro de primaria. O sea, la*

*editorial te lo expresa así*” (DOC1). Por lo tanto, la ausencia de material adecuado sería otro de los obstáculos a enfrentar: *“Y me resulta difícil porque no hay materiales. No hay material. Por lo menos, accesibles fácilmente que yo haya podido encontrar”*.

Tabla 11. Dificultades en la enseñanza del modelo de evolución en educación primaria

<ol style="list-style-type: none"><li>1. Percepción del propio profesorado de falta de formación para impartirlo.</li><li>2. El carácter polémico de la evolución, incluyendo las creencias populares y religiosas.</li><li>3. Ausencia de debate sobre su enseñanza en España e invisibilidad/dificultad del trabajo de investigación relacionado.</li><li>4. Tendencia a relegar su enseñanza debido a su dificultad.</li><li>5. El enfoque metodológico y curricular actual en la enseñanza de las Ciencias.</li></ol>
---

#### 4.2.3. Cómo abordar el modelo de evolución: contenidos y metodología

Si el enfoque metodológico actual es inadecuado debemos tratar el cómo y el cuándo introducirlo. Varios especialistas consideran que es *“un saber transversal [...], en el que se irá progresando en complejidad”* (E6), de manera que niños y niñas deberán *“estar habituados a ver que la Naturaleza es completamente dinámica”* (E3), lo que exigirá una *“perspectiva comprensiva y explicativa”* (E10).

Proponen progresiones de aprendizaje como:

- *“Su presencia en el curriculum podría iniciarse en los primeros cursos de primaria, por ejemplo en 3º, como en los NGSS, y debería formar parte del curriculum de 1º o 2º de secundaria, donde las ciencias son obligatorias”* (E5).
- *“La adaptación, por ejemplo, puede ser tratada en los primeros cursos; después, en la escuela media [5º, 6º de Ed. Primaria], pueden aprender sobre la herencia y más tarde llegar a la evolución”* (E7).
- Las incluidas en los *Benchmarks for Science Literacy* o en *Understanding Evolution Framework*, que van desde *Kindergarten* hasta el final de la escolaridad, y que E8 considera especialmente útiles.

En cuanto al qué, *“debería ser el conocimiento suficiente para entender, predecir y ser capaz de tomar decisiones como ciudadanos y ciudadanas”* (E11), *“lo mínimo para cuidarse y para estar sano”* (DOC3). De acuerdo con la percepción de la mayoría de los especialistas, esto implicaría abordar en Primaria algunos de los principales conceptos: *adaptación, biodiversidad, existencia de organismos fósiles, variabilidad intraespecífica, mutación, herencia y selección natural*. Evolución y Genética habrán de



ir de la mano, en tanto que “*la Genética es necesaria para comprender el modelo de evolución*” (E12).

Para lograrlo, coinciden en que debe emplearse “*una metodología activa, que implique al alumnado en el uso de modelos en situaciones diferentes, en el uso de pruebas para evaluar conclusiones (argumentación) en las prácticas científicas*” (E5). Además, deberán emplearse una amplia variedad de recursos y actividades: *lecturas recomendadas, cuentos, debate en aula, prensa (DOC3), juegos, simulaciones, maquetas, etc.* (E1). El libro de texto deberá ser un apoyo (DOC1).

En definitiva, se trata de “*Motivar por medio de situaciones que despertaran expectación para que, a través de ellas, adquieran unas nociones muy elementales sobre el hecho evolutivo*” (E4). Y para ello se puede proponer la resolución de problemas como *¿Por qué tenemos niveles altos de ácido úrico? ¿Por qué a todo el mundo le sienta bien la merluza? ¿De dónde viene/cómo se formó el oxígeno?* (DOC3), o bien “*plantear, de manera sencilla, las semejanzas en la estructura y funcionamiento de los grupos de animales, por ejemplo (sistema digestivo, respiratorio, circulatorio, mecanismos de reproducción...), [...] sin que ello suponga hacer más extensos y/o complejos los aprendizajes de ambos ámbitos de estudio [ser vivo y ecosistema]* (E4).

Consecuentemente, consideran el papel de la Didáctica de las Ciencias como *central*, ocupándose de (E6):

- *El análisis de las concepciones del alumnado, su evolución y los obstáculos de todo tipo que ha de superar, incluyendo los religiosos, en su caso;*
- *la formulación y experimentación didáctica de hipótesis de progresión en la construcción del conocimiento sobre la evolución;*
- *diseño y experimentación de unidades didácticas y experiencias relativas al tópico;*
- *diseño de rúbricas y otros instrumentos de evaluación para comprobar las dificultades del alumnado y validar las hipótesis de progresión;*
- *diseño de planes de formación del profesorado, procesos de asesoramiento y materiales de apoyo para la enseñanza de la evolución;*
- *análisis teórico de los mapas conceptuales de referencia en los distintos niveles escolares, etc.*

Tabla 12. Propuestas sobre cómo y cuándo introducir el modelo de evolución en educación primaria

1. El planteamiento general debe tener carácter transversal, concebir la Naturaleza desde una perspectiva dinámica.
2. Una progresión de aprendizaje desde los primeros cursos de Primaria hasta los últimos de Secundaria.
3. La selección de contenidos clave.
4. Uso de una metodología activa, motivadora y promotora del cuestionamiento, del debate y la argumentación.
5. El papel de la Didáctica de las Ciencias: investigar y formar.

#### 4.3. Una propuesta de modelo científico escolar y de progresión para la enseñanza-aprendizaje del modelo de evolución en educación primaria (6 a 12 años)

Como ya adelantábamos en apartados anteriores (apartado 2.3.3), uno de los principales resultados de esta investigación ha sido la elaboración de un *modelo científico escolar* de evolución biológica para la etapa de educación primaria. Como objeto de enseñanza, este modelo debería servir de referencia en la planificación, desarrollo y evaluación del proceso educativo (Oliva *et al.*, 2003; Gilbert y Justi, 2016). Para su confección se ha tenido en cuenta la revisión bibliográfica, el análisis curricular (con comparativa internacional) y las recomendaciones hechas por los profesionales.

Tabla 13. Comparativa de ideas nucleares

Análisis curricular	Profesionales	Pobiner (2016) <i>core building concepts</i>	Framework K-12 (NCR, 2012) <i>core ideas</i>	Catley, <i>et al.</i> (2005) <i>big ideas</i>	Andersson y Wallin (2006) <i>content specific aspects</i>	McVaugh <i>et al.</i> (2011) <i>core areas</i>	Lehrer y Schauble (2012) <i>building blocks</i>
Variación de rasgos	Variabilidad intraespecífica	Variación	Variación	Variación	Variación rasgos heredables	Variación	Variabilidad
Adaptación	Adaptación	Adaptación	Adaptación		Adaptación/Acumulación		
Biodiversidad	Biodiversidad	Diversidad	Biodiversidad-ser hum.	Diversidad			
Selección natural	Selección natural		Selección natural		Selección natural(t.r.)	Selección	
Herencia de rasgos(h vs.a)	Herencia	Herencia	Herencia			Herencia	
Cambios (org. y poblac.)	Cambio			Cambio			Cambio
Evidencia de ancestros com	Existencia de fósiles		Evidencia de ancestros com y diversidad				
		Tiempo evolutivo			Tiempo evolutivo	Tiempo evolutivo	
				Ecología/Inter.			Ecosistema
	Mutación	Mutación					
Selección artificial	Selección artificial						
Extinción	Evolución humana	Competición		Rel. estructura-función	Rol del azar		
Evolución		Supervivencia		Procesos geol.			

Como se observa en la tabla, existe cierta divergencia con respecto a qué conceptos (y, sobre todo, cuántos) son imprescindibles para la construcción adecuada del modelo de evolución. También difieren las denominaciones de unos marcos conceptuales a otros. Pero las similitudes son muchas e, independientemente de cómo los nombren, la base de estas denominaciones es la misma, la selección de una serie de ideas que permitan construir el modelo de evolución. Partiendo de estas semejanzas se ha realizado una selección siguiendo una serie de criterios claros que han permitido justificar el porqué del empleo de esas fuentes:

- Se toma como punto de partida el *Framework K-12* (NCR, 2012), porque 1) en su elaboración han participado (y/o se ha tenido en cuenta el trabajo de) un amplio número de especialistas en Didáctica de las CCEE, de áreas y contextos muy diversos, y 2) varios de los especialistas entrevistados hicieron referencia a este documento a la hora de describir qué contenidos debían abordarse en educación primaria y su progresión. Incluso el *Understanding Evolution Framework* de la Universidad de Berkeley, considerado especialmente útil por una de las especialistas entrevistadas - se alinea con este marco conceptual. Las mismas razones explican porque se ha usado en este trabajo el término de “ideas nucleares” (*core ideas*), frente a otras denominaciones. Además, las seis ideas que propone<sup>1</sup> se encuentran incluidas, en mayor o menor medida, en el resto de las fuentes consideradas.

- A continuación, en un proceso similar al de codificación, se han revisado detenidamente el conjunto de conceptos propuestos por todas las fuentes, estableciendo relaciones entre ellos y decidiendo cuáles eran esenciales para comprender la evolución, frente a aquellos que simplemente hacían referencia a aspectos más concretos y, por tanto, podían asimilarse a alguno de los primeros. Por ejemplo, la “existencia de fósiles” forma parte de *ancestros comunes* y de *biodiversidad*, la “selección artificial” puede ser un buen instrumento para trabajar la *selección natural* (Cañal *et al.*, 2016), y “mutación” constituye una fuente de *variación* junto a la reproducción sexual, con la que el alumnado de educación primaria está más familiarizado, tanto por su experiencia

---

<sup>1</sup> Aunque el Framework K-12 incluye *herencia* y *variación* en una línea de trabajo independiente a la de evolución biológica - LS3 *Heredity: Inheritance and variation of traits* y LS4: *Biological evolution: Unity and diversity*, respectivamente – estoy de acuerdo con el profesor de la Universidad de Karlstad en que no se puede entender evolución sin genética. Los propios marcos conceptuales consultados, el análisis curricular y las aportaciones de los especialistas así lo confirman.

cotidiana (¿A quién te pareces más? Tienes los ojos de “...”, etc.) como por la propia actividad académica (la reproducción es uno de los contenidos del *curriculum* de la etapa). Igualmente, preferí dar un carácter exclusivo a la *biodiversidad*, convirtiéndolo en una idea nuclear en sí misma, a diferencia del *Framework K-12*, que la presenta vinculada bien a ancestros comunes, bien a su relación con el ser humano.

El *Framework K-12* también contempla la idea de *cambio*, pero de manera transversal, como *crosscutting concept*. En este sentido, creo que cabe darle un tratamiento más específico, dado que “desarrollar explicaciones evolutivas a menudo implica coordinar el cambio a los tres niveles [organísmico, población y sistema]”, como indican Lehrer y Schauble (2012, p. 705). Por eso la he incorporado a mi modelo.

Por lo que se refiere a otros conceptos, como “ecosistema/ecología-interrelaciones”, “tiempo evolutivo”, “azar” o “procesos geológicos”, creo que, a pesar de jugar un papel fundamental en la comprensión del proceso evolutivo en su conjunto, constituyen modelos en sí mismos, que necesitan su propio desarrollo, y, por lo tanto, trascienden el ámbito de este modelo científico escolar destinado a educación primaria.

En definitiva, el modelo científico escolar sobre evolución que se propone en este trabajo se compone de siete ideas nucleares: *biodiversidad*, *variación*, *selección natural*, *adaptación*, *herencia*, *ancestros comunes* y *cambio*. Además, para cada idea se distinguen hasta tres niveles de organización escalar: célula (que incluye el molecular), individuo y población. Estos niveles se corresponden con aquellos en los que operan y establecen generalizaciones los modelos biológicos básicos de célula, ser vivo y ecosistema, respectivamente (Gómez, Sanmartí y Pujol, 2007) y que engloba el propio modelo de evolución (García Rovira, 2005). Esta necesidad de abordar diferentes niveles de organización y explicitar cómo interactúan entre sí también ha sido reclamada por otros autores como Andersson y Wallin (2006), Catley *et al.* (2005) y Lehrer y Schauble (2012).

A la hora de representar este modelo me he decantado por un heptágono regular (fig. 14) por varias razones.

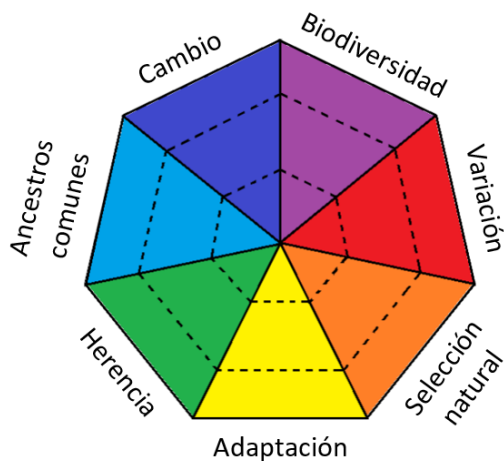


Figura 14. Modelo escolar de evolución para educación primaria: ideas nucleares y niveles de organización escalar

En primer lugar, porque se distribuye en siete secciones iguales, reflejando así que todas y cada una de las ideas nucleares gozan de la misma importancia.

En segundo lugar, al quedar compuesto por siete triángulos iguales que comparten su vértice, se refuerza visualmente el carácter integrado del modelo; es decir, que habrán de desarrollarse las siete ideas en su conjunto, y a diferentes niveles de organización escalar, para lograr la construcción efectiva del modelo de evolución.

En tercer lugar, es una figura familiar, fácil de recordar y de representar en 2D. Asimismo, se ha asociado un color a cada idea nuclear y se ha marcado la existencia/inexistencia de interacción entre niveles escalares a través de líneas discontinuas/continuas para facilitar la interpretación de los resultados.

Hay que tener en cuenta que estos niveles de organización escalar no responden a niveles jerárquicos, sino que se trata de ser capaz de operar en cada uno de ellos y, sobre todo, identificar cómo interactúan entre sí. De ahí que, al analizar los datos se haya tenido en cuenta si han sido capaces de aplicarla a más de un nivel (y a cuáles).

En línea con la descripción de modelos como artefactos epistémicos proporcionada por Knuutila (2011) (véase capítulo 2.1), el modelo científico escolar aquí presentado, como cualquier otro modelo, va a venir posibilitado y limitado por su diseño (en forma de heptágono), medio de representación (2D), utilidad (tiene como objetivo guiar el proceso de construcción del modelo de evolución, pero también evaluarlo), carácter manipulativo (se busca que sea manejable y fácil de interpretar) y la relación que establece entre teoría y realidad (representa de forma sencilla y esquemática las ideas nucleares necesarias en la construcción del modelo de evolución). En cualquier caso, ha resultado exitoso para esta investigación, se entienda el éxito en forma de precisión, adecuación, poder explicativo y fiabilidad: surgido de la propia investigación, ha permitido capturar de forma clara y concisa no solo las ideas nucleares y niveles de

organización escalar sino también el desempeño de cada estudiante en función de los datos disponibles.

En concordancia con este modelo se propone la siguiente progresión de aprendizaje.

Tabla 14. Propuesta de progresión de aprendizaje del modelo escolar de evolución en educación primaria

	1º ciclo (1 y 2º)	2º ciclo (3º y 4º)	3º ciclo (5º y 6º)
<b>Biodiversidad</b>	Existe una gran variedad de organismos diferentes que viven en lugares diferentes.	Las poblaciones de organismos viven en diferentes hábitats.	La biodiversidad aumenta por la formación de nuevas especies y se reduce por extinción. En un ambiente determinado el crecimiento y la supervivencia de los organismos depende de las condiciones físicas.
<b>Variación</b>	Descendientes se parecen pero presentan diferencias respecto a sus ascendientes y a otros miembros de su misma especie.	Los diferentes organismos varían en cuanto a su apariencia y su funcionamiento porque tienen diferente información hereditaria; el ambiente también afecta los rasgos que un organismo desarrolla	En la reproducción sexual cada progenitor transmite una mitad aleatoria de sus genes a su descendencia, lo que provoca las diferencias entre un progenitor y sus descendientes (y de estos entre sí). Además, la información genética puede alterarse a causa de las mutaciones, que pueden ser beneficiosas, perjudiciales o neutras a la hora de cambiar las proteínas /rasgos
<b>Selección natural</b>	-----	Las diferencias que se dan entre los individuos de una misma especie pueden constituir una ventaja o una desventaja a la hora de sobrevivir y reproducirse	La selección natural da como resultado la predominancia de ciertos rasgos en una población, aquellos rasgos de algunos individuos que eran beneficiosos a la hora de sobrevivir y reproducirse.
<b>Adaptación</b>	Los seres vivos poseen unas características u otras dependiendo del hábitat en el que vivan.	Cada organismo está adaptado para sobrevivir en un determinado ambiente	Las especies cambian con el paso del tiempo como resultado de los cambios en las condiciones ambientales, a través de la adaptación por selección natural que actúa sobre las generaciones.
<b>Herencia</b>	Los seres vivos heredan muchas características de sus progenitores y de sus antepasados	Los organismos presentan características resultantes de la información hereditaria (heredados) y otras que adquieren durante su desarrollo (adquiridos). Las primeras pueden pasar a la siguiente generación y las otras no	ADN lleva las instrucciones que originan las características de las especies Solo las características que están incluidas en la información genética pueden transmitirse de una generación a la siguiente mediante la reproducción.
<b>Ancestros comunes</b>	En el pasado existieron seres vivos diferentes a los actuales (p.ej. Dinosaurios) y lo sabemos gracias a los fósiles	Los fósiles proporcionan evidencias acerca de los distintos tipos de organismos y ambientes que existieron hace mucho tiempo.	Los seres vivos se clasifican en función de su "parentesco", atendiendo al registro fósil y a la comparación anatómica.
<b>Cambio</b>	Los seres vivos cambian a lo largo del tiempo: algunos atributos cambian, otros permanecen estables. El cambio puede ser lento o rápido.	Cualquier cambio en el hábitat afecta a los organismos que viven en él.	Cuando un hábitat cambia la ventaja o desventaja de un rasgo puede cambiar. El cambio se produce de forma continua en la naturaleza a todos los niveles escalares

Aunque en cada ciclo se pone el énfasis en uno de los niveles de organización escalar en particular (1º ciclo – individuo; 2º ciclo – individuo y población; 3º ciclo – individuo, población y célula, completando así el modelo al finalizar la etapa), en realidad se busca un tratamiento gradual de cada uno de los niveles escalares que permita ir creando esa visión global de familia de modelos que representa la teoría de la evolución.

Con esta propuesta se pretende no llegar al final del camino sino iniciar el desafío de construir un modelo de evolución riguroso, suficiente para comprender el mundo y factible de enseñarse y comprenderse.

#### **4.4. Diseño e implantación de una secuencia de actividades prácticas en educación primaria**

En base al análisis curricular y las recomendaciones dadas por los especialistas para la incorporación de la teoría de la evolución en la educación primaria, se confeccionó una propuesta didáctica para esta etapa que permitiera trabajar varias de las ideas nucleares necesarias en la construcción del modelo de evolución biológica.

A la hora de definir el problema que serviría como hilo conductor de la propuesta, se barajaron diferentes posibilidades. Por ejemplo, “¿Cómo lograron sobrevivir los ginkgos a la bomba de Hiroshima?”, aprovechando que el alumnado participante en el estudio acababa de abordar dicho acontecimiento histórico a través del libro *Sadako y las mil grullas de papel*, de Eleanor Coerr (1996, 1ª Ed.). O “¿Por qué se extinguieron los dinosaurios?”, cuestión que despierta un gran interés en los estudiantes de estas edades, según apunta Cañal (2009) y comentó la propia docente de educación primaria durante el grupo de discusión.

Finalmente, teniendo en cuenta que muchos especialistas, como Nettle (2010) o Pobiner (2016), aconsejan aproximarse al estudio de la evolución tomando como punto de partida el ser humano y que el profesorado de 5º y 6º del centro había decidido trabajar sobre las “razas” humanas a partir del Proyecto Documental Integrado, se optó por abordar la cuestión desde un punto de vista evolutivo y trabajar sobre “¿Por qué tenemos la piel de diferentes colores?”. Conscientes de que afrontar un problema como este desde el punto de vista científico serviría también para trabajar aspectos tan necesarios como la ausencia de razas en nuestra especie. Precisamente, la diversidad humana fue una de las cuestiones que señaló uno de los especialistas entrevistados.

Consideraba que es importante que toda la ciudadanía tenga un buen dominio del modelo de evolución, para “*comprender de dónde viene y promover el respeto hacia los demás*”. Buscaríamos así la consecución de argumentos imprescindibles sobre un tema relevante en nuestra sociedad actual.

Este problema se desglosó en cuatro nuevos subproblemas: 1) ¿Qué le da color a la piel haciendo que todos tengamos tonos diferentes?; 2) ¿Qué hace que cada persona tenga más un tipo de melanina u otro?; 3) ¿Cómo llegamos a tener colores de piel tan diferentes? y 4) Si los primeros *Homo sapiens* surgieron en África y la eumelanina protege mejor de la radiación solar, ¿por qué hay tanta diversidad de tonos?

De este modo, la secuencia se compone de cuatro sesiones en las se van trabajando las ideas nucleares a través de una serie de actividades que conducen progresivamente a la resolución del subproblema planteado para cada sesión, poniendo en marcha diferentes prácticas científicas (tabla 15), en línea con propuestas como PRACCIS, liderado por Ravit Duncan y Clark Chinn, o del grupo RODA (USC).

Se realizó además una prueba de ideas previas compuesta por cinco cuestiones relacionadas con fenómenos evolutivos, entre ellas el propio problema que ocupa la secuencia didáctica, y cuyos resultados presentaremos en breve.

Tanto el diseño de la secuencia como la elaboración del material correspondiente (PPT, plantillas de trabajo, fichas de juego...) es producto del trabajo de la autora, pero se ha hecho uso de algunos recursos de carácter científico y artístico de otra autoría, bien para el desarrollo de las actividades, bien como inspiración, y que se indicará en cada caso. Considerando la innovación del diseño y sus contenidos, la propuesta se presenta aquí no sólo como un resultado en sí misma, sino complementada por aspectos relativos a su implantación en aula, que servirán para valorar (evidencias) su posible idoneidad didáctica y que responden a las indicaciones propuestas por los especialistas:

1. Organización de los contenidos en torno a situaciones problema actuales o que fueron objeto de estudio y controversia en la evolución del conocimiento de esa materia. concretamente, *¿Por qué tenemos la piel de diferentes colores?*
2. Los contenidos se presentan de forma que conecten con los estudiantes, para motivarlos y facilitar el aprendizaje. En este sentido, juegos y simulaciones (más técnicamente, análogos concretos) con soportes concretos como maquetas serían



un recurso fundamental. De ahí el diseño de actividades como *Mírame ben!*, donde el alumnado tiene la oportunidad de comprobar la diversidad dentro de su aula; juegos como *E ti... como te vés adaptando?*, de la Sesión 3, sobre adaptación, o el *Bingo escaravello*, sobre selección natural en la Sesión 4; así como el uso de maquetas y piezas de puzzle para recrear el proceso de producción de la vitamina D en la célula, también en la sesión 4.

3. Diseño de actividades con objetivos específicos y con incidencia directa en el desarrollo de la competencia científica, con especial atención a las prácticas científicas, es decir, indagación, modelización y argumentación (Bargiela, Puig y Blanco, 2018). Estas prácticas incluyen, entre otros, proponer, revisar y evaluar ideas a la luz de pruebas, seleccionar e interpretar datos, identificar pautas, proponer explicaciones o modelos y revisarlos... (Jiménez-Aleixandre, 2010). Por ejemplo, *Cun pouco de melanina* (S1) aborda las prácticas de indagación y argumentación a través de la formulación y contraste de hipótesis sobre la cantidad y tipo predominante de melanina de una pequeña selección de personas, mientras que *Melanineando* (S2) se centra en la modelización del proceso de expresión de genes por medio de su dramatización.
4. Actividades que pueden adaptarse a la diversidad de los estudiantes y que se pueden utilizar en distintas situaciones.
5. Actividades que proporcionan autonomía al estudiante, que debe ser capaz de tomar decisiones y ser consciente de lo que está aprendiendo.

No se pretende que sea una secuencia completa para construir el modelo de evolución biológica, dado que lo defendido en este trabajo es la necesidad de su aprendizaje progresivo a lo largo de las etapas educativas. Lo que se busca con esta propuesta es mostrar que se pueden diseñar e implantar con éxito actividades que consigan ese objetivo, para así “ir elaborando de forma integrada y comprensible algunos de los conocimientos más básicos al respecto”, como comentaba uno de los especialistas (E6).

Tabla 15. Síntesis de la secuencia didáctica

	Subproblema	Actividad	Práctica científica	Operación(es)	Core idea(s) trabajadas
SESIÓN 1	¿Qué le da color a la piel haciendo que todos tengamos tonos diferentes?	<i>Por que temos a pel de diferentes cores?</i>	-----	-----	Biodiversidad
		<i>Mírame ben!</i>	Indagación y argumentación	- Observar - Explorar - Recoger datos - Establecer conclusiones	Biodiversidad
		<i>Cal é a túa cor?</i>	Indagación y argumentación	- Observar - Explorar - Establecer conclusiones	Biodiversidad Variación
		<i>Cun pouco de melanina</i>	Indagación y argumentación	- Emitir hipótesis - Justificar respuestas - Experimentar/manipular - Recoger datos - Interpretar datos - Establecer conclusiones	Variación
SESIÓN 2	¿Qué hace que cada persona tenga más un tipo de melanina u otro?	<i>Descifrando a mensaxe</i>	-----	-----	-----
		<i>Melanineando</i>	Indagación y modelización	- Emitir hipótesis - Representar fenómenos - Experimentar - Recoger datos - Interpretar datos - Explicar fenómenos	Biodiversidad Variación
		<i>A+B=C?</i>	Indagación, modelización y argumentación	- Emitir hipótesis - Justificar respuestas - Representar fenómenos - Experimentar/manipular - Recoger datos - Interpretar datos - Establecer conclusiones	Herencia Variación
SESIÓN 3	¿Cómo llegamos los seres humanos a tener colores de piel tan diferentes?	<i>E ti... como te vés adaptando?</i>	-----	-----	Adaptación Biodiversidad
		<i>Un raio de sol, oh, oh, oh...</i>	Indagación, modelización y argumentación	- Interpretar información - Emitir hipótesis - Usar e identificar pruebas - Experimentar - Justificar respuestas - Establecer conclusiones - Explicar fenómenos	Adaptación Biodiversidad Cambio Variación
SESIÓN 4	Si los primeros <i>Homo sapiens</i> surgieron en África y la eumelanina protege mejor de la radiación solar, ¿por qué hay tanta diversidad de tonos?	<i>Bingo escaravello</i>	Indagación y argumentación	- Explorar - Recoger datos - Establecer conclusiones	Adaptación Cambio Herencia Selección natural Variación
		<i>A vitamina do Sol</i>	Indagación, modelización y argumentación	- Interpretar información - Emitir hipótesis - Justificar respuestas - Experimentar/manipular - Representar fenómenos - Recoger datos - Interpretar datos - Establecer conclusiones - Explicar fenómenos	Adaptación Ancestros comunes Biodiversidad Cambio Herencia Selección natural Variación

#### 4.4.1. Preconcepciones del alumnado de educación primaria sobre las ideas nucleares para el modelo de evolución

La prueba de ideas previas (ANEXO A5.1) estaba compuesta por cinco problemas, cada uno de los cuales exigía al alumnado movilizar y operar con al menos dos de las siete ideas nucleares del modelo de evolución (*biodiversidad, variación, selección natural, adaptación, herencia, ancestros comunes y cambio*). Esto nos ha permitido reconstruir sus modelos iniciales, presentados en la figura 15.

Asimismo, las preguntas formuladas requerían que pusieran en práctica su capacidad de modelización, argumentación, justificación y uso de pruebas, prácticas científicas que tendrían que poner en juego durante la secuencia. Recordemos que una de las recomendaciones de la literatura a la hora de trabajar con modelos es explicitar las ideas previas del alumnado, para tomarlas como punto de partida, y atender a las formas de razonamiento propias de los estudiantes (véase apartado 2.3).

Al analizar los resultados del alumnado, lo primero que llama la atención es que, a pesar de que no reciben enseñanza formal sobre evolución ni genética, sí presentan concepciones previas – algunas alternativas, otras útiles (Oliva *et al.*, 2003) – sobre varias ideas nucleares (véase figura 15 y tabla 16 respectivamente).

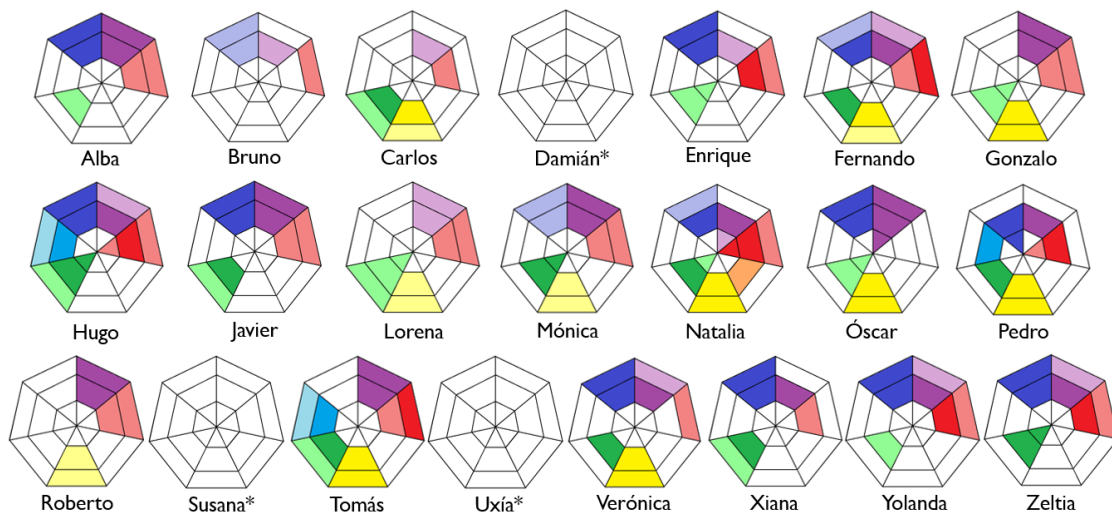


Figura 15. Modelos iniciales del alumnado

Examinando la figura 15 se puede comprobar que todos los estudiantes que cumplieron la prueba de ideas previas (19 de los 22 considerados) mostraron poseer nociones en torno a al menos tres ideas nucleares diferentes. De hecho, la mayoría opera con un mínimo de cuatro; principalmente, sobre biodiversidad, variación,

herencia y/o cambio y adaptación (15/19). Dos de ellos llegan incluso a hacer referencia a seis de ellas (Natalia, implícitamente a selección natural; y Pedro, explícitamente a ancestros comunes).

Evidentemente se trata de un conocimiento incompleto, a menudo confuso e inconsistente. Tal es el caso de Hugo, Pedro y Tomás, los tres únicos alumnos que han atribuido el parecido entre las extremidades superiores de un ser humano, un perro, un ave y una ballena a la existencia de un ancestro común.

Hugo habla de “avances”: *“Porque todos son “avances” dun animal que existiu fai moitos milenios”*. En cambio, Pedro, trata de explicar cómo se ha producido el cambio (centrándose únicamente en el ser humano y el perro): *“Porque como todo o corpo os animais ha ido evolucionando e a o mellor se centra en un mesmo espécime e non o alcanzaron será como un humano a catro patas ou así por iso os seus osos se parecen mais a dos humanos”*. Mientras, Tomás comenta que *“hai moito tempo todos os animais mamíferos eran algo parecido a unha rata”*, dejando al ave fuera de la explicación, probablemente por no disponer de información para enlazarla con el resto.

Igualmente, encontramos inconsistencias entre los apartados a) y b) de la pregunta 5 en varios de los estudiantes. Primero, para explicar la existencia de dos colores de pelo en los ratones (claros u oscuros), proponen múltiples de posibilidades: desde asociarlo a un fenómeno de dimorfismo sexual (Roberto), hasta atribuirlo a la necesidad de protegerse frente a depredadores según la zona en la que viven (Natalia) o según sea de día o de noche (Pedro), pasando por la muda de pelo (Óscar) o la cantidad de pelo que tienen (Enrique). Sin embargo, al pasar al siguiente apartado, donde tienen que dar cuenta del aumento de la proporción de ratones oscuros en el conjunto de la población en la zona de lava solidificada, automáticamente pasan a asociar la diferencia de color con la erupción volcánica, que habría ocasionado el cambio – automático – de los ratones por contacto con la ceniza, por el calor que desprende la lava, por cambios en los genes, etc.

Lo que realmente sorprende es la gran cantidad de preconcepciones que presentan y cómo la coincidencia en las respuestas se distribuye de forma inversamente proporcional al grado de familiaridad que tenga el alumnado con dicho fenómeno:

- Si se trata de un caso muy próximo a ellos, como el parecido y diferencia entre el ser humano, el perro, la ballena y el ave, o la diversidad de tonos de piel de los seres humanos, las respuestas tienden a ser similares entre sí: en el primer caso, la mayoría recurren a parecidos y diferencias que pueden apreciar en el propio dibujo del esqueleto, pero también mencionan que todos son seres vivos y vertebrados. En el segundo, prácticamente todos lo asocian al lugar del que proviene o en el que vive la persona y a la temperatura predominante.
- Si es un caso para el que no tienen una referencia clara, hay mucha más variedad en la respuesta, como acabamos de ver para el apartado a) de la pregunta 5, en la que prácticamente hay una respuesta diferente por cada alumno o alumna (y son 17 los que la han contestado).

Así mismo, están familiarizados con términos como “evolución”, “genes/genética”, “ADN” e incluso “mutación”, aunque no tengan claro lo que significa. Hasta seis alumnos contestan que el gatito, a diferencia de sus padres, tiene el pelo largo “*por la genética*”, sin hacer ningún otro tipo de aclaración que permita dilucidar qué entienden ellos por “genética”. Óscar sugiere que la diversidad de tonos de piel se puede deber a “*por nuestro origen, raza o adn*”, y Natalia propone que el aumento de ratones oscuros en la población del desierto de Nuevo México puede deberse a “*mutaciones que produce al desarrollarse con otros ratos de una especie diferente*”.

En cuanto a las formas de razonamiento del alumnado, un análisis conjunto del material demuestra su capacidad para construir explicaciones en cierta medida elaboradas, e incluso plausibles, aun cuando no se correspondan con la versión científica. Es el caso de Bruno o Zeltia, que atribuyen el largo del pelo del gatito (problema 2) a un mayor tiempo de vida, o Yolanda, que lo relaciona con cambios corporales derivados del crecimiento de la especie. Sin embargo, el razonamiento varía en función de:

- El/La estudiante: algunos y algunas se limitan a contestar de manera descriptiva, sin llegar realmente a justificar su respuesta; por ejemplo, Xiana, que no justifica ninguna de sus respuestas a excepción de la n°2.
- El problema en cuestión: por ejemplo, Mónica justifica todas sus respuestas e, incluso, recurre a las pruebas proporcionadas en el problema (P5b): “*En la zona de desierto hay muchos animales que comen ratones entonces muchos*

*escaparon para la zona de la lava)*”, pero no lo hace así en la pregunta dedicada a homologías, que ha sido también la menos respondida (solo 12 de 19).

También cabe mencionar el uso del ser humano como referente en dos casos a la hora de razonar sobre un determinado problema:

- Óscar: P3. *Pues es verdad, por más que pintemos las rosas de color, las raíces siempre serán iguales. Como el pelo, si lo tengo negro y lo tiño de rubio, las raíces siempre serán negras.*
- Verónica: P5. a) *Porque cada uno tiene el pelo de un color diferente (como su madre o su padre) Es igual que nosotros.*

Lo más resaltable es, en definitiva, la presencia de un gran número de ideas relativas a la teoría (Tabla 13), lo que demuestra su interés por el tema y la necesidad de poder contar con modelos que expliquen cuestiones que tienen que ver con su día a día o con su curiosidad. Y la escuela no responde ante esta necesidad.

A continuación se muestra el tipo de respuestas dadas por el alumnado para cada una de las ideas nucleares en los problemas formulados:

Tabla 16. Ejemplos de preconcepciones del alumnado acerca de las ideas nucleares

Idea nuclear	Problema*	Ejemplo
Biodiversidad	1A	“Tienen en común: son seres vivos (animales), pueden desplazarse de un sitio a otro, son vertebrados. Se diferencian: sus huesos no están en la misma posición; 1 nada, 1 vuela y 2 caminan; no se alimentan de los mismos; el humano tiene un mayor cerebro”
	4	“Por el lugar donde nacimos o descendemos, y por el clima que hace en ese lugar”
	5	“También puede ser por mutaciones que produce al desarrollarse con ratones de una especie diferente”
Variación	2	“Tal vez los gatos tuvieran distintos genes y si se fusiona dan una raza de gato con pelo largo” “Pues por casualidad”
	5A	“Pois que uns viven mais na laba e son mais escuros e os outros son máis claros porque estan mais no deserto” “Porque cada uno tiene el pelo de un color diferente (como su madre o su padre). Es igual que nosotros” “Porque a erupción volcánica pudo perjudicar na forma e cor do rato”
Selección natural	5B	“Por la reacción química que expulsó el volcán, que hizo que varios ratos sobrevivieran pero con cambios”
Adaptación	4	“Creo que es por el lugar típico donde vivimos; por ejemplo, cuele haber muchos negros en África porque allí hace mucho calor y hace que la piel sea más oscura”
	5	“Porque puede ser que los ratones estuvieran adaptados a su tierra y por eso tenían color claro antes de la erupción y después de ella se adaptaron al color oscuro”

Herencia	2	“Es porque en su familia pudieron tener un gato con pelo largo” “Por genética, si su padre o su madre tienen el pelo corto, el gatito también” “Por la genética”
	3	“Opino que Cinco de Picas tiene razón, porque si las rosas en principio son blancas, sus descendientes también. Porque si están pintadas de rojo, aún así son blancas”
	Otros	“A que a uno de los ratones le alcanzó el volcán, pero sobrevivió, entonces sus hijos tuvieron el mismo pelo”
Acestros comunes	1B	“Porque hace mucho tiempo todos los animales mamíferos eran algo parecido a una rata”
Cambio	3	“Que sí, que de unas rosas blancas no pueden salir rojas”
	5	Porque cuando la lava tocó a los ratones pudo afectar a su color o forma. Y los de color blanca, al no tocar con la lava siguen igual”
	Otros	“Dependiendo del lugar donde habitan estos ratones, el color de su piel cambia para protegerse de los depredadores”. “Porque a medida que crecen los gatitos van perdiendo el pelo y algunos acaban con él corto como estos dos”

\* En cada problema se aborda una o varias ideas nucleares en concreto. Por tanto, el número que aparece en esta columna indica el problema de que se trata. Ahora bien, en ocasiones el alumnado ha aplicado las ideas nucleares en otros problemas; estos casos se recogen en una fila aparte, denominada “Otros”.

El análisis también ha permitido comprobar el escaso número de concepciones alternativas que pudieran interferir, tanto en el desarrollo de la propia secuencia didáctica como en la construcción del modelo de evolución más adelante. Concretamente aparecen las siguientes:

- a) Evolución asociada a progreso (1 estudiante): podría haber una cierta asociación del proceso evolutivo con la idea de progreso en la respuesta de Hugo “*Porque todos son “avances” dun animal que existiu fai moitos milenios*”, si bien él mismo entrecomilla la palabra “avances”, dando a entender que es una forma de hablar y no tanto una progresión en el desarrollo de las especies hacia un estado mejor.
- b) Adaptación por necesidad (3 estudiantes): podemos identificar la existencia de esta concepción alternativa en “*porque puede ser que los ratones estuvieran adaptados a su tierra y por eso tenían color claro antes de la erupción y después de ella se adaptaron al color oscuro*”. Derivada quizás de una excesiva aplicación del pensamiento teleológico, podría ser un problema a la hora de comprender el fenómeno evolutivo al abordarlo únicamente en términos de funcionalidad (Kelemen, 2012). Ahora bien, este razonamiento basado en la necesidad puede interpretarse desde una óptica más positiva: supone la superación de un razonamiento basado en el deseo – que efectivamente, no aparece en ninguno de los estudiantes –, constituyéndose así en un primer

*stepping-stone* en el camino hacia la comprensión de la selección natural (Evans *et al.*, 2013).

No obstante, cabe destacar que no aplican este cambio por necesidad a toda la especie, ni siquiera a toda la población. Por ejemplo, solo se transforman aquellos ratones que entran en contacto con la lava (en este caso, sería además una consecuencia, no producto de la necesidad) o bien que viven en la zona oscura (uno de los estudiantes incluso sugiere que puedan adoptar uno u otro color en función de si es de día o de noche). Y hay otros estudiantes que hablan directamente de migración, es decir, ni siquiera hay adaptación por necesidad, sino un desplazamiento hacia lugares con condiciones más aptas para vivir con las características que ya tienen: “*En la zona de desierto hay muchos animales que comen ratones entonces muchos escaparon para la zona de la lava*”.

- c) Herencia de caracteres adquiridos: teniendo en cuenta que esta idea es muy intuitiva, sobre todo cuando se une a la de adaptación por necesidad, y que puede conducir a interpretaciones de corte “lamarckista”, se diseñó un problema específico para ponerla en evidencia; el problema nº 3, que preguntaba al alumnado si al pintar unas rosas blancas de rojo, las semillas saldrían rojas o blancas.

Todo el alumnado que respondió (16/19), lo hizo correctamente: “*Opino que Cinco de picas tiene razón, porque si las rosas en principio son blancas sus descendientes también. Porque si están pintadas de rojo aún así son blancas*”. Sin embargo, al resolver el problema nº 5, una elevada proporción de estudiantes sugirió que los ratones habían cambiado debido a la erupción volcánica, a pesar de que en el enunciado se les indicaba que ya antes de la erupción había de los dos tipos. De hecho, algunos y algunas hasta relacionaron el cambio de color con haberse manchado con la ceniza, como si de un tinte se tratara.

En base a estos resultados, parece que esta concepción alternativa es admitida por el alumnado en el caso de causas naturales – aunque con el descubrimiento de la epigenética, sería interesante cuestionar hasta qué punto esta idea puede ser errónea –, pero no en el caso de causas artificiales.

- d) Generación de nuevos caracteres por fusión/combinación de dos individuos/especies diferentes (2 estudiantes): aparece en la respuesta al problema 2: “*Tal vez los gatos tuvieran distintos genes y si se fusiona dan una raza de gato con pelo largo*”; y en la respuesta al problema 5: “*También puede*



*ser por mutaciones que produce al desarrollarse con otros ratones de una especie diferente”.*

- e) Creacionismo (2 estudiantes): uno atribuye el parecido entre especies a que *“todos fueron creados en la tierra”*, otro explica los diferentes tonos de piel porque *“todos procedemos de una misma pareja inicial”*.
- f) No considerar al ser humano como un animal (1 estudiante). Esta idea, aunque no sea específica del modelo de evolución, confirmaría la necesidad de comenzar el trabajo en educación primaria por evolución humana. Diferencias entre las especies propuestas: *“El humano no es un animal, y todos tiene la forma de las extremidades diferentes”*.
- g) Igualmente, es relevante para el tema que sirve como hilo conductor de la secuencia didáctica, que la mayoría del alumnado asocia constantemente la diversidad de tonos de piel con clima y temperatura (frío/calor), en lugar de con radiación solar. Únicamente una de los estudiantes lo asocia correctamente, apoyándose además en su experiencia cotidiana: *“Por el ADN de nuestros países o por la luz solar, por eso cuando vamos a la playa nos ponemos morenos”*.

#### 4.4.2. El desarrollo de la secuencia de actividades

A continuación se narra, de forma sintetizada y esquemática, la implementación de la secuencia de actividades sesión a sesión. En cada sesión se indica el objetivo de la actividad, material empleado, desarrollo, resultados y observaciones de la investigadora. Al final se recogen también algunas consideraciones de carácter general que completan la visión de conjunto de la propuesta. Creemos que esta breve exposición de la implementación permitirá evaluar las fortalezas y debilidades de la propuesta, así como contextualizar las intervenciones y el trabajo del alumnado, que se analizarán detalladamente en el siguiente apartado.

Cabe recordar que el grupo-clase estaba compuesto por 25 estudiantes de 5º de educación primaria (10-11 años), pero que no siempre estuvieron todos presentes, por motivos diversos (ausencias, clases de apoyo...). En el caso de ser relevante para el desarrollo de la sesión se informará de estas variaciones.

Para que la investigadora pudiera identificar con facilidad a cada uno de los estudiantes, se les entregó una pegatina en la que escribieron su nombre y pegaron a su

ropa. Cuando trabajan en pequeño grupo la docente los organiza en grupos formados por 4 o 5 estudiantes.

### **Sesión 1**

**Actividad 1:** *Por que temos a pel de diferentes cores?*

- **Objetivo:** Introducir el tema de estudio y movilizar sus concepciones previas.
- **Material:** Presentación PPT.
- **Desarrollo de la actividad:** Se mostró en la pizarra electrónica el problema de estudio, formulado como pregunta que promueve la reflexión: *¿Por qué tenemos la piel de diferentes colores?*
- **Resultados:** Algunos sugirieron que era “por los genes”; otros, “por los padres”; otros, “depende del lugar de donde seas”; otros no hicieron ningún comentario.

**Actividad 2:** *Mírame ben!*

- **Objetivo:** Explorar la diversidad intraespecífica de la especie humana (todas las personas somos diferentes).
- **Material:** Presentación PPT y plantilla de trabajo (ANEXO A5.2) para recoger datos sobre múltiples características, todas ellas observables a simple vista. Inspirada en la actividad nº 1 “*Todos diferentes, todos iguais*” de Sá-Pinto y Campos (2012), se han seleccionado rasgos que nos diferencian y que habitualmente no observan, como la forma de la cara o el tamaño de los ojos, frente a otros más llamativos, como el color, ya sea de pelo, ojos o piel (elemento central en este caso). Se dejaron varias casillas disponibles para que añadieran otras partes del cuerpo o características.
- **Desarrollo de la actividad:** Por parejas, se observaron mutuamente las características durante unos minutos y las anotaron en la plantilla correspondiente. Después, la docente fue seleccionando varios estudiantes para que describieran a su compañero o compañera, procurando que fueran de rasgos y ascendencias muy diversas. Finalmente, los estudiantes concluyeron que todos somos absolutamente diferentes al resto, porque nuestros rasgos se combinan en múltiples formas, haciéndonos únicos (blog).
- **Resultados:** Gran parte del alumnado fueron muy exhaustivos y creativos en sus descripciones: añadieron cejas, orejas y/o labios, y tomaron nota de la forma

“plana/ovalada”, “almendrada”, “como si estuviera cansada” de los ojos de su compañero o compañera; del su pelo de forma “punzante”; sus orejas en forma de “medio corazón”, o su tono de piel “blanco morenito”, “marrón claro” o “marrón muy oscuro, pero más claro en los pómulos”.

	Ojos	Pelo	Cara	Orejas	labios
Tamaño	grande	largo	grande	grandes	grosos
Cor	Marron	Negron	blanca	blancas	roscas
Forma	almendrada	liso	ovalada	Medio corazón	plafizes

Figura 16. Ejemplo de la actividad inicial *Mírame bien!* (Sesión 1)

### Actividad 3: *Cal é a túa cor?*

- **Objetivo:** comprender la variabilidad intraétnica, cuestionando así la creencia popular de que existen diferentes “razas” humanas.
- **Material:** Selección de fotografías procedentes del proyecto *Humanae*, de la fotógrafa Angélica Dass. La elección de este proyecto se debió no solo por su hilo argumental (la gran variedad de tonos de piel que existen en el mundo, el valor de esta diversidad y la importancia de reconocernos ante todo como seres humanos) o la amplia gama de tonos que muestra, sino también a que las fotografías están tomadas en las mismas condiciones (centradas en la persona, sin adornos, misma pose, misma luz, misma paleta de colores para el fondo...), lo que facilita hacer una comparación más objetiva y focalizada. Se trata de aproximarlos a la enorme variedad de tonos de piel que existe y comprobar cómo este rasgo puede combinarse con cualquier otro (forma de pelo, color de ojos...), con independencia del lugar de procedencia de esa persona.

Para ello se organizaron en 3 secciones:

1. *Personas con el mismo tono de piel, pero distinta ascendencia.*
2. *Personas con la misma ascendencia, pero distinto tono de piel.*
3. *Rasgos comúnmente asociados y usados para hablar vulgarmente de “raza”.*

- **Desarrollo de la actividad:** Tras informar al alumnado acerca del proyecto *Humanae* y su autora, se fue presentando la selección de fotografías, acompañadas siempre de la pregunta de reflexión: “¿En qué se parecen y se diferencian estas personas?” El alumnado fue enumerando similitudes y diferencias entre las 2, 4 o 5 personas incluidas en cada diapositiva.
- **Resultados:**
  - Aunque la calidad de la imagen no era buena, los niños fueron capaces de reconocer que la exposición presentaba infinidad de tonos e, incluso, se dieron cuenta de que el tono del fondo coincidía con el del color de piel de la persona retratada.
  - Preguntaron por el significado del término Pantone® y si el número reflejaba el número de colores que existen de ese “tono”. Se les respondió que ese número no representa el total de tonos, sino que es solo un código para ordenarlos por tonalidades y así sea más fácil identificarlos y localizarlos, y que la razón de la autora para escoger este catálogo en particular fue que no distingue entre colores primarios y secundarios, sino que los trata todos por igual. Para que lo entendieran mejor se comparó con el catálogo que se usa para escoger el color que se aplicará a cada habitación cuando se pinta una casa. Uno de ellos lo relacionó con el catálogo de IKEA.
  - Ninguno de los estudiantes empleó en ningún momento el término de “raza”, ni tampoco “negros” o “blancos” para describir a las personas retratadas (aunque algunos sí habían usado “blanco” y “negro” al completar la plantilla de *Mírame ben!*). En cambio, se referían a nacionalidades específicas. De hecho, la conexión con la actividad anterior (*Mírame ben!*) les permitió centrarse continuamente en caracteres que no tenían relación con el tono de piel: la forma del pelo (si el pelo era ondulado, liso o rizado); la forma y tamaño de la nariz (si era más larga, o más corta, más ancha, o más estrecha); características más específicas (tinte de pelo, presencia/ausencia de canas...). Por otra parte, declararon desconocer ciertos estereotipos, como el empleo de los términos de “rojo” y “amarillo” para referirse, respectiva y vulgarmente, a las personas nativas norteamericanas y a las personas asiáticas.
  - En cada una de las secciones el alumnado fue capaz de identificar el tono como una similitud en el caso de la sección 1 y como una diferencia en la sección 2. En cambio, en la sección 3 no notaron nada de particular, no tenían asociado el rasgo

“labios gruesos” con personas de “raza” negra, aunque uno de ellos creía que era un rasgo “propio” de personas latinoamericanas.

○ Ejemplos destacables:

- Sección 1 - Al mostrar la diapositiva en la que aparecían cuatro personas (dos hombres, uno de ascendencia coreana, el otro, india; y dos mujeres, ambas de ascendencia europea, pero una de pelo oscuro y ojos claros, la otra rubia (teñida) de ojos oscuros), surgió una discusión en torno a la tendencia de las personas de países occidentales a catalogar a cualquier persona de ojos rasgados como procedente de China, cuando podría ser de Corea, Japón, Vietnam, Tailandia...:

**Fernando:** *El primero es chino..., porque tiene los ojos rasgados* [acompañando sus palabras del gesto].

**Javier:** [Molesto] *¿Y cómo sabes que es chino?*

**Investigadora:** *De hecho, no es chino, es coreano.*

**Javier:** *¡Toooma!* [haciendo gesto de victoria]

- Sección 2 - Al proyectar la diapositiva con dos niños (un niño y una niña) de ascendencia nórdica, algunos alumnos y alumnas propusieron que eran suecos o noruegos, mientras que otro afirmó que el niño era tirolés “*por el pelo rubio, la piel así blanquita y los ojos claros*”. También sugirieron la posibilidad de que fueran hermanos por su parecido físico (a pesar de que el niño tuviera, según sus palabras, “*la piel un poco más anaranjada*”). Se sorprendieron muchísimo cuando se les presentó la verdadera hermana del niño (de piel canela, pelo ensortijado, ojos verdes...), aunque no tardaron en identificar nuevamente un gran parecido entre ellos: la forma de la cara y la nariz, la casi ausencia de cejas, el tamaño de los labios... Otra de las alumnas mencionó el caso de las dos gemelas (en realidad, mellizas) de la portada del número especial de abril 2018 de *National Geographic* (fig. 17):



Figura 17. Portada del número especial de abril de 2018 de National Geographic.

#### Actividad 4: *Cun pouco de melanina*

- **Objetivo:** Iniciarse en la formulación y contraste de hipótesis, y comprender que la pigmentación de la piel de cada persona es resultado de la combinación de varios factores (número total de melanosomas, cantidad de melanina dentro de cada melanosoma y tipo de melanina predominante).
- **Material:** Presentación de PPT. Para el experimento, se proporcionó a cada pequeño grupo:
  - 1 plantilla de trabajo por integrante (ANEXO A5.3)
  - 3 boles de plástico con bolitas de hidrogel marrón oscuro, naranja-rosado y transparente respectivamente.
  - 5 vasos transparentes pequeños de plástico



Figura 18. Bolitas de hidrogel empleadas a lo largo de la propuesta

- **Desarrollo de la actividad:** Se introdujo el tema a través de una breve exposición sobre las capas que forman la piel, para poder distinguir la ubicación de los melanocitos y su función (utilizando la analogía del calamar), así como la distinción entre feomelanina y eumelanina. Se añadió que las sustancias que dan color se denominan “pigmento”, y que la melanina no solo es responsable del color de la piel, sino también del pelo y los ojos, tanto en los seres humanos como en otros animales. Por último, se les explicó que el tono de cada persona depende de los tres factores mencionados. A excepción de las personas con albinismo, cuya condición genética provoca que se sean incapaces de producir melanina (o muy poca).

Hecha esta breve introducción, pasaron a trabajar sobre cómo interactúan estos factores. Para ello, se tomó como ejemplo cinco retratos de *¿Cuál es tu color?*, con tonos de piel muy diferentes, y se pidió a los estudiantes que los reprodujeran. ¿Cómo? Combinando las bolitas de hidrogel proporcionadas: marrón oscuro, representando eumelanina; naranja-rosado, representando feomelanina; y transparente, representando melanosomas sin melanina. Estas servirían para conseguir tonos de piel más claros (o incluso albinos) y poco intensos, que en la realidad serían pieles con menos melanina por cada melanosoma, el tercer factor en juego, además del tipo de melanina (recogido a través del color de las bolitas de hidrogel) y del nº total de melanosomas (representados como bolitas de hidrogel).

Las fotografías se proyectaron en la pizarra digital (que aquí no se recogen por derechos de autor; en su lugar, se muestra el tono aproximado), acompañadas de una serie de preguntas que les permitirían elaborar sus propias hipótesis (fig. 19).

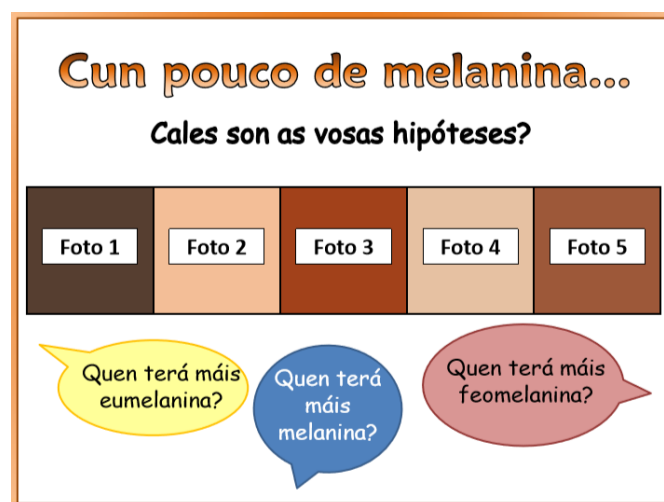


Figura 19. Diapositiva correspondiente a la actividad *Cun pouco de melanina...*

Suponiendo que desconocerían el término “hipótesis”, se incluyó una breve definición al comienzo de la plantilla de trabajo que sirvió de apoyo para la explicación en clase. A continuación, se les dejaron unos minutos para que las redactaran de forma individual. Luego, comenzaron a experimentar con las bolitas de hidrogel para reproducir el tono de piel de cada una de las personas seleccionadas. Fueron anotando los resultados obtenidos en la parte posterior de la plantilla de trabajo y después, en la puesta en común, los compararon con el resto de sus compañeros y compañeras, comprobando lo acertado, o no, de sus predicciones.

▪ **Resultados:**

- Al conocer el proceso mediante el que se produce la melanina y los diferentes factores que determinan el color de una persona, Hugo preguntó: “¿Entonces cuando nos ponemos morenos es que nuestro cuerpo fabrica más melanina?”. La docente asintió y todos comenzaron a hablar sobre si se ponían morenos o no en verano, si lo hacían muy rápido o muy lento, si se quemaban con frecuencia, que unos debían tener más o menos saquitos de melanina porque su piel era muy oscura/clara/intermedia...
- Saber que otros animales también tienen melanina y que da color no solo a nuestra piel sino también a ojos y pelo generó cierta confusión, porque “si la melanina es lo que da color a nuestra piel, a nuestros ojos y a nuestro pelo, ¿cómo es que hay gente que tiene el pelo rubio, negro, pelirrojo...?”.
- Aproximadamente la mitad de la clase había oído hablar del albinismo, aunque en su mayoría en relación con animales (p.ej. conejos, serpientes, tigres...). Les sorprendió bastante saber que esta condición genética podía afectar también a los seres humanos y preguntaron si podía “curarse”, qué pasaba si se exponían al sol...
- No hubo problemas a la hora de que formularan sus hipótesis, pero sí les costó mucho justificarlas. Eran capaces de hacer predicciones con facilidad (p.ej. “El nº1 es el que va a tener más eumelanina”), pero al justificar su respuesta intentaban encontrar “la explicación correcta”. Consideraban que su razonamiento (“porque es el que tiene la piel más oscura [y la eumelanina es la que da tonos oscuros]”) no era lo suficientemente válido para servir de justificación.



- Varios estudiantes usaron la analogía del calamar (que empleó la docente para explicar qué eran los melanosomas) en la formulación de sus hipótesis, es decir, en lugar de hablar de qué persona tenía más/menos melanina o melanosomas, hablaban de que tal o cual persona tenía más o menos “bolsas de tinta”.
- Se les preguntó qué representaba cada color y, de inmediato, identificaron que las bolitas de color marrón representaban eumelanina, mientras que las de color naranja-rosado eran feomelanina, y fue Carlos el que aventuró que las “blancas” podían ser para representar las personas albinas, porque “no tienen nada de melanina”. Se les informó de que, como no disponíamos de bolitas con más o menos color dentro, emplearían las bolitas “blancas” para compensar ese factor.
- Los resultados (Tabla 14) fueron en ocasiones muy dispares, sobre todo en el nº total de bolitas de hidrogel usadas, tanto de eumelanina (E) como de feomelanina (F) y “sin melanina” (S). Sin embargo, todos coincidieron en que la persona con más eumelanina era la nº1 y que la persona con menos melanina en general y eumelanina en particular, era la nº4, tal y como habían predicho.

En este sentido, son especialmente interesantes las reflexiones de dos de los grupos de trabajo, que tuvieron que reformular sus hipótesis iniciales a la vista de los resultados obtenidos:

- 1) En el grupo 1 (Damián, Fernando, Isabel, Javier y Susana) discutían si la número 4 era albina o no y, por lo tanto, si debía llevar solo bolas “blancas” o también de las otras: al comprobar que usando únicamente bolitas blancas no conseguían el tono adecuado, tuvieron que añadir bolitas de feomelanina.
- 2) En el grupo 4 (Carlos, Lorena, Pedro, Verónica y Antón, uno de los alumnos de clase de apoyo), Lorena le insistió a Carlos en que había que incluir más bolitas de eumelanina a la persona nº3 porque, aunque su color era más anaranjado que el nº5 (como defendía Carlos acertadamente y razón por la que había incorporado sobre todo bolitas de feomelanina), también era más intenso, por lo que hacían falta más bolitas de ambos tonos. Esto los llevaría a concluir que no siempre la persona con la piel más oscura es la que tiene más melanina (como habían sugerido en sus hipótesis), sino la persona con un color más intenso.

Tabla 17. Resultados obtenidos por el alumnado en la actividad *Cun pouco de melanina*

	Foto 1	Foto 2	Foto 3	Foto 4	Foto 5
Grupo 1	27E, 2F, 1S	3E, 17F, 6S	15E, 12F, 4S	0E, 10F, 20S	21E, 20F, 3S
Grupo 2	32E, 0F, 8S	2E, 16F, 4S	10E, 5F, 3S	-----	-----
Grupo 3	22E, 1F, 0S	3E, 5F, 1S	6E, 3F, 0S	0E, 6F, 7S	9E, 4F, 0S
Grupo 4	20E, 4F, 2S	4E, 12F, 9S	18E, 6F, 0S	0E, 6F, 9S	9E, 10F, 12S
Grupo 5	50E, 10F, 0S	-----	38E, 20F, 3S	0E, 6F, 7S	10E, 0F, 20S

▪ **Observaciones de la investigadora:**

- Para ayudarlos a memorizar los nombres (eumelanina vs feomelanina) la docente hizo un breve juego en el que tenían que repetir uno u otro término según los señalaba; luego, repartidos en grupos, unos se levantaban o se sentaban según cuál el tipo de melanina asignado. Asimismo, para comprobar si lo habían entendido, se les preguntó qué pasa si tienes más eumelanina: “Tu piel será más...” (Todos al unísono) “¡Oscura!” y si tienes más feomelanina... (Todos al unísono) “¡Clara!”.
- Se había previsto calcular la cantidad de cada tipo de melanina en porcentaje para hacer una comparativa más rigurosa entre los resultados y, así, poner en relación la actividad científica con la matemática. Sin embargo, se decidió omitir este paso, por recomendación de la docente, ya que los estudiantes no estaban muy familiarizados con el cálculo de porcentajes.
- Cuando se incorporó al aula el alumnado de la clase de apoyo (al alargarse la sesión), la docente les encargó la tarea de “observadores”, precisamente porque no habían podido atender a la primera parte de la sesión. Sin embargo, sus compañeros y compañeras enseguida les asignaron alguna tarea específica. Por ejemplo, llevar las cuentas de cuántas bolitas de hidrogel usaban para cada lograr el color de piel de cada persona, hacer el vaso que les faltaba por repartir o comparar si les daba igual y, así, comprobar que lo estaban haciendo bien (creían que debía dar un número concreto de bolas; de hecho, preguntaban constantemente si estaban bien los números que les daban, o si debían añadir o quitar algo).

**Sesión 2**

**Actividad 1: Descifrando a mensaxe**

- **Objetivo:** Familiarizarse con la idea de “transcripción” como descifrado para facilitar, posteriormente, la comprensión del proceso de transcripción del ADN para la producción de la melanina.
- **Material:** Presentación PPT y plantilla de trabajo (ANEXO A5.4).
- **Desarrollo de la actividad:** Se entregó a cada estudiante la plantilla de trabajo, con el mensaje encriptado y la clave para descifrarlo, animándoles a que lo resolvieran por parejas, con la persona situada a su lado, para agilizar y facilitar la tarea. Posteriormente, se solicitó a varios estudiantes que leyeran su respuesta y se comprobó la solución en la pizarra digital.
- **Resultados:**

El primero en resolver la actividad fue Hugo que fue sustituyendo cada símbolo por su vocal correspondiente, sin prestar demasiada atención a qué ponía cada frase hasta que terminó y lo leyó todo de una vez.

Sin embargo, hubo otros alumnos y alumnas que, además de usar el código de descifrado, también fueron probando qué palabras podían encajar aquí o allá en función de lo que ya sabían, demostrando así que han asimilado el contenido. Por ejemplo, una vez descifrado “Hay dos tipos...” en “H\*\* dΔ ● s t\*pΔs d❖ m❖l\*n\*n\*”, ya no necesitaban seguir usando el código, sino que inmediatamente adivinaban que lo que seguía era “de melanina”. A partir de ahí, para averiguar cuál de los dos se mencionaba primero, eumelanina o feomelanina, se fijaban en si la siguiente “\_\_melanina” llevaba dos o tres símbolos delante, buscaban la “f” de la feomelanina, y/o comprobaban si a continuación se hablaba de tonos oscuros o de tonos claros.

La presencia de una errata en “a eumelanina” (faltaba un espacio entre ambas palabras) provocó que muchos de los que usaban esta segunda estrategia se equivocaran, o dejaran el hueco en blanco.

### **Actividad 2:** *Melanineando*

- **Objetivo:** Modelizar el proceso de expresión de los genes y relacionar la diversidad de tonos de piel con la diversidad genética.
- **Material:** Presentación de PPT. Para cada pequeño grupo:
  - 3 boles de plástico con sendas bolitas representando la eumelanina, la feomelanina y los melosomas sin melanina respectivamente.

- 1 tira de cartulina (roja, azul, amarilla, verde o naranja<sup>2</sup>) con una secuencia de ADN conformada por 8 tripletes:

Azul:	A A T G G C G T A C T T G T T C C G A G T T C G
Naranja:	G C C A T A C T C C G A T C C T C G G T A A C C
Rojo:	A C G T A A T C T T G C G G A G T C G T T A T C
Verde:	A T A T A G T A A C C G T T G T A C A T G C T A
Amarillo:	T T G A G C C C G G T T C T A T A T C G C A C G

- 1 tira de cartulina (del mismo color de la secuencia) pero en blanco y que representará el ARN mensajero.
- 1 vaso para transportar las bolitas de hidrogel
- 1 vaso transparente de plástico que representará el queratinocito (estos vasos se colocaron todos juntos en la mesa de trabajo situada al fondo del aula)
- 5 fichas de trabajo diferentes cada una con una función específica dentro del proceso de producción de melanina medidas en sendos sobres del mismo color que la tira de ADN (ANEXO A5.5):
  - o Transcriptor del ADN
  - o Cortador de ARNm
  - o Traductor de tripletes de ARNm
  - o Fabricante de melanina
  - o Transportador de los melanosomas
- **Desarrollo de la actividad:** Se inició la actividad formulando el siguiente problema a trabajar “¿Qué hace que tengamos más de un tipo de melanina u otro?, desglosándolo en tres preguntas más concretas que les permitieran avanzar en el problema y los pusiera sobre la pista de la información genética: “¿Qué determina que tengamos más o menos melanina?”, “¿Por qué tenemos más de un tipo de melanina u otro?” y “¿Cómo saben los melanocitos qué tipo de melanina tienen que producir?”.

Poniendo el énfasis en esta última pregunta, en cómo “sabe” una célula qué función tiene que cumplir, sus comentarios confirmaron que era a través del ADN (o

---

<sup>2</sup> Como solo había 20 niños, formamos 4 grupos de 5, por lo que dejamos fuera (al azar) una de las secuencias de ADN; en esta ocasión, la de color naranja.

información genética). Para que lo comprendieran mejor, se recurrió a la analogía del “libro de instrucciones”, informando de que:

- 1) Cada célula tiene una copia entera de este “libro”, aunque solo lee la parte (“el capítulo”) que le corresponde.
- 2) Cada persona tiene una “receta” diferente...
- 3) ... y la información contenida en este “libro” es hereditaria.
- 4) Esa información está escrita en un lenguaje propio, compuesto por 4 “letras” (A, de Adenina, T de Timina, C de Citosina y G de Guanina), que forman “palabras” de 3 letras (tripletes) y que cada palabra “da” una instrucción diferente.
- 5) Ese lenguaje difiere ligeramente del lenguaje que emplea la célula, que usa Uracilo (U) en lugar de usar Timina.

Esto condujo a plantear la pregunta *¿Cómo se “pasa” de la información contenida en el ADN (localizado en el núcleo del melanocito) a la producción de las “bolsitas” de melanina que luego acaban en los queratinocitos y nos dan nuestro color de piel?* y así dar paso a la parte de experimentación, organizada en 5 pasos (fig. 20):

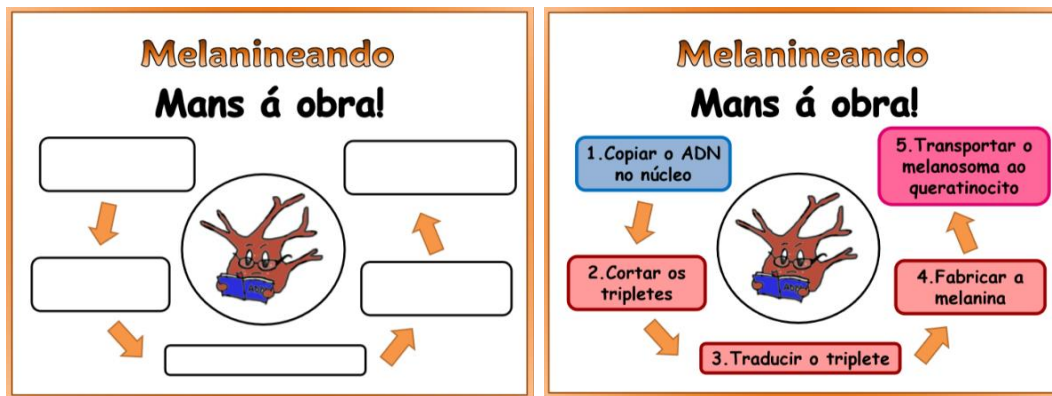


Figura 20. Diapositiva ilustrando los pasos de expresión de los genes en la actividad de *Melanineando*

- 1) Transcribieron el ADN: simulando encontrarse en el núcleo del melanocito y para saber cuánta y qué tipo de melanina debían producir, hicieron una copia invertida y en formato ARN de la secuencia de ADN que les tocó (azul, roja, verde o amarilla) sobre la tira en blanco que, a partir de ese momento, se convertiría en ARN mensajero.
- 2) Formaron los tripletes: simulando encontrarse en el ribosoma del melanocito y tras localizar la primera U que señalaba el inicio del proceso, recortaron la tira de

cartulina de color que acababan de completar (ARNm), de 3 en 3 letras. A medida que recortaban, le iban pasando el triplete al estudiante encargado de traducirlos.

- 3) Tradujeron el ARNm: simulando encontrarse en el ribosoma del melanocito y usando el código de equivalencias facilitado, tradujeron cada uno de los tripletes a eumelanina, feomelanina o sin melanina según correspondía.
- 4) Fabricaron la melanina: simulando encontrarse en el melanosoma del melanocito y, según le iba dictando su compañero o compañera encargada de traducir los tripletes, metían en el vaso pequeño 10 bolitas de hidrogel de color marrón oscuro, naranja-rosado o “blancas” según se tratase de eumelanina, feomelanina o sin melanina respectivamente.
- 5) Transportaron los melanosomas, que contenían la melanina (representados como las bolitas de hidrogel) a los queratinocitos (representado como el vaso grande de plástico situado sobre la mesa del fondo del aula), aparentando encontrarse en las dendritas del melanocito y, a medida que un estudiante seleccionaba las 10 bolitas de hidrogel que procediese, otro integrante del grupo las iba transportando en el vaso pequeño al vaso grande que les correspondía.

Una vez que todos los grupos acabaron de producir su propia melanina, reunimos a todos alrededor de los vasos (ahora ya completos) y comentaron los resultados. Primero, cada grupo informó al resto de qué cantidad de eumelanina, feomelanina y sin melanina habían tenido que producir a partir de su secuencia de ADN; después, compararon el tono final conseguido en cada caso y llegaron a la conclusión de que cada secuencia había dado lugar a un tono completamente diferente, es decir, la diversidad de los tonos de piel está relacionada con la diversidad genética.

▪ **Resultados:**

- En la introducción de la tarea muchos estudiantes sugirieron que la razón de que las personas tengamos diferentes concentraciones y tipos de melanina debía ser “por el ADN”, “los genes” o “la genética”, en un sentido genérico. Otros, en cambio, dieron respuestas más elaboradas, como Óscar, que dijo: “*Lo heredamos de nuestros padres; somos una mezcla*”. Igualmente, algunos y algunas propusieron que la mayor o menor producción de melanina e incluso su tipo podía venir condicionada por el clima, la estación (en verano nos ponemos más morenos) o el lugar de procedencia de una persona.

- Cuando la docente iba a detallar cuáles eran las letras que conforman el lenguaje del ADN, Damián alzó la mano para dar los nombres (A de Adenina, T de Timina, C de Citosina y G de Guanina) y explicar que se llamaban “bases” y que formaban una doble hélice y que la A solo podía combinarse con la T, y la C con la G y que estaban unidas por enlaces. Sabía todo eso gracias a un juego de imanes del estilo de Geomag®, pero sobre el ADN, que, a petición de la docente, trajo al aula en la siguiente sesión para mostrarlo a toda la clase.
- Al momento de entregarles los sobres y leer por primera vez las instrucciones, fueron capaces de identificar, casi de inmediato, que las tarjetas aparecían correctamente numeradas. En dos de los grupos sus integrantes decidieron intercambiarse la tarjeta o el asiento para estar en orden y facilitar la actividad.
- Asimismo, cuando la docente describió el primer paso como una “traducción” de ADN a ARN, dos de los estudiantes corrigieron la situación, explicándole que lo que estaba diciendo no coincidía con lo que ponían sus tarjetas. Al ver la expresión de duda de la docente, que al principio no se dio cuenta de cuál era el problema, defendieron cuál era su papel en el proceso, justificando por qué tenían que ir de primeros o terceros en función de lo que tenían que hacer: *“Yo tengo que transcribir el ADN primero para que los demás puedan entender qué pone”* o *“Es que para decirle a Hugo qué melanina tiene que coger, necesito los tripletes y los tripletes tiene que recortarlos primero Mónica”*. Finalmente, intervino la investigadora para aclarar la confusión.
- Durante el proceso surgieron dudas, que en algunas ocasiones precisaban de la intervención de la docente o la investigadora y, en otros casos, eran resueltas por los propios compañeros y compañeras:

**Yolanda:** *A ver... Yo voy primera, eso lo tengo claro, pero ¿qué tengo que darle a Fernando? Fernando es el 2, tiene que cortar la tira, pero... ¿la tira que nos has dado o la otra? ¿O las dos?*

**Investigadora:** *¿Para qué es la otra tira?*

**Yolanda:** *Para hacer el ARN mensajero.*

**Investigadora:** *¿Y cuál puede entender la célula? ¿El ADN o el ARN mensajero?*

**Yolanda:** *Mmm... El ARN mensajero.*

**Investigadora:** *Por eso es mensajero, ¿no? Porque lleva el mensaje.*

**Yolanda:** [Asiente satisfecha] *Vale, entonces tengo que darle la nueva. ¡Gracias!*

**Xiana:** *Aquí pone que tengo que empezar a recortar en la primera U que encuentre... ¿Pero sirve cualquier U o la primera que aparezca al principio de un triplete? Porque aquí [apuntando al ejemplo de la tarjeta] está al principio y para parar dice que tiene que ser en un triplete que empiece por U.*

**Investigadora:** [Cayendo en la cuenta de que la redacción no lo deja claro] *La primera que aparezca al principio de un triplete, sí. Siempre al principio de un triplete.*

**Javier:** *Yo tengo que transportar los melanosomas al queratinocito, o sea...las bolitas, ¿no? ¿Y el vaso grande dónde está? ¿Y no puedo llevarlo todo junto?*

**Hugo:** *Allá al fondo [señalando a los vasos]. A ver... [lee la tarjeta de su compañero] Yo voy a ir metiendo las bolitas en el vaso pequeño [lo coge en la mano], según lo que me diga Natalia [la señala y ella asiente], y luego te lo doy y tú lo llevas. Ven [lo guía hasta la mesa del fondo donde están los vasos y continúa explicando que lo debe meter en el que tiene la tira azul, que es el color del grupo].*

- Durante la puesta en común fueron capaces de relacionar sus hallazgos con los ejemplares humanos de la actividad anterior:
  - Equipo Verde: *“A nosotros nos tocó el ADN del chico de ayer, el primero, que tenía la piel muy oscura. Es que añadimos todo eumelanina. Bueno... un poco de feomelanina también, pero casi no se ve [observando el vaso al tiempo que le da vueltas]”*
  - Equipo Azul: *“Entonces el nuestro es de la niña albina, porque nos ha quedado bastante clarito...”*
  - Equipo Amarillo: *“Al nuestro tuvimos que añadirle... 20 de eumelanina, 30 de feomelanina y... 10 de las blancas. Y nos ha quedado un tono intermedio, ni claro ni oscuro... Anaranjado, en realidad, porque lleva más bolas naranjas [que de las otras]”*
- **Observaciones de la investigadora:**



- La idea de hijos como “mezcla” de sus progenitores, introducida por Óscar, era especialmente oportuna para la actividad final,  $A+B=C?$ , donde los niños y niñas tendrían que combinar (“mezclar”) distintas informaciones genéticas para producir nuevos individuos. De hecho, se aprovechó para enlazarlo con la noción de herencia durante la explicación.
- Para que el alumnado se familiarizara con los nombres de las bases, la docente repitió el nombre de cada una de las bases un par de veces y les pidió que leyeran con ella en voz alta la secuencia de ejemplo de la diapositiva.
- Al formular el problema a resolver, es decir, cómo se “pasa” del ADN a la melanina, la docente subrayó “porque se trata de un melanocito, y no de un queratinocito, ni una neurona..., ni un glóbulo rojo... y su función es producir melanina”.
- Cuatro de los estudiantes no entendieron bien lo que debían hacer y se limitaron a obedecer las indicaciones de aquellos que sí habían comprendido las instrucciones de la actividad.
- Uno de los grupos se equivocó al hacer la traducción, invirtiendo las cantidades de feomelanina y sin melanina. Sin embargo, esto no supuso ningún problema: en primer lugar, porque el código de equivalencias era inventado y lo importante era comprender la expresión de los genes. En segundo lugar, porque las diferencias entre unos y otros vasos seguían siendo notables, haciendo fácil concluir que la diversidad de tonos de piel está relacionada con la diversidad genética. Esta equivocación nos sirvió además para reflexionar cómo cualquier “fallo” en el proceso va a tener consecuencias en el “producto” final.

### **Actividad 3: $A+B=C?$**

- **Objetivo:** Comprobar experimentalmente el carácter aleatorio de la transmisión genética en la reproducción sexual y relacionarlo con la generación de diversidad.
- **Material:** Presentación PPT. Por cada grupo:
  - 3 boles de plástico con sendas bolitas de hidrogel marrón oscuro, naranja-rosado y transparente, que representarán la eumelanina, la feomelanina y los melosomas sin melanina respectivamente.
  - 5 tiras de cartulina (una por cada miembro del grupo) con la misma secuencia de ADN.
  - 1 tira de cartulina blanca por pareja que representará el descendiente.

- 1 vaso transparente pequeño de plástico por pareja para elaborar el tono de piel de su individuo.
  - 1 plantilla de trabajo por cada estudiante con el modelo de expresión de los genes para la de producción de la melanina (Anexo A5.6).
- **Desarrollo de la actividad:** Retomando la idea de que la información genética es hereditaria, que habíamos mencionado durante la explicación de *Melanineando*, les preguntamos qué creían que podía pasar cuando dos personas tienen un hijo o hija. Tras escuchar algunas de sus propuestas, les propusimos comprobarlo. Les pedimos entonces que tomaran una nueva tira de ADN, de su grupo de trabajo, y buscaran una pareja en cualquiera de los otros pequeños grupos, ya que cada uno de ellos era parte de un mismo individuo y para dar lugar a un nuevo ser humano se necesitan dos personas, como habían visto en el primer trimestre al dar la reproducción. Organizadas las parejas, repartimos el material que faltaba (las tiras blancas y los vasos pequeños de plástico) y se pusieron manos a la obra. Primero, recortaron su ADN en triplete para poder escoger 4 al azar. Después, juntaron los tripletes seleccionados de uno y otro estudiante y los pasaron a la tira blanca, confeccionando así la secuencia de ADN de su descendiente. A continuación, los transcribieron escribiendo encima de cada letra su equivalente de ARN y, finalmente, hicieron la traducción, añadiendo a sus vasos de plástico el número de bolitas de eumelanina, feomelanina o sin melanina correspondiente.
- Cuando terminaron todas las parejas, hicimos la puesta en común, de nuevo en la mesa del fondo, en la que continuaban los vasos grandes de *Melanineando* y, alrededor de los cuales, les pedimos que fueran colocando sus nuevos individuos, para compararlos entre sí y con sus progenitores.
- Tras la puesta en común volvieron a sus asientos habituales y completaron individualmente la ficha de *Melanineando* indicando con sus palabras en qué habían consistido los 5 pasos, ahora que ya todos habían tenido que ejecutarlos (fig.21):

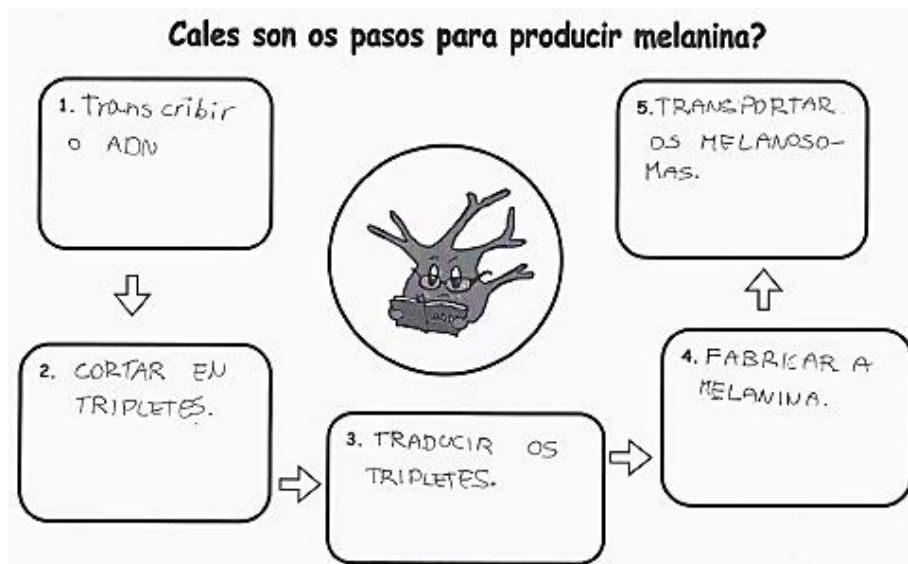


Figura 21. Ejemplo de modelización del proceso de expresión de los genes a partir de la actividad de *Melanineando*

▪ **Resultados:**

- Fueron los propios estudiantes los que dedujeron que la cantidad de información genética que pasaba de cada progenitor a la siguiente generación era la mitad: “*porque son dos*”, “*porque yo tengo cosas de mi padre y cosas de mi madre*”, “*porque es la unión de un óvulo y un espermatozoide*”, “*porque si pasara toda entonces yo tendría el doble de información y todos tenemos la misma cantidad de genes, ¿no?*”.
- Algunos de los comentarios generados durante la discusión:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño.*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de grupo de trabajo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aún así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*

**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*

**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** *Rojo.*

**Javier:** *El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...*

**Investigadora:** *¿Y sois del mismo equipo que ellos?*

**Javier:** *Sí.*

**Óscar:** *No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.*

**Investigadora:** *Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...*

- Algunos alumnos y alumnas recortaron los triplete y los reescribieron sobre la tira blanca del descendiente, como se les había sugerido, pero otros decidieron pegarlo directamente. Esta estrategia era excelente, porque permitía ver con claridad qué triplete procedían de qué progenitor, además de ahorrar tiempo. De este modo, estaban todo el tiempo reforzando la idea de que es una combinación a partes iguales. Durante la puesta en común esto permitía fácilmente comparar unos resultados con otros, señalando qué partes de la secuencia había heredado cada descendiente de sus progenitores, en qué se parecían y diferenciaban unos de otro, tanto a nivel genético como fenotípico..., y así incidir sobre el carácter aleatorio del proceso y la posibilidad de generar cientos de combinaciones diferentes.

- Un resultado inesperado de esta actividad fue la normalización de la diversidad familiar, en la que asumieron con naturalidad la existencia de parejas heterosexuales junto a otras homosexuales, en función de si la pareja estaba constituida por dos alumnos, dos alumnas o una alumna y un alumno: “somos una pareja de gays entonces”, “somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño”.

- **Observaciones de la investigadora:**

- Aunque todos tenían claro que necesitaban coger solamente la mitad de información genética de cada progenitor, la forma de hacerlo demostró ser más variada. La mayoría lo hicieron respetando el porcentaje de cada progenitor (escogían 4 tripletes de su tira de 8 y luego se ponían a trabajar conjuntamente con su pareja), pero hubo cuatro estudiantes que lo hicieron con repartos diferentes (5 a 3) e, incluso, una pareja juntó todo y escogió luego la mitad de los descendientes resultantes.
- Se produjeron algunas confusiones durante el proceso que se resolvieron a medida que preguntaban. Algunos porque ya no se acordaban de que la Adenina del ADN se transcribía como Uracilo en el ARN, sino que lo transcribían como Timina, y cuando llegaba la hora de traducir no encontraban equivalencia para la T. En consecuencia, no respetaban la señal de Inicio/Stop (asociada a la U), y traducían toda la información, apareciendo así grandes diferencias en el número de bolitas de hidrogel empleadas en algún caso.

Hay que tener en cuenta que solo una persona de cada grupo se había encargado de hacer la transcripción, el corte de tripletes o la traducción, por lo que muchos no disponían de esas tarjetas para consultarlas.

### **Sesión 3**

#### **Actividad 1: *E ti... como te vés adaptando?***

- **Objetivo:** Reflexionar sobre el fenómeno de adaptación.
- **Material:** inspirada en una actividad presenciada por la investigadora durante su estancia Erasmus+ en un centro de educación primaria de Reino Unido durante el curso 2014/2015, el juego consta de 48 cartas asociadas por parejas (un total de 24 parejas), la mitad de/ animales, la otra mitad con los ecosistemas correspondientes.



Figura 22. Muestra del material de la actividad *E ti...como te vés adaptando?*

- **Desarrollo de la actividad:** Se repartió a cada alumno o alumna una carta al azar y bocabajo: a la mitad le tocó un animal; a la otra mitad, un ecosistema. Tendrían que levantarse y buscar a su pareja. Una vez que todos decidieron que habían encontrado a la pareja adecuada, se hizo una puesta en común. La docente fue preguntando aleatoriamente a los estudiantes qué animal/ecosistema le había tocado, con quién (animal/ecosistema) se había emparejado y por qué (qué características tenía uno o el otro que les hiciera pensar que vivían allí). Se hicieron dos rondas, de forma que todo el alumnado tuviera ocasión de “ser” un animal y un ecosistema. Al finalizar la segunda ronda se volvió a hacer puesta en común. Concluimos la actividad con una reflexión grupal sobre cómo los seres vivos se van adaptando al ecosistema en el que viven.
- **Resultados:**
  - Cuando la docente puso el ejemplo del oso polar y preguntó si podría vivir en el desierto, todos contestaron que “No” al unísono. Algunos alumnos y alumnas dieron razones muy concretas, como “*porque tendría demasiado calor*” o “*porque no tendría qué comer*”, pero otros y otras dijeron directamente “*porque no está adaptado*”.
  - Todos consiguieron encontrar a la pareja correcta a excepción del estudiante que tenía el cocodrilo y que, en lugar de asociarse con el manglar, se asoció con la sabana por el fondo de la imagen; y otros dos estudiantes, uno con la rana, el otro con la marisma, que se emparejaron arguyendo que “las ranas viven en charcas”, por lo que dimos por válido el argumento, aunque aclaramos que se

trataba de una especie que habita en selvas tropicales. Del mismo modo, en la segunda ronda, el alumno con el oso se asoció con la cueva, junto con el murciélago, “porque los osos viven en cuevas”.

- La imagen del fondo ayudó a la alumna que le tocó la serpiente a asociarse correctamente con el desierto mexicano, y al camaleón de tonos pardos con la sabana, aunque la alumna confesó no haber sido capaz de identificar qué animal era (pensó que era un lagarto).

### **Actividad 2:** *Un raio de sol, oh, oh, oh...*

- **Objetivo:** Identificar pautas entre la cantidad y tipo de melanina predominante en una población de seres humanos y el grado de intensidad de radiación solar del lugar que habita, reconociendo el tono de piel como una adaptación de la especie humana a las condiciones ambientales de su entorno.
- **Material:**
  - Presentación PPT.
  - 5 mapamundi de predicción de la distribución de tonos de piel y 5 mapamundi de radiación UVB elaborados por George Chaplin y Nina Jablonski (2009), todos ellos plastificados.
  - Rotuladores permanentes.
  - Extracto del vídeo *La Biología del Color de la Piel* de HHMI BioInteractive (del minuto 3:54 a 4:58).
  - Bolitas de hidrogel marrón oscuro, naranja-rosado y transparente.
  - Vasos de plástico
  - Linternas
  - Plantillas de trabajo (ANEXO A5.8), 1 por grupo/estudiante
- **Desarrollo de la actividad:** Enlazando con lo trabajado en la sesión anterior, se formuló una nueva pregunta: *¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?* Es decir, cuál puede ser la razón de que los seres humanos no tengamos un único tono de piel (y misma información genética para ese rasgo) y, en su lugar, haya tantos tonos distintos.  
Después de escuchar algunas de sus propuestas, organizamos la clase en pequeños grupos y presentamos en la pizarra digital el mapamundi de tonos de piel de Chaplin y Jablonski (2009), sin el título, para preguntarles, en gran grupo, de qué creían que era ese mapa.

De inmediato lo identificaron como un mapa que muestra los tonos de piel de las personas. Entonces entregamos a cada grupo uno de los mapamundis plastificados y un rotulador permanente y les pedimos que localizaran y marcaran sobre el mapa tres lugares donde predominan 1) tonos de piel oscuro, 2) intermedios y 3) claros. Después, reflexionaron sobre qué podían tener en común y diferente esos lugares y sus implicaciones.

Cuando todos hubieron acabado, se hizo una breve puesta en común para ver qué zonas había marcado cada grupo de trabajo y comprobar si habían llegado a la misma conclusión.

A continuación, se repitió el mismo procedimiento con el mapamundi de la radiación UV. De este modo, tras adivinar que representaba la intensidad de radiación solar en la Tierra, se les propusieron las siguientes cuestiones: *¿Dónde es más fuerte/suave la radiación solar? ¿Por qué? ¿Cuántas intensidades diferentes sois capaces de identificar? ¿El paso de una a otra es brusco o gradual? Al comparar este mapa con el anterior, ¿qué observáis?*

Nuevamente lo discutieron primero en pequeño grupo y, posteriormente, entre toda la clase. En sus conclusiones confirmaron lo que ya habían sugerido con el primer mapa: que existe una correlación positiva entre el tono de piel predominante en una zona y la intensidad de radiación de la misma, de manera que cuánta más radiación, más oscura será la piel de sus habitantes.

Identificada esta relación, se les preguntó por el motivo de esta distribución. Para ayudarlos en su razonamiento, visualizaron un extracto del vídeo *La Biología del Color de la Piel* de HHMI BioInteractive, en el que la prof. Dra. Nina Jablonski (Universidad de Pensilvania), junto a la Prof. Dra. Zalfa Abdel-Malek (Universidad de Cincinnati), presentan la función protectora de la melanina frente a los efectos nocivos de la radiación sobre el ADN.

A continuación, se les plantearon las siguientes preguntas de comprensión, seguidas de una segunda visualización del vídeo para que comprobaran/completaran las respuestas que habían pensado:

- *¿Qué puede hacer la radiación ultravioleta (UV) en el interior de las células de nuestra piel?*



- ¿Este efecto es beneficioso o perjudicial?
- ¿Cuál es la función de la melanina ante la radiación UV?

Finalmente, se resolvieron en gran grupo, poniendo en relación esta nueva información con la conclusión a la que habían llegado a partir de la observación de los mapas. Esto sirvió para lanzar una última cuestión: teniendo en cuenta que la melanina tiene una función protectora, pero en función de la intensidad de radiación solar de la zona predominan unos tonos de piel u otros, ¿habrá alguna diferencia entre un tipo de melanina y otro?

Para resolverlo se propuso realizar el siguiente experimento (fig. 23) en gran grupo. Para ello, el alumnado se colocó alrededor de la mesa del fondo, donde ya habíamos dispuesto el material a emplear, y que se encargó de manipular el propio alumnado.

En cada paso fue interviniendo un alumno o alumna diferente, mientras el resto le indicaba qué debía hacer (o no) y discutía sobre lo que observaban: primero, que la eumelanina dejaba pasar poca luz, tanto menos cuanto más llenaban el vaso; después, que la feomelanina dejaba pasar una elevada proporción de luz, incluso cuando llenaron el vaso. También decidieron probar las bolitas transparentes para ver qué pasaba a las personas albinas, concluyendo que no solo se quemarían (Javier) sino que además el ADN de sus células sufriría mutaciones (Bruno).

## Experimentando!

1. Collede os dous vasos de plástico.
2. No primeiro metede 10 boliñas de EUMELANINA; no segundo metede 10 boliñas de FEOMELANINA.
3. Collede agora a lanterna, acendédea e, levantando un pouco os vasos da mesa, iluminade as boliñas dun e doutro vaso, como aparece no debuxo.

**Que observades?**

4. Agora enchede os dous vasos con cadansúas boliñas e volvede iluminar coas lanternas. Que observades agora? **Hai algunha diferenza entre as boliñas de EUMELANINA e as de FEOMELANINA?**

Figura 23. Diapositiva correspondiente al experimento de la actividad *Un rayo de sol oh, oh, oh* para comparar el grado de filtración de radiación UV de la eumelanina frente a la feomelanina

Una vez hubieron explorado distintas posibilidades, se formuló nuevamente la pregunta que había suscitado la realización del experimento: si había alguna diferencia entre la eumelanina y la feomelanina, y qué implicaciones tenía esta diferencia en relación con la diversidad de los tonos de piel, resolviendo así el problema de esta sesión: *¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?*

Por último, completaron individualmente la ficha de conclusión, en la que, teniendo en cuenta las distintas pruebas presentadas, debían contestar (justificadamente) por qué creen que las personas que vivían en las zonas con una radiación solar más intensa evolucionaron hacia tonos de piel muy oscuros.

▪ **Resultados:**

- Al preguntarles *¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?*

**Gonzalo:** *Porque el ser humano viene de África y allí hay más radiación.*

**Zeltia:** *Por la acción del sol, que en unas zonas es más fuerte que en otras y entonces... hace que la piel... las células fabriquen más o menos melanina.*

**Javier:** *Porque todos procedemos de una misma pareja inicial...*

- Los estudiantes relacionaron inmediatamente el tono de piel con la intensidad de radiación solar de la zona.
- Al discutir sobre por qué será que en las zonas ecuatoriales las personas suelen tener la piel más oscura, fueron capaces de argumentar y contraargumentar, y para hacerlo empleaban tanto lo que observaban en los mapas, como en lo que habían aprendido en sesiones anteriores y su propia experiencia:

**Hugo:** *Depende dónde estés vas a tener la piel más clara o más oscura. Porque tu cuerpo produce más melanina si hay más sol. Como cuando nos ponemos morenos en verano.*

**Óscar:** *Pero no puede ser solo por eso. Porque si ahora tú te vas a África y te da el sol, por mucho que te dé el sol, no te vuelves negro.*

**Investigadora:** *¿Qué pasa chicos?*

**Gonzalo:** *Nada... Que no están de acuerdo con lo que yo digo. Que dicen que es lo que dice Lorena.*

**Investigadora:** *¿Y qué dice Lorena?*

**Lorena:** *Es que yo creo... A ver... Lo que yo pienso es que... las personas que están en las zonas cerca del Ecuador [apunta al mapa] tienen la piel más oscura porque..., o sea, tienen mucha eumelanina, su ADN produce eumelanina..., entonces la radiación del sol, que aquí es muy fuerte, hace que produzcan más melanina, y como tienen más melanina de la oscura que de la clara, pues hace que tengan la piel muy oscura. En cambio, en otras zonas donde hace menos sol, no se ponen tan morenos, no fabrican tanta melanina y su piel es más clara.*

**Gonzalo:** *Y yo digo que es porque lo necesitan, porque en la zona del Ecuador hace mucho sol y mucho calor, y la piel oscura te protege mejor. Así no se queman.*

**Investigadora:** *¿Y por qué no estáis de acuerdo con lo que dice Gonzalo?*

**Lorena:** *Vale, entonces es lo que dice Gonzalo.*

**Investigadora:** *No, yo no he dicho eso*

[Se miran unos a otros]

**Verónica:** *Sí. Puede ser que al darles más el sol fabriquen más melanina y así se quemem menos...*

**Lorena:** *Sí, supongo que sí... O sea, que tienen más melanina porque así se protegen mejor, están más adaptados a las altas temperaturas.*

**Investigadora:** *Antes habéis visto que, en función de la zona donde vivían, las personas tenían un tono de piel más claro o más oscuro, y ahora acabamos de ver para qué sirve la melanina, ¿verdad?*

[La mayoría asiente]

**Gonzalo:** *Sí, yo tengo [eu]melanina para protegerme de la radiación solar.*

**Bruno:** [A su lado] *Pero yo no soy igual por todo el cuerpo. Mis brazos son más morenos por fuera que por dentro [extiende los brazos y muestra la diferencia]*

**Gonzalo:** *Ni yo. Mis palmas son blancas [al tiempo que las muestra]. Y las plantas de mis pies.*

**Investigadora:** *Cierto. ¿Y por qué será que tenemos todos las palmas [de las manos] y las plantas [de los pies] blancas?*

**Zeltia:** *Porque no les da el sol.*

**Investigadora:** *¿Y?*

**Zeltia:** *Entonces no necesitan tener melanina que los proteja de la radiación.*

- En el experimento de las linternas fueron capaces de identificar sin dificultad cada uno de los elementos de la analogía: cada color de bolitas de hidrogel con un tipo de melanina u otro (o sin melanina), y la luz de las linternas con la luz solar. Precisamente fueron los estudiantes los que solicitaron comprobar también el efecto de la luz sobre las bolas sin melanina “para ver qué le pasa a una persona albina”.
- La conclusión del alumnado fue clara: la eumelanina protege mejor de la radiación solar que la feomelanina, y por eso las personas de las zonas ecuatoriales tienen la piel oscura, porque “la necesitan”, porque “están adaptados al lugar en el que viven”.

**Investigadora:** *Entonces... Teniendo en cuenta todas estas pruebas que acabamos de ver: los mapas, el vídeo, el experimento de las linternas... ¿Qué pensáis? ¿Por qué será que las personas que vivían en las zonas con radiación solar más intensa acabaron por tener tonos de piel tan, tan oscuros?*

**Óscar:** *Porque se adaptaron.*

**Javier:** *Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...*

**Bruno:** *¡Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.*

**Javier:** *¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?*

**Zeltia:** *Porque están adaptados al lugar donde viven, porque la piel oscura tiene más eumelanina y la eumelanina protege mejor de la radiación solar.*

Investigadora: *Entonces era mejor tener la piel oscura que la piel clara, ¿no? [Varios estudiantes asienten] ¿Y cómo llegaron a tener la piel taaaan oscura?*

**Zeltia:** *Porque había personas que su ADN producía más eumelanina y entonces estas personas se quemaban menos... Entonces estaban más sanas y al tener hijos, esos hijos pues eran ya más oscuros, porque heredaban la eumelanina de sus padres, y cada vez más, hasta que con el paso del tiempo todos acabaron teniendo la piel con tonos muy oscuros.*

## **Sesión 4**

### **Actividad 1: Bingo escaravello**

- **Objetivo:** Introducir la noción de selección natural y experimentar su efecto sobre una población a lo largo de las generaciones.
- **Material:**

- Presentación PPT.
- Plantilla plastificada para anotar 4 generaciones de escarabajos, que llamaremos “Plantilla de las generaciones”.
- Fichas de escarabajos en los que son observables 4 rasgos diferentes, que a su vez se presentan en dos versiones (alelos): color (verde/amarillo), tamaño de las mandíbulas (simples/fuertes), forma de las antenas (cortas/rizadas) y pelosidad de las patas (con/sin pelosidad). El uso de insectos y el caso de la sequía aparece en García-Barros y Tiburzi (2011), si bien la elección y el diseño de los escarabajos en concreto se inspiran en la plataforma *Understanding Evolution* del Museo de Paleontología de la Universidad de Berkeley, en la que se recurre a una población imaginaria de escarabajos para ilustrar los efectos de cada uno de los mecanismos microevolutivos. El resto de los rasgos se basan en características y funciones de especies reales de escarabajos.
- Cartillas de acontecimientos (ANEXO A5.9).
- Plantilla de recogida de datos (ANEXO A5.10).



Figura 24. Material empleado en la actividad *Bingo escaravello* (Sesión 4)

- **Desarrollo de la actividad:** A cada pareja se le entregó una “Plantilla de generaciones” en la tendrían que ir incorporando unas u otras fichas de escarabajos en función de qué características se vieran favorecidas o perjudicadas por la selección natural. El juego consistiría en que se irían anunciando diferentes sucesos naturales (sequías, inundaciones, aumento/disminución de la población de

depredadores, plagas...) que cambiarían las condiciones del medio y afectarían a la población de escarabajos. Aquellos ejemplares de la población de escarabajos que no dispusieran de la característica adecuada a esas nuevas circunstancias no podrían reproducirse (o morirían inmediatamente); los demás sobrevivirían y se reproducirían hasta completar el tamaño original de la población.

Dividimos la clase en dos poblaciones independientes, simulando que en el centro de la clase había un río que las separaba (para lo que creamos un pasillo en el medio del aula), y fuimos leyendo cada una de las tarjetas, turnando población A y población B. Después, se hizo la puesta en común, comprobando cuál había sido el resultado final para cada una: en la Población A eran todos amarillos, con mandíbulas fuertes y patas pelosas, mientras que la Población B eran todos verdes, con antenas rizadas y patas pelosas. Se comparó una población con otra, llegando a las siguientes conclusiones sobre la influencia de las condiciones medioambientales:

- a) Pueden favorecer unos u otros rasgos; por ejemplo, la sequía había favorecido el color amarillo mientras que la humedad el color verde.
- b) Pueden favorecer el mismo rasgo; por ejemplo, ambas poblaciones habían visto favorecidas las patas pelosas pero por razones diferentes: en un caso, por la regulación de temperatura; en el otro, por la presencia de agua.
- c) No tienen por qué afectar a uno u otro rasgo: ninguna de las situaciones planteadas afectó al tipo de antena en la población A, y ninguna de las situaciones planteadas afectó al tipo de mandíbula en la población B.

Así mismo, comparamos este estado final con el inicial y reflexionamos sobre cómo se había ido produciendo el cambio paulatinamente a través de la selección de los mejor adaptados. En ese momento se introdujo el término de “selección natural” y discutieron sobre la posibilidad de trasladar los escarabajos de una población a la otra, llegando a la conclusión de que no podrían sobrevivir en el otro medio porque no estarían adaptados.

▪ **Resultados:**

- Dedujeron enseguida todas las características posibles de los escarabajos a partir de la diapositiva en la que se presentaban los 16 tipos posibles, pero la diferencia de color – más llamativa – dominaba su discurso.

- La toma de datos siguió diferentes métodos: algunas parejas anotaron tanto qué tipos de escarabajo tenían como su número, pero otras solo anotaron el tipo y algunas se confundieron entre tipos. Una de ellas (Hugo y Xiana) incluso creó su propio sistema de recuento, anotando cada tipo de escarabajo en función de su orden de aparición y añadiendo “bis” en los que se repitieran.
- Al darse cuenta, en la tercera generación, de que no tenían suficientes fichas de las que necesitaban (no había suficiente número para todos), surgieron dos estrategias: retirarlos de generaciones anteriores o bien pedir a otros compañeros o compañeras. En cualquiera de los dos casos, la mayoría de los estudiantes fue selectivo con las fichas que retiraban y/o aceptaban, asegurándose de que cumpliera con las características que necesitaban. Por ejemplo, si necesitaban verde, con patas pelosas y antenas rizadas, rechazaban aquellos especímenes que, aun siendo verdes y con patas pelosas, tenían antenas cortas, como Enrique y Roberto, quienes para completar la generación 4, tuvieron que retirar algunos escarabajos de la generación 3 y aún pedir algunos más, pero solo los “apropiados” (fig. 25):

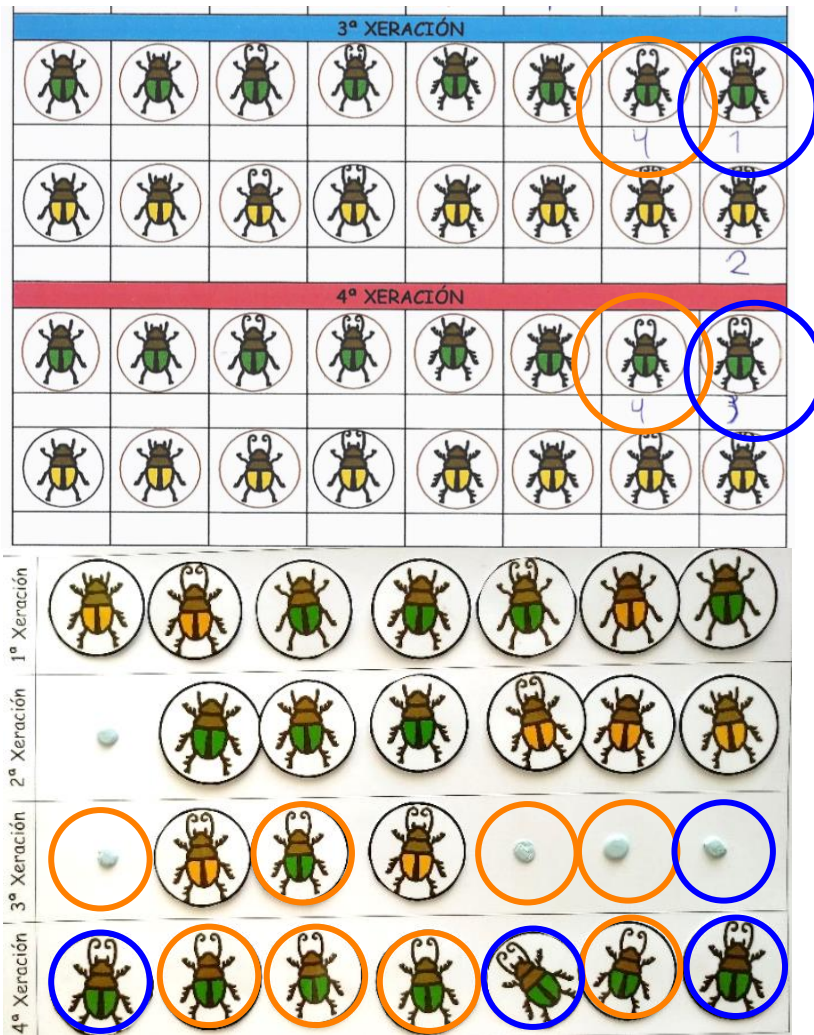


Figura 25. Ejemplo de “reciclaje” de fichas de una generación a otra en *Bingo escaravello*

o Algunos ejemplos:

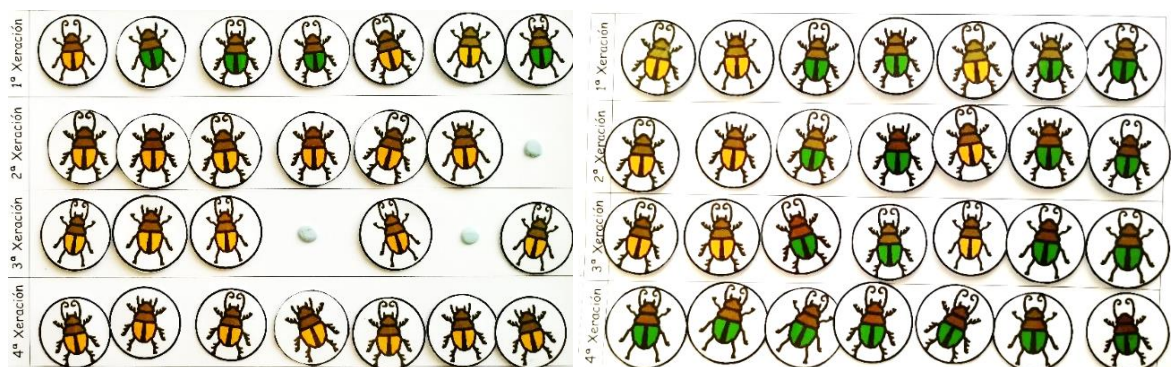


Figura 26. Ejemplos de resultados de *Bingo escaravello*



▪ **Observaciones de la investigadora:**

- Durante el desarrollo de la actividad, se indicó a los estudiantes que dejaran colocados los escarabajos de las generaciones anteriores para poder hacer un seguimiento de los cambios en las frecuencias genotípicas de la población.
- Comprendieron los enunciados de las tarjetas a la primera, por lo que no tuvieron problemas para localizar y descartar los escarabajos según correspondiese. En cambio, les costó ir acumulando las características con el paso de las generaciones.
- A la hora de la reproducción, a veces incorporaban individuos con características que no existían previamente en la población (o sea, que serían como mutaciones, aparición de nuevos rasgos). Ahora bien, la mayoría (10 de los 12 grupos) nunca incluyeron ningún escarabajo con características que hubieran sido descartadas en generaciones anteriores.
- No obstante, este problema fue responsabilidad de la propia investigadora, por no hacer suficiente hincapié en esa condición (aunque sí que venía recogido en la presentación de PPT). Por otra parte, podría ser que sí estuvieran respetando la herencia de características dentro de la población, pero operando en base a la reproducción sexual (eso sí que no se abordó en ningún momento), de suerte que esos rasgos que parecen “nuevos”, en realidad serían la expresión de rasgos “latentes”, heredados de generaciones anteriores.

**Actividad 2:** *A vitamina do sol*

- **Objetivo:** Reconocer el papel de la radiación solar en la producción de la vitamina D e indagar sobre el efecto de la selección natural sobre el tono de piel.
- **Material:** presentación PPT. Por cada pequeño grupo (fig. 27):
  - 1 caja de cartón ensamblable.
  - 3 tapas de cartón agujereadas, con nº de agujeros inversamente proporcional a la cantidad de radiación UVB que absorben los tonos de piel oscuros, tonos intermedios y tonos claros.
  - 30 piezas de puzle de color lila representando la radiación UVB, 30 amarillas y 30 naranjas representando la pre-vitamina D y 30 azules representando el calcio.
  - 1 plantilla de trabajo por integrante (ANEXO A5.11).



Figura 27. Maqueta de célula y fichas de puzle de A vitamina do sol

- **Desarrollo de la actividad:** Enlazando con la conclusión de la sesión anterior, se planteó el problema que tendrían que resolver durante la cuarta y última sesión: *Si los primeros Homo sapiens surgieron en África y la eumelanina protege mejor de la radiación solar, ¿por qué hay tanta diversidad de tonos?*

Para fomentar el diálogo se proyectó un mapamundi con los principales movimientos migratorios del ser humano, desde su aparición en África oriental hasta la ocupación de todos los continentes.

Los estudiantes propusieron diferentes posibilidades: pérdida progresiva del color por no ser ya necesaria, cambios en la dieta derivados de la disponibilidad de nuevos/diferentes alimentos al trasladarse a otras zonas y que afectarían al tono de piel...Entonces, se procedió a introducir un nuevo elemento: la vitamina D. Antes de realizar una breve explicación se les preguntó si sabían qué es una vitamina, para qué sirven y de dónde se obtienen (de forma natural), para así partir de sus ideas iniciales. Todos sabían que las vitaminas son nutrientes y que se obtienen mediante los alimentos, aunque no tenían muy claro para qué servían: “*para estar sano*” (en general), “*tener energía*” y “*no coger catarros*” (al hilo de la vitamina C).

Tomando como punto de partida estas respuestas, se les confirmó que las vitaminas eran un nutriente esencial para mantenerse sano/a y que podían conseguirse a través de la dieta, y luego se les habló de la vitamina D en particular. Se les presentaron algunas de sus funciones (entre ellas, ayudar a los huesos a absorber el calcio), y los principales alimentos que la contienen (productos lácteos y pescado azul). También se les indicó cuál es la ingesta diaria recomendada de esta vitamina y cuánto aportan

algunos de esos alimentos. Esto sirvió para generar un nuevo interrogante: a no ser que consumieran todos los días esos alimentos en cantidad suficiente (y no era su caso), no tendrían de la vitamina D suficiente para mantenerse sanos y sanas. Por lo tanto, debía existir alguna otra fuente de esta vitamina.

Para promover la discusión se les presentaron los resultados de dos estudios científicos reales, en versiones simplificadas y adaptadas al contexto y la propuesta:

- 1) Del trabajo de Weishaar y Vergili (2013) se tomó la siguiente gráfica (fig. 28). En ella puede verse cómo la mayoría de las personas de piel oscura que viven en Estados Unidos tienen una concentración de vitamina D por debajo de lo recomendable. Por el contrario, las personas de piel oscura que viven en África ecuatorial tienen, en su mayoría, niveles muy por encima del mínimo recomendado:

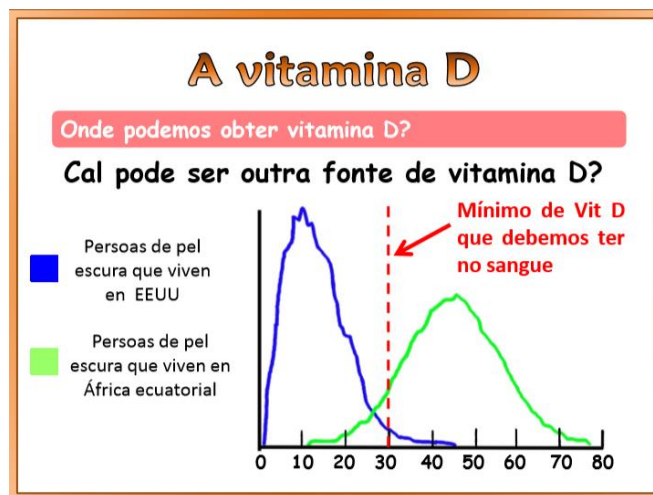


Figura 28. Adaptación de la figura 1 de Weishaar y Vergili (2013)

- 2) Del trabajo de Ginde, Liu y Camargo (2009), se extrajo la siguiente gráfica (fig. 29), en la que se presentan los resultados de un estudio estadounidense sobre los niveles de vitamina D de la población y en el que se encontraron con diferencias significativas relacionadas con la ascendencia de los participantes:

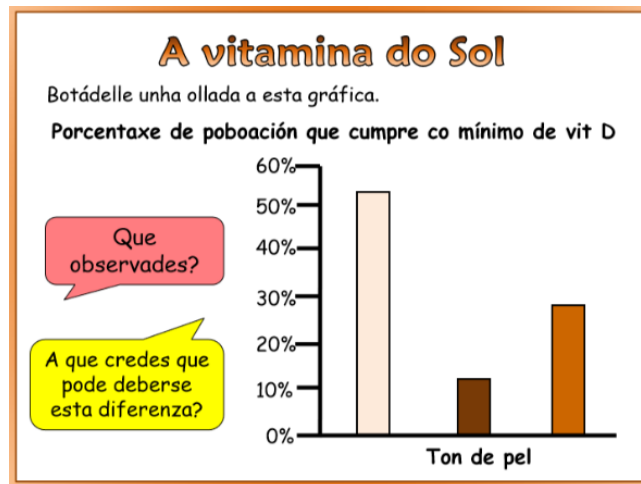


Figura 29. Adaptación de la figura 3 de Ginde, Liu y Camargo (2009)

Tras discutir ambas gráficas, formularon hipótesis sobre a qué podía deberse esta diferencia de vitamina D, acertando al suponer que existía algún tipo de relación entre el tono de piel y la mayor o menor producción esta vitamina. Entonces, se les habló de la existencia de la pre-vitamina D, que el cuerpo humano sí es capaz de fabricar, pero que resulta completamente inútil si no se transforma en vitamina D. Y para ello se necesitaría mucha energía. Si antes la pregunta era cuál podría ser otra fuente de vitamina D, ahora la cuestión era: ¿de dónde podría sacar nuestro cuerpo la energía necesaria para transformar la pre-vitamina D en vitamina D? (fig. 30).

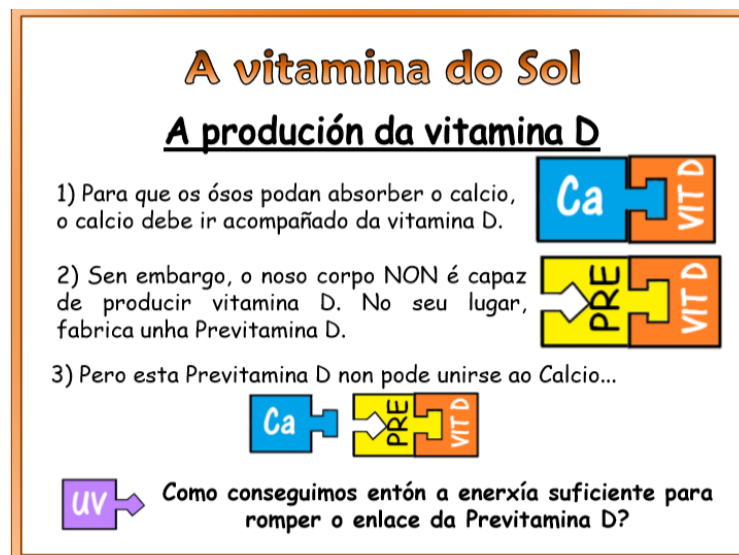


Figura 30. Introducción a la producción de vitamina D

Para comprobarlo realizaron un experimento que analizaba cuánta cantidad de vitamina D podían producir personas con distinto tono de piel, sometidas a la misma intensidad de radiación ultravioleta. Se colocaron en grupos y se distribuyó el material. Apoyándose en la presentación de PPT, la investigadora informó al

alumnado en los pasos que debían seguir para poder comprobar sus hipótesis a través del material proporcionado:

1. Montar la maqueta de cartón que simularía una célula de la piel.
2. Colocar la capa de melanina que corresponda (con más o menos agujeros en función del tono, como el propio alumnado fue capaz de reconocer), según el tono de piel que se esté estudiando en cada momento (la plantilla de trabajo contenía un espacio para anotar los resultados obtenidos para tonos oscuros, intermedios y claros).
3. “Arrojar” las piezas de puzzle de color lila que simbolizaban la radiación ultravioleta sobre la célula, simulando su exposición a la radiación solar, y anotar el número de piezas que conseguía pasar al interior.
4. Con la radiación UV (fichas lilas) disponible en el interior de la célula, fabricar la cantidad de vitamina D correspondiente y tomar nota del resultado.

Una vez terminado el experimento, pusieron en común los resultados obtenidos, indicando grupo por grupo cuántas piezas de radiación ultravioleta habían penetrado en su célula en cada caso y la cantidad correspondiente de vitamina D que habían conseguido fabricar, y sacaron conclusiones.

Finalmente, realizaron una actividad de aplicación compuesta por cuatro problemas en los que tenían que aplicar lo aprendido a lo largo de la secuencia (ANEXO A5.12).

▪ **Resultados:**

- Lo más interesante respecto al mapa, fue la comprensión inmediata de lo representado por parte de todo el alumnado. Fueron, incluso, más allá de lo esperado y al ver que había algunas fechas que aparecían entre signos de interrogación y preguntó por qué. La investigadora los invitó a formular sus propias hipótesis y, en efecto, acertaron que era porque aún no se sabe con seguridad en qué fechas se ocuparon esas regiones. La investigadora aprovechó este momento para hacer un pequeño inciso y hablar sobre la Naturaleza de la Ciencia.
- Al observar la gráfica de Weishaar y Vergili algunos estudiantes ya apuntaron la diferencia de radiación solar como factor determinante de esa diferencia. Concretamente, Zeltia sugirió que en la producción de vitamina D podía estar interviniendo la luz solar. Otras sugerencias fueron la diferencia de temperatura

entre ambos lugares o una diferencia genética que haría que las personas produjeran más o menos vitamina D (igual que hay genes que hacen que se produzca más o menos melanina, como habíamos visto en la sesión 1 y que era uno de los factores que definen el tono de piel de una persona).

- Recordaban que la luz solar podía ser peligrosa para el ADN, “*porque podía provocar mutaciones*”, como repetía Bruno cada vez que tenía oportunidad, si bien, como puntualizó Gonzalo, “en realidad el problema es la luz ultravioleta [en oposición a la luz solar en general]”.
- Aunque las láminas para cubrir la maqueta de la célula (a modo de “capa de melanina”) eran todas en blanco, el alumnado dedujo de inmediato qué representaban dentro del experimento y a qué tono de piel correspondía cada una en función de su número de agujeros.
- Al momento de concluir la sesión y responder a la pregunta vehicular, muchos de los estudiantes hicieron referencia a la “adaptación” y la “no necesidad” para justificar que en zonas de baja intensidad de radiación solar la piel tiende a ser clara. Concluyeron que la diversidad de tonos de piel es una forma de adaptación de los seres humanos a las condiciones del medio en el que vive, y que está relacionada con la intensidad de radiación solar de cada zona: por un lado, que en zonas de radiación solar muy intensa las personas tienden a tener la piel oscura porque la eumelanina impide que penetre la radiación solar, protegiendo así al ADN; por el otro, que en las zonas del planeta donde la radiación solar es más baja las personas suelen tener la piel clara porque así pueden producir la cantidad de vitamina D suficiente para mantenerse sanos y sanas.

Asimismo, todos reconocieron que el cambio había sido gradual en los dos sentidos, tanto en el de “decoloración”, como en el del tiempo:

**Hugo:** *Pues fueron perdiendo color según fueron extendiéndose por el mundo... Fueron teniendo cada vez la piel más clara.*

**Pedro:** *Claro, con el paso de las generaciones, según donde vivieran, los hijos irían siendo más claros.*

**Hugo:** *A lo largo de miles de años.*

▪ **Observaciones de la investigadora:**

Cuando aún acababan de probar la maqueta de la célula para sintetizar vitamina D con la primera de las capas, es decir, la correspondiente a tonos de piel muy oscuros, la docente avisó a la investigadora de que tan solo quedaban 7 minutos de clase para que

llegara el siguiente profesor. Por esta razón, hubo que omitir la capa de tonos intermedios y pasar directamente a la capa de tonos claros, haciendo el contraste entre la oscura y la clara únicamente. Sin embargo, no supuso ningún problema para los estudiantes, que, a la vista de las notables diferencias de “luz” absorbida entre la capa de eumelanina y la capa de feomelanina (en la mayoría de los casos, con una diferencia próxima a las 20 unidades), fueron capaces de deducir con facilidad que los tonos intermedios de piel conseguirían sintetizar vitamina D en un rango intermedio.

### **Consideraciones generales sobre la implementación de la secuencia en el aula**

A continuación, se enumeran algunos aspectos dignos de mención que no pueden circunscribirse a una única actividad, sino que fueron una constante a lo largo de la secuencia o bien tienen que ver con la propuesta en su conjunto:

1. **Conocimientos previos del alumnado:** en línea con la teoría del aprendizaje significativo de Ausubel y con el enfoque constructivista, se procuró en todo momento establecer conexiones entre lo que el alumnado ya conocía y la nueva información. Por ejemplo:
  - a. Al presentar los queratinocitos y los melanocitos como principales tipos de células que conforman la epidermis, la docente hizo alusión al trabajo que habían hecho sobre la célula en el primer trimestre, cuando aprendieron que la célula es la unidad estructural de los seres vivos.
  - b. Se aprovechó que habían abordado la reproducción, y el desarrollo embrionario, para discutir sobre por qué todas las células contienen la misma información genética y cuánta información transmite cada progenitor a sus descendientes. Como ya hemos visto líneas más arriba, fue el propio alumnado quien sugirió que sería al 50% porque se trataba de un óvulo y un espermatozoide que se “fusionan”.
  - c. Al momento de desarrollar la secuencia de actividades, el alumnado estaba trabajando sobre los biomas terrestres en el área de Ciencias de la Naturaleza, de manera que cuando hicimos el juego *E ti... como te ves adaptando?*, los propios estudiantes establecieron una relación directa entre una y otra actividad.
2. **Adquisición de vocabulario científico:** el alumnado incorporó con facilidad, a su vocabulario y a su discurso, la práctica totalidad de los términos específicos

introducidos (melanocito, melanosoma, melanina, eumelanina, feomelanina, triplete...); incluso si alguien se equivocaba, enseguida algún compañero o compañera lo corregía.

[Confección maqueta plegable papel con la docente]

**Alumno 1:** “Profe, ¿dónde estaría la eumelanina?”

**Alumno 2:** “Sí, profe, ¿no te acuerdas que los melanocitos producían los melanosomas donde estaba la melanina?”

[Actividad Melanineando]

**Xiana:** Aquí pone que tengo que empezar a recortar en la primera U que encuentre... ¿Pero sirve cualquier U o la primera que aparezca al principio de un triplete? Porque aquí [apuntando al ejemplo de la tarjeta] está al principio y para parar dice que tiene que ser en un triplete que empiece por U.

[Actividad Melanineando]

**Javier:** Yo tengo que transportar los melanosomas al queratinocito, o sea...las bolitas, ¿no? ¿Y el vaso grande dónde está? ¿Y no puedo llevarlo todo junto?

[Puesta en común *Un raio de sol, oh, oh, oh...*]

**Javier:** Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...

**Bruno:** ¡Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.

**Javier:** ¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?

3. **Actividades y material:** en general, tanto el material como las actividades funcionaron muy bien, tanto a nivel de motivación como de resultados. Conectaban unas y otras actividades, progresando así en una misma idea nuclear. Por ejemplo, durante *Cal é a túa cor?*, el alumnado fue citando muchas de las características que acababan de observar en *Mírame ben!* y eran muy exhaustivos a la hora de detallar similitudes y diferencias entre unos y otros retratos. Asimismo, después de la actividad *E ti... como te vés adaptando?* el alumnado emplearía con frecuencia en su discurso el término “adaptación” y derivados.

También fue el propio alumnado quien en muchas ocasiones propuso los mejores ejemplos de discusión y/o estrategias para resolver una cuestión: cuando surgió el



caso de las palmas de las manos y de los pies, que resultó especialmente oportuno para reflexionar sobre la función protectora de la melanina.

Respecto al material, los estudiantes asociaron con facilidad las bolitas de hidrogel a melanosomas con cada tipo de melanina, aunque al principio generó cierta confusión que hubiera 3 colores cuando solo había dos tipos de melanina. Tampoco tuvieron problemas para comprender la analogía de las linternas ni las maquetas celulares con capas de melanina diferentes, siendo ellos mismos los que dedujeron qué “capa” se correspondía con qué tipo de melanina en función del mayor o menor número de agujeros.

4. **Gestión de tiempos y espacios:** La secuencia estaba programada para durar 4 sesiones (50 min.), pero fue necesario hacer sesiones dobles.

Por otra parte, en varias ocasiones se habría podido reducir la duración de algunas actividades, por resultar redundante para el alumnado. Por ejemplo, no habría sido necesario trabajar sobre el mapa de radiación UV porque el alumnado ya había deducido a partir del mapa de tonos de piel que las diferencias estaban relacionadas con la intensidad de radiación solar. Sin embargo, las puestas en común, al realizarse al final de la sesión, solían precipitarse, dejando poco margen para intercambiar ideas y, sobre todo, ponerlas por escrito.

En cuanto al ritmo de trabajo de los pequeños grupos, eran muy diferentes de un grupo de trabajo respecto a otro en cada sesión. Siempre había algún grupo que conseguía acabar en la mitad de tiempo que los demás y que entonces ayudaba a otros grupos o discutía el siguiente paso.

Por lo que se refiere a los espacios, todas las sesiones tuvieron lugar en el aula, en la que se fueron disponiendo las mesas y el alumnado dependiendo de la tarea que estuviéramos haciendo en cada momento: sentados al frente, incluso en el suelo, para ver las fotos de *Humanae* durante la actividad de *Cal é a túa cor?*; juntando las mesas para trabajar en pequeño grupo; agrupados alrededor de la mesa del fondo para experimentar con las linternas en *Un raio de sol, oh, oh, oh*; creando un espacio entre una mitad y otra para representar la separación de poblaciones en *Bingo escaravello*, etc.

5. **Ambiente del aula y dinámica del grupo-clase:** en todo momento hubo muy buena interacción entre los estudiantes, tanto entre ellos como con la investigadora. Le pedían ayuda cuando la necesitaban, le formulaban cuestiones sobre aspectos que despertaban su curiosidad o que no les habían quedado claros, y también respondían

a sus preguntas, que eran fundamentalmente aclaratorias, es decir, en las que les solicitaba explicaciones sobre qué estaban haciendo y por qué lo hacían (de ese modo).

Aunque en las puestas en común solía intervenir con más frecuencia una parte del grupo-clase (Bruno, Fernando, Gonzalo, Hugo, Javier, Lorena, Natalia, Óscar, Susana, Yolanda o Zeltia), en pequeño grupo discutían activamente todos los integrantes, se repartían las tareas, proponían diferentes estrategias y ponían al día a aquellos compañeros y compañeras que se incorporaban en medio de la sesión por haber asistido a clase de apoyo o bien habían faltado a alguna sesión.

6. **Colaboración con la docente:** la docente mantuvo una actitud abierta y colaborativa de principio a fin. Además de hacer sugerencias de mejora durante el diseño de la secuencia y el material, preparar las sesiones con antelación (a excepción de la sesión 4 por problemas de horario) o preocuparse de que las actividades se desarrollaran adecuadamente a lo largo de cada sesión, también realizó algunas actividades complementarias con el alumnado.

Concretamente, y aprovechando el entusiasmo de los estudiantes y su propio interés en el proyecto, confeccionaron una maqueta plegable de papel extraída de Internet y que la propia docente adaptó al contenido de la propuesta. Igualmente, hicieron una búsqueda de información en la biblioteca, reprodujeron un poema sobre las bases del ADN extraído nuevamente de Internet y elaboraron un gran mural sobre el proyecto (fig. 31) en el corredor, tarea que ya se había previsto en el propio borrador de la propuesta didáctica, para poder cumplir con el paso de expresión y evaluación del modelo de modelización de Gilbert y Justi (2016).

Finalmente, uno de los estudiantes elaboró el artículo que se subiría al blog.



Figura 31. Mural elaborado por el alumnado

7. **Observaciones de los estudiantes y otro profesorado:** al final de la sesión 4 la docente preguntó al alumnado cuánto habían aprendido (“Poco”, “Algo”, “Bastante” o “Mucho”), si les había gustado y qué cambiarían. De este modo:
- Roberto, después de reflexionar su respuesta durante unos segundos, declaró que había aprendido “bastante hacia mucho” y que le había gustado mucho.
  - Lorena hizo un análisis exhaustivo de toda la propuesta, diciendo que sí había aprendido muchas cosas y que le había gustado mucho por los juegos, que además tenían que ver con cosas que estaban dando, como el juego de los ecosistemas (refiriéndose al juego de adaptación “*E ti... como te ves adaptando?*”).
  - Yolanda contestó que sí le había gustado y añadió, con rotundidad, que no mejoraría “Nada”.
  - Uxía no fue una de las interpeladas, pero en un susurro declaró: “¡Me ha gustado un montón!”.

De entre todas las actividades, la que más disfrutaron sin duda fue  $A+B=C?$ , en la que fueron poniendo nombres a sus “hijos” e “hijas” y que luego no querían “deshacer”.

Por otro lado, el día que medió entre la sesión 1 y la sesión 2 y durante el que hicieron la maqueta plegable de papel con la docente, el grupo tuvo clase de música, de forma que la profesora especialista alcanzó a ver las dichas maquetas en la mesa del fondo. Sabiendo que eso formaba parte del Proyecto Documental Integrado del centro, gestado en la biblioteca y en el que se enmarcaba curricularmente esta propuesta didáctica, preguntó al alumnado qué estaban trabajando y para qué servían las maquetas. Los estudiantes le explicaron con detalle lo que habían hecho y aprendido en la primera sesión. La docente responsable del grupo valoró muy positivamente el proyecto, destacando el uso de la experimentación, “porque así se quedan mucho mejor con las cosas”. También demostró un gran interés por el proyecto otro de los docentes, que tuvo oportunidad de presenciar parte del desarrollo de la actividad *Melanineando*.

#### 4.4.3. La capacidad de los estudiantes para operar con las ideas nucleares del modelo de evolución

Como ya se explicó en el apartado 3.4., dedicado al análisis de datos, para comprobar en qué medida el alumnado es capaz de operar con las ideas nucleares del modelo de evolución, y si lo hace a diferentes niveles de organización escalar, se ha tenido en cuenta la totalidad del material disponible. Esto incluye tanto aquel confeccionado por el alumnado a lo largo de toda la secuencia, como sus intervenciones orales, anotadas por la investigadora en su diario de investigación. Lo que se presenta a continuación son los modelos finales del alumnado o *modelos resultantes de la secuencia*:

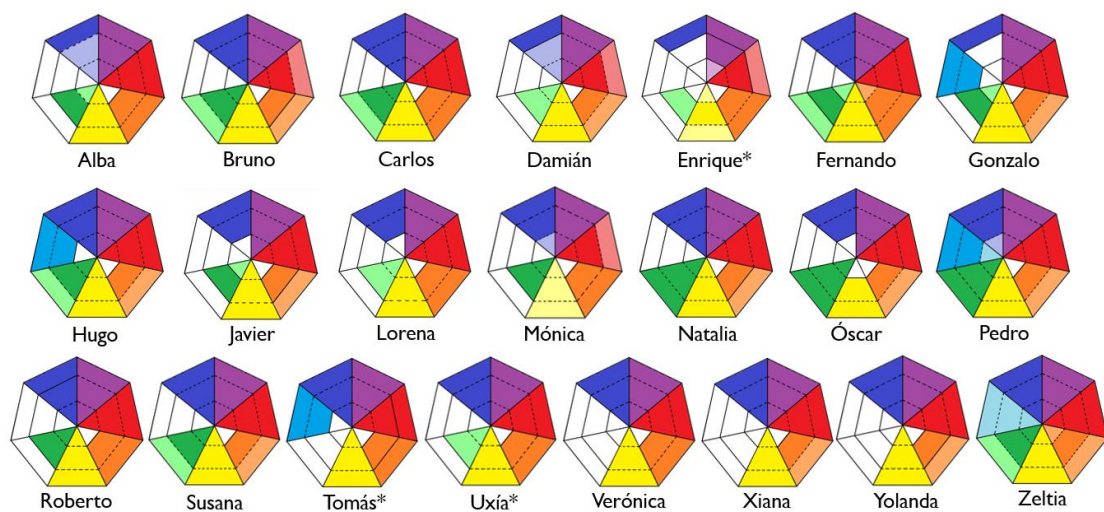


Figura 32. Modelos finales del alumnado

El principal hallazgo que arroja la interpretación de estos modelos es poder comprobar cómo, independientemente de sus concepciones de partida (tanto en número como en utilidad; véase sección 4.4.1), los modelos finales de los estudiantes muestran su enorme capacidad para incorporar e ir relacionando las ideas nucleares trabajadas: todos y todas han sido capaces de aplicar o, incluso, integrar en su discurso al menos cinco de las siete ideas nucleares que habrán de servir como *building blocks* a la construcción del modelo de evolución. Concretamente, todos han sido capaces de operar con las ideas de *biodiversidad*, *variación*, *selección natural*, *adaptación* y *cambio*, aunque con diferentes grados de interacción entre niveles de organización escalar.

Prácticamente todos establecen conexiones entre los tres niveles de organización escalar para las ideas nucleares de *biodiversidad*, *variación*, *adaptación* y, en menor medida, *cambio*. Por ejemplo “*Es que las personas con tonos oscuros, café tiene más*

*eumelanina que protege más del sol. Y la gente con tonos más anaranjados y rosados tienen más feomelanina*” (Alba, P3, actividad de aplicación); “[La diversidad de tonos de piel se debe] *sobre todo a la melanina, que puede ser eumelanina (que da tonos más oscuros) y feomelanina (que da tonos más claros. A partir de esto salen tonos de piel diferentes porque puedes tener más eumelanina o feomelanina*” (Lorena, P3, actividad de aplicación). Este resultado se justifica perfectamente porque son estas cuatro ideas las que más se trabajan a lo largo de la secuencia, en línea con la propia propuesta de progresión presentada en el apartado 4.3.

En el caso de la *selección natural*, ningún estudiante llega a mencionar expresamente esta idea nuclear. Sin embargo, todos/as consiguen aplicar correctamente esta idea en la actividad *Bingo Escaravello*. De hecho, la mayoría combina el nivel de individuo con el nivel de población, a medida que se suceden las generaciones: no solo descartan los escarabajos que carecen de las características adecuadas para sobrevivir, sino que tienen en cuenta todos los cambios en las condiciones ambientales, modificando el conjunto de la población generación a generación. Por eso aparecen con ambos niveles coloreados en tono intenso y separados por una línea discontinua. Algunos incluso respetan la herencia de caracteres en la medida de lo posible (recordemos que la insuficiencia de fichas obligó a muchos alumnos y alumnas a “reciclar” o añadir otras nuevas). En este sentido, el propio diseño de la actividad y la falta de un trabajo específico sobre el nivel celular en actividades anteriores o posteriores explican que solo dos estudiantes hayan hecho alusiones a este nivel de organización escalar.

La idea de *herencia* también es abordada por muchos estudiantes (18/22), a pesar de que solo se trabajó explícitamente en la actividad  $A+B=C?$  (Sesión 2). Sin embargo, esto explica que la mayoría de las interacciones sean entre el nivel de célula y el nivel de individuo – al contrario de lo que ocurría con la *selección natural*. La mitad del alumnado consigue operar también con el nivel de población, pero únicamente tres lo hacen de forma clara y explícita para los tres niveles de organización escalar. Por ejemplo, Natalia, después de explicar que el niño de piel oscura no se ha quemado porque la melanina protege mejor del sol, propone que la diversidad de piel responde a tres factores diferentes, dos de ellos (2 y 3) relacionados directamente con la herencia:



Figura 33. Ejemplo de respuesta a por qué hay tanta diversidad de tonos de piel humana

Por lo que se refiere a los cuatro estudiantes que no contemplan *herencia*, téngase en cuenta que esta idea ha sido poco trabajada durante la secuencia y que dos de ellos faltaron a la sesión en la que se introdujo esta idea. De hecho, todos mostraron estar familiarizados con esta idea nuclear en la prueba de ideas previas, por lo que es poco probable que no puedan operar con ella. En su lugar, es probable que simplemente no se vieran en la necesidad de utilizarla. En cualquier caso, las condiciones del estudio imposibilitaron una recogida más exhaustiva de datos.

Por último, la idea de *ancestros comunes* apenas se trabajó durante la secuencia, lo que explica que solo cinco estudiantes la mencionen (tres ya lo habían comentado en la prueba de ideas previas). Ahora bien, fueron capaces de integrarla en otras ideas. Por ejemplo: “*Porque hace mucho tiempo atrás los primeros hombres vivían en África Ecuatorial pero una tribu se marchó, y pasó mucho tiempo y ya estaban en Europa y Asia. Y un tiempo después llegaron a América. El clima y temperatura en todos estos lugares era totalmente diferente, por eso adoptaron nuevos tonos de piel*” (respuesta de Tomás a la pregunta nº3 de la actividad de aplicación; véase ANEXO A5.1 y B17 respectivamente).

No se ha considerado la necesidad de categorizar estos modelos, porque la realidad de los datos apunta una gran homogeneidad, donde hay que buscar pequeñas divergencias para considerar un nivel diferente. Se ha analizado, pues, la progresión del conjunto. De hecho, los propios obstáculos derivados de la intervención en un aula real (por ejemplo, la pérdida de datos derivada de no poder grabar), seguramente han limitado la posibilidad de recoger todo el proceso de cada estudiante.



## 5. CONCLUSIONS AND EDUCATIONAL IMPLICATIONS

### 5.1. Conclusions

The main purpose of this thesis is to explore the affordances and constraints regarding the introduction of the model of biological evolution in Spanish primary education. Such a goal requires to pay attention to different elements, from the *curriculum* to the Didactics of Science expertise to the classroom setting. Consequently, the following specific objectives with their corresponding research questions are formulated:

Objective 1. *To analyse the presence or absence of the model of evolution in the Spanish curriculum of primary education, both at state and autonomic level, in comparison to other benchmark countries and states.*

- Research Question 1: What core ideas included in the *curricula* may serve as building blocks for the construction of the model of evolution? How are these contents distributed and what learning progression is suggested (if any) for primary education?
- RQ 2: What are the requirements of the latest Spanish *curriculum* for primary education with respect to the theory of evolution compared to other countries and states?
- RQ 3: What core ideas - needed for the construction of the model of evolution - do Autonomous Communities include in their *curricula* for primary education?

Conclusion 1 (with its different sections) refers to this objective, addressed in chapter 4.1.

Objective 2. *To characterize the perspective of experts in Didactics of Science as well as of in-service teachers, from both primary and secondary education, about teaching evolution in primary education.*

- RQ 4: What is their opinion about the current situation of the theory of evolution in Spain and the possibility of including it in primary education?



- RQ 5: What are their recommendations regarding the content to be included, the methodology to be used and the progression to be followed?
- RQ 6: How can the Didactics of Science improve this situation? What role must it play in teachers' initial training and professional development?

Conclusions 2 (with its different sections), 3 and 4 refer to this objective, addressed in chapter 4.2.

Objective 3. *To implement and evaluate a didactic sequence designed to start developing the school model of evolution in primary education.*

- RQ 7: What sort of school model would be appropriate for introducing evolution in primary education?
- RQ 8: Are the core ideas of the model of evolution familiar to primary school students? What misconceptions do they have (if any)?
- RQ 9: Can students from primary education operate with the core ideas needed for the construction of the model of evolution, and at different levels of scale (cell, organism and ecosystem)? How do they do it?
- RQ 10: How does using activities based on scientific practices promote students' learning of the core ideas involved in the model of evolution?

Conclusions 4 to 12 refer to this objective, addressed in chapters 4.3 and 4.4.

The findings presented in this thesis have led to the following conclusions:

## **1. The Spanish *curriculum* for compulsory education prevents students from building the model of evolution adequately and progressively.**

1.1. Benchmark countries have introduced the teaching of evolution in primary education, as well as an extensive display of core ideas that should allow the progressive and effective construction of this scientific model.

During their latest *curriculum* reform, numerous benchmark countries have incorporated evolution, as well as its core ideas, to their primary school *curricula*. Different approaches have been adopted: from acknowledging evolution as the foundation to Biology, so that any teaching action should start and contribute to this

global perspective, to conceiving it as one of the principal domains in Life Sciences, to including it as a specific block of contents where (most of) its core ideas are discussed.

USA and France have even developed their own learning progression, showing similarities and divergences related to the number and distribution of core ideas. Some states deal with all the seven core ideas throughout the stage, others concentrate their treatment in one cycle, and others cover different ideas at different moments.

That is the reason why the Framework K-12 has served as background for this research, for it not only includes all the different core ideas mentioned by both literature and professionals participating in this research, but also presents a detailed progression where all core ideas are interconnected from kindergarten to 12<sup>th</sup> grade (NGSS).

1.2. Spanish primary school curriculum does not allow an appropriate development of the core ideas needed to build the model of evolution.

The Spanish state *curriculum* includes no mention to the theory of evolution or its core ideas in primary education, except for *biodiversity*, which is mainly presented from an anthropocentric and ecological perspective, with a focus on extinction. In fact, the teaching of the theory of evolution is limited to optional subjects at the end of secondary education.

1.3. Despite their competences in education, Autonomous Communities show minor changes compared to the state law and do not allow for a gradual treatment of any the core ideas needed for the construction of the model of evolution

Although the situation may differ depending on the Autonomous Community considered, none of them makes any allusion to evolution. Furthermore, only a few of them contain references to one or two core ideas: *adaptation*, which only appears explicitly mentioned in five Autonomous Communities, and/or *biodiversity*, which again is mainly presented from an anthropocentric and ecological perspective. In addition, its treatment is neither coherent nor progressive, for they are normally included in one or two grades at most, either among the contents or the assessment criteria or the learning standards. The only concept related to evolution that appears in all the 19 Autonomous Communities is *extinction*, except for Catalonia (only includes *adaptation*) and Basque Country (makes no reference to any of the core ideas).

## **2. The theory evolution is central for understanding Life Sciences and would benefit from a progressive approach starting at primary education**

2.1. Both experts and teachers participating in the research agree on the centrality of the theory of evolution for understanding Life Sciences.

Since evolution is pivotal to Life Sciences, and, therefore, to scientific literacy, the current situation of the theory of evolution in Spain is unacceptable and incoherent, professionals say. From their point of view, an incomplete (or even inexistent) understanding of evolution will prevent students from taking informed decisions about tens of social issues; e.g. vaccination, conservation, genetically modified organisms, overuse of antibiotics... Additionally, the absence of a progressive approach to this model contributes to make its learning even more difficult. Another (maybe unexpected?) consequence of this situation is that many future primary school teachers know very little about evolution and genetics, just as Nadelson (2009) pointed out. Still, they are meant to teach Life Sciences.

2.2. Most of them would recommend its early treatment to avoid subsequent obstacles.

Most of the professionals recommend starting to work on this model in primary education. After all, it would serve as a scaffolding for the construction of students' knowledge about living beings itself (Cañal, 2009). In addition, they are convinced that an early treatment would impede the development and consolidation of many common misconceptions that are generated during early childhood (Gregory, 2009) in different ways and contexts, including school (Alters y Nelson, 2002).

2.3. Improving general understanding of the model of evolution involves not only initiating its construction in primary education but also a whole change in its teaching approach.

Professionals claim for a profound change in the way evolution education is approached in Spain. Significant recommendations aligned to literature are proposed in this regard. -Traditional strategies which are mainly based on memorization and the use of textbooks must be abandoned. Instead, active methodologies where students learn "doing science" (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000) must be implemented. There is a need to emphasise and make clear to children that both the environment and living beings are constantly changing. Precisely, the only expert who does not feel

comfortable with the idea of introducing the theory of evolution in early stages insists on presenting the natural world from a dynamic perspective before moving onto theories *per se*.

**3. Didactics of Science have a major role to play in improving evolution education by supplying both pre-service and in-service teachers of primary education of the appropriate training and materials.**

According to experts and teachers, the Didactics of Science must contribute to the improvement of evolution education in different ways: from researching students' alternative conceptions and difficulties, to designing and validating appropriate strategies and materials, to providing both pre-service and in-service teachers of the appropriate training.

Since teachers have very limited (or none) knowledge about evolution, the Didactics of Science should assume the effort of supplying teachers of both the pedagogical knowledge (strategies, resources, assessing instruments...) and the content knowledge. It is important teachers have a fully comprehension of the theory to overcome their own misconceptions. Also, design and implementation of activities is central, because good lessons will help students to continue developing their *preconceptions* (conceptions *before* attending school; Vosniadou, 2013), instead of turning them into *misconceptions* (conceptions *after* attending school; Vosniadou, 2013). Another issue Didactics of Science should address during teacher training, either initial or developmental, is the controversy, exploring if (and how) religious beliefs interfere in evolution's learning process.

**4. Literature, *curricula*, experts and teachers mainly coincide to consider *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors and change* as core ideas for the construction of the model of evolution.**

Literature, *curricula*, experts and teachers rest on the premise that there is a whole set of interlocked ideas that underlie the model of evolution and, therefore, serve as its *building blocks* (Lehrer & Schauble, 2012). The selection of the core ideas to be included in primary education is based on its necessity to explain evolutionary phenomena and children's accessibility to them, both from a cognitive and contextual

point of view. Although there are minor variations within their denomination, their number and their wording, the four sectors mostly agree on considering *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* and *change* the core ideas needed for building the model of evolution.

**5. Creating a *school scientific model* requires to integrate both the core ideas and the biological models embedded within the theory of evolution.**

As soon as the core ideas for building the model of evolution in primary education are identified (from literature, curricula, experts), the school scientific model emerges. Correspondingly the different levels of scale (cell, organism and population) must be incorporated; because the theory of evolution is a family of models, this condition must be reflected. This makes possible to address the phenomena and particularities involved in each biological model (cell, living being, ecosystem) and, above all, emphasise how they interact with each other. Meeting these requirements is essential because *School science* is not a simplified but a differentiated version of *Science* (Sanmartí, 2000).

Introducing the model of evolution in primary education does not mean pupils should/will master evolution at the end of 6<sup>th</sup> grade. On the contrary, this progressive teaching is orientated to provide students of the building blocks needed to construct the model step by step. The building blocks therefore combine the core ideas with the maximum interaction within levels of scale.

Even when the learning progression proposed in this research focuses on one or another level of scale depending on the cycle considered, our recommendation is to approach all of them globally from the very beginning. As grades go by, the degree of complexity should be increased.

**6. The ample collection of preconceptions shown by primary school students demonstrates their exposure to non-formal sources of information as well as their curiosity and need for explaining evolution-related phenomena.**

Students have shown to be familiar with many terms related to both Evolution and Genetics, e.g. “evolution” “mutation”, “gen”. Moreover, they can generate reasonable explanations about how and why some living beings might relate to each other or how species might change over time. Therefore, they are familiar to the topic. However, they do not receive formal education about it, what means they must be obtaining this

information from other sources. Some examples pointed out by literature, experts and teachers are books, comics, films, TV series, Internet and newspapers. Even religious beliefs might be playing their part: some children proposed creationist explanations for the phenomena studied (descending from “an initial couple”, all living beings having been created on Earth). On the other hand, the fact that they are incorporating such vocabulary and concepts to their discourse also proves their need to explain the world around them. While the school is not responding to this need, other sectors are.

#### **7. Primary school children seem to have few misconceptions about evolution.**

Students have shown to present very few misconceptions on evolution and its core ideas, especially when compared to students from secondary education, well documented in literature (Banet & Ayuso, 2003; Grau & De Manuel, 2002; just to cite some examples). Such a finding supports the thesis that the sooner the model of evolution (and its core ideas) are discussed, the better because it will prevent the consolidation of alternative conceptions. The notion of “change as an improvement” underlying the students’ ideas of “evolution as progress” and “need-based adaptation” could become a serious problem in the long term due to the abuse of teleological thinking. However, if used as a starting point, it could also serve well as a *stepping-stone* (Evans *et al.*, 2013) to the evolutionary thinking. The difference lies in addressing these preconceptions before they turn into an (almost) insurmountable obstacle.

#### **8. Primary school students can operate with the core ideas of the model of evolution, having established significant relationships between them during the sequence.**

The final models of students have revealed the enormous capacity students have to operate with the different core ideas involved in building the model of evolution. Despite their lack of previous teaching on the topic and independently of their initial conceptions, all of them were able to operate actively with at least five out of the seven core ideas that conform the school scientific model proposed in this study. *Biodiversity, variation, inheritance, adaptation* and *change* were easily assimilated and incorporated to their own discourse. They could even apply *natural selection* effectively. In addition, throughout the sequence they established relations between the different ideas, transferring ideas from one activity to another, even when they were not asked or

compelled to do so. This means that children, at least at age 10-11, can deal productively with these ideas.

#### **9. Children can interconnect the core ideas at different levels of scale.**

While dealing with the different core ideas during the sequence, most of the children proved to be capable of interconnecting them at different levels of scale. They would move back and forward from genes to cell to organism to population and ecosystem to explain how skin color is generated and differs from one person to another, from one generation to another, depending on both their genetic information and their environment. This means they can coordinate the different biological models embedded in the theory of evolution and that evolution and genetics must always be presented together. In fact, the minor differences found in the levels of scale addressed depending on the idea considered were probably related to 1) children's lack of familiarity with these phenomena and/or concept; 2) having paid less (or none) attention to that particular level throughout the sequence (e.g. natural selection). Consequently, a global approach to all the levels of scale throughout the stage must be adopted.

#### **10. Operating with different scientific practices (inquiry, modelling and argumentation) facilitates student's appropriation of knowledge and acquisition of vocabulary.**

Implementing activities based on scientific practices such as inquiry, modelling and argumentation permits students to mobilise their initial models and improve them through confrontation to their peers' and the data available. After formulating and testing their hypothesis, students reflected on whether their first explanations were accurate and made appropriate changes to them. As a result, children develop a sense of ownership over the knowledge they build, transferring it to new situations and contexts (Gilbert & Justi, 2016). In addition, as predicted by Beardsley *et al.* (2012), the cooperative learning of these topics has demonstrated to play a central role, for it allows higher levels of operations that have a significant impact in their individual learning. At the same time, discussing with their classmates promotes the acquisition of specific vocabulary, since they must express themselves with clarity to ensure understanding and move the conversation forward (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). This approach also helps students to conceive Science from a dynamic perspective and

increases their motivation, because they are the ones “doing Science”, that is, they are just not being explained something, but developing the explanation themselves (Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000).

### **11. Human evolution is a good starting point for the development of the model of evolution.**

Using human case studies for introducing students to the learning of evolution has proved to very productive, both from a contextual and didactical perspective. Taking themselves as subjects of research boosts students’ motivation, since they can easily relate their daily experience to the classroom activities. Likewise, it facilitates the comprehension of the core ideas involved in the problem studied because they are interested in it. In addition, it allows to discuss socio-scientific issues that are relevant to the students. As a result, attitudes such as respect to each other and celebration of diversity are encouraged.

### **12. The theory of biological evolution meets all the requirements needed to be (also) included in primary education**

One of the requirements for a theory to be incorporated to the education system is that students from different ages can comprehend it. This includes they have previous ideas about the topic as well as the analytical capacity to understand it (Petto, 2005). Although dealing with the theory of evolution is under no discussion when it comes to talk about secondary education, there seems to be still some reluctance to do it in primary education, at least in our country. Neither has it been included in the last *curriculum* reform (unlike other countries) nor all experts consulted feel comfortable with the idea. Our study proves exactly that primary school students meet those two conditions though: they have preconceptions about evolution and its core ideas, and they already have the cognitive tools to operate effectively with them. What is more, they have even applied them at different levels of scale, what means that, at least being 10-11 years old, they can coordinate the different biological models embedded in the model of evolution (cell, living being and ecosystem). Therefore, giving primary school students the chance to work on these core ideas is productive and all that is needed for them start building this family of models.



## **5.2. Discussion and educational implications**

Considering all the literature available and our own data gathered, the first question that seems to arise is: why is evolution not being taught yet in primary education? Experts recommend it, *curricula* in other countries have already incorporated this content and even suggest what should be achieved at each stage, and children are not only able but also willing to start working on it. And they need it. Because if we are to prepare future citizens to be participative and make informed decisions, as LOE-LOMCE claim, measures towards the gradual and progressive construction of the model of evolution should be implemented as soon as possible.

Such measures should include:

- Regarding the *curriculum*:

**From conclusion 1** (objective 1, RQ 1, 2 & 3): the *curricula*, both at state and autonomic level, must approach the whole area of Life Sciences from an evolutionary perspective. In addition, all the seven core ideas proposed – *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* – must be addressed in an explicit, coherent and progressive way throughout primary education. This means including these core ideas in contents, assessment criteria and learning standards in every grade, augmenting its complexity grade to grade. Also, all the three levels of scale must be considered: the learning progression implies that at any stage students must be allowed to apply any/all the core ideas at different scale levels. Other countries *curricula* as well as the progression suggested in this study could assist in this process.

**From conclusions 2, 3** (objective 2, RQ 4 & 5, and 6), **8 and 9** (objective 3, QR9): In addition, the *curriculum* should include specific guidelines regarding the methodology to be used. Although this recommendation is extensive to the subject of Science (or equivalent) as a whole, as Pro & Miralles (2009) already claimed when analysing the *curriculum* derived from LOE (MEC, 2006), in the case of evolution is especially relevant to employ scientific practices, such as inquiry, modelling and argumentation. This will allow students not only to construct the model of evolution by themselves but also to gain a better comprehension of the Nature of Science, a key aspect in accepting and understanding the theory of evolution itself (Lombrozo *et al.*, 2008). As pointed out by the experts consulted, “other approaches would lead to

failure”. Accordingly, the concept of “model” and “modelling” should be included and gradually developed too.

**From conclusions 4 and 5** (objective 3, RQ 7): Present an *school model* of the theory of evolution, informed by the Didactics of Science itself and adaptable to the particular context of each school/classroom, serving as a reference for both teachers (Justi & Gilbert, 2002) and students (Clement, 2000). The school models of the theory of evolution must promote the interconnection between the other three biological models (cell, living being and ecosystem) embedded in the theory of evolution, making real the approach of theories as family of models (Giere, 1988).

- Regarding the Didactics of Science<sup>3</sup>:

**From conclusions 2 and 3** (objective 2, RQ 4 & 5, and 6): The Didactics of Science has a great mission to be fulfilled when it comes to talk about evolution education. First, it is responsible for exploring how to improve both the teaching and learning of the model of evolution. This includes analysing students’ thinking and alternative conceptions, evaluating new and existing didactic proposals to select the best practises and resources to be employed when working on the model of evolution, identifying possible obstacles to be tackled or designing new materials and assessment instruments.

Secondly, it must train both pre-service and in-service primary school teachers to take the model of evolution and its core ideas successfully into their classroom. This involves designing and implementing training programmes that respond to their current demands. First, and given the ongoing situation of the Spanish *curriculum*, the Didactics of Science must assume the duty of providing teachers of primary education of the content knowledge needed to understand the model of evolution and related socio-scientific issues, including the Nature of Science. Secondly, it must equip them of the appropriate pedagogical content knowledge, which covers *curriculum* knowledge,

---

<sup>3</sup> Lijnse (2010) offers an interesting discussion on which might be the differences between the terms *Science education research* and *Didactics of Science* derived from the mainstream (almost exclusive) use of the first concept within Anglo/American contexts. According to this author, *Science education research* would be oriented towards a theoretical approach, while *Didactics of Science* would address the practical component of research more clearly and therefore, be of more use to real classroom activity. In this research, *Didactics of Science* is understood from a more general perspective that involves both the accumulation of knowledge and its application to real contexts in order to improve Science education at all levels, for it is assumed that both components are inextricably related.

children's thinking and most common (mis)conceptions, methodological strategies, activities and materials and assessment instruments. Likewise, specific plans for supporting teachers during the design and application of their own treatments must be considered. These follow-ups will do valuable contributions to the research purpose of the Didactic of Experimental Sciences.

**From conclusions 4 and 5** (objective 3, RQ 7): (finally, and) based on all their research and expertise, the Didactics of Science should inform the elaboration of the *curriculum*, assisting in the creation of a school model of evolution and its corresponding learning progression to ensure the different core ideas and levels of scale are addressed from a global perspective throughout the whole primary education.

- Regarding the classroom setting:

**From conclusions 4 and 5** (objective 3, RQ 7): teachers should design didactic units/projects/sequences where children of all ages can work on the different core ideas – *biodiversity, variation, natural selection, adaptation, inheritance, common ancestors* – at different levels of scale (cell, organism and population), whether explicitly or implicitly, with special attention to the relation between genetics and evolution.

**From conclusions 6 and 7** (objective 3, RQ 8): teachers must be familiar with children's thinking and how their abilities might both make possible and interfere in their comprehension and building of the model of evolution. Likewise, they should identify their students' preconceptions (and their sources) and use them as a starting point, tackling the consolidation of misconceptions.

**From conclusions 8, 9 and 12** (objective 3, RQ 9 & 10): because children can operate with all the core ideas needed to build gradually the model of evolution, any design must focus on the importance of working progressively with all the core ideas to guarantee its global treatment. Furthermore, and as result of their ability to apply these core ideas to different levels of scale, the unit/sequence/project should allow children to address all these levels, either explicitly or implicitly.

**From conclusions 10 and 11** (objective 3, RQ 10): joining Pobiner (2016), human evolution as well as socio-scientific issues students are familiar with or curious about should serve as the vehicle for addressing the model of evolution and its core ideas, because they boost their motivation and encourages the sense of being learning

something useful for their daily lives, facilitating the introduction of this complex scientific model. Likewise, traditional approaches must be abandoned and instead active methodologies, based on the implementation of scientific practices and teamwork, must be adopted. What is more, an ample array of activities and resources, such as games, simulations, analogies, physical models, books, newspapers or magazines should be displayed.

In conclusion, introducing the model of evolution in primary education effectively requires the active involvement of a whole range of agents related to the world of education: legislators, Didactics of Science, professionals in charge of in-service and pre-service teachers training as well as teachers themselves. After all, “teaching evolution adequately requires that this teaching be understood in its social, intellectual, and pedagogical context—a context that is multifaceted, complex, and influential” (Anderson, 2007, p.664).

### **5.3. Limitations and future lines of research**

There are some limitations to be acknowledged:

- a) Since the research focuses on just one study case, we must be careful when it comes to generalization. Still, the research has provided helpful insights regarding the ability of children to operate with the core ideas that serve as building blocks for building the model of evolution.
- b) The discussion group is very limited because only three people participated in it, just one teacher from primary education and two from secondary education. Even when they appear as representatives of their sector, it is clearly not enough to make firm assertions about the perspectives and needs of teachers regarding evolution education. Nevertheless, their observations are of great value, especially due to the profound discourse they three generated. In fact, their contributions have shed light to which topics should be addressed in future research.
- c) Although this research is grounded in the model of modelling of Gilbert and Justi (2002; 2016), some adaptations were made to respond to the context where the sequence took place. This included combining inquiry, modelling and argumentation practices; the absence of a physical model to work on throughout the whole sequence,

since the groups were never the same – still, children created a big poster at the end using everything they have done and learnt; and the concept of “model” was not addressed, because it is a very complex concept that would require its own progression of learning (Cañal *et al.*, 2016).

d) Data collection was limited due to the prohibition of taking photographs or recording the children. Consequently, it was not possible to capture all the children’s interventions and discussions nor gather all the evidence they produced. Still, the materials compiled have allowed a deep analysis of students’ performance, as shown in findings.

e) Time was an issue in terms of the length of the lesson (initially were meant to last 50 minutes, but in the end they took around 90 min/each) and in terms of calendar (due to incompatibilities of agenda, the last session happened two weeks later than the other three). Again, as in many other studies (Glaze and Goldston, 2015) this problem responds to the fact of implementing a sequence of these characteristics (new content, new methodological approach) in a real context. Therefore, it can also be interpreted as a strength, instead of a limitation, for it provides a more accurate picture of the difficulties that would arise if the model of evolution was finally included in primary education.

Regarding the future lines of research, four different lines are suggested:

1. During this project we have analysed children’s ability for operating with each one of the core ideas, at different levels of scale. However, we also noticed students were making connections between the different core ideas addressed in the classroom. Therefore, it would be of high interest to see what kind of connections they establish to develop a better understanding of the transition between models until achieving the target. This could inform the design of *bridging analogies* (Clement, 1993).
2. This intervention was very short, albeit productive, and some improvements should be made to the sequence and the materials employed. Applying it several times in different contexts, maybe even in different grades, would allow to either confirm or refute the results obtained in our study.
3. Executing a longitudinal study to analyse the impact of this type of interventions in the long term. Although the initial results have been very promising, it would be of the utmost importance to verify whether these achievements are sustainable.

4. Design, implement and assess a didactic unit aimed to teachers training, including both content knowledge and pedagogical knowledge. The aim would be to find out their preconceptions and identify Also Nature of Science and dealing with the controversy should be discussed, as Sickel and Friedrichsen (2013) suggest (considering Spain has high levels of acceptance of evolution, it might not be worthy focusing on this issue).

The results of this thesis are hoped to contribute to and encourage the discussion about the central role the theory of evolution plays in scientific literacy and active citizenship. We believe that they may be of interest when it comes to solving the serious problem of alternative ideas and difficulties presented by secondary school students. In this study it is possible to observe how primary school students are able to operate with the core ideas that serve as building blocks for the construction of this family of models, and they can do it at different levels of scale. In addition, its treatment using human beings as case study can promote mutual respect and self-understanding. In short, we expect to call the attention to how young students not only are interested in this topic but also own the analytical skills to start working on it, for if the school does not address such issues, other sectors will.



## 6. REFERENCIAS

- Acevedo Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 1 (1), 3–16.
- Acevedo Díaz, J. A. (2009). Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia (I): El marco teórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6 (1), 21–46.
- Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis (TED)*, 36, 63-75.
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo-Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 4, número especial 1, 40–49.
- Adúriz-Bravo, A. y Ariza, Y. (2012). Qué son los modelos científicos: introduciendo la escuela semanticista en la didáctica de las ciencias naturales. *A III Congreso Internacional y VIII Nacional de Investigación en Educación, Pedagogía y Formación Docente* (pp. 1134-1150).
- Akyol, G.; Tekkaya. C.; Sungur, S. y Traynor, A. (2012). Modeling the Interrelations among pre-service Science teachers' understanding and acceptance of Evolution, their views on Nature of Science and self-efficacy beliefs regarding teaching Evolution. *Journal of Science Teacher Education*, 23, 937–957.
- Albadalejo, C. y Lucas, A. M. (1988) Pupils' meanings for 'mutation'. *Journal of Biological Education*, 22, 215–219.
- Alters, B. J., y Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56, 1891–1901.
- Anderson, R. N. (2007). Teaching the Theory of Evolution in Social, Intellectual, and Pedagogical Context. *Science Education*, 91, 664-677. DOI 10.1002/sce.20204
- Andersson, B. y Wallin, A. (2006). On developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28, 673–695.



- Andrews, T. M.; Price, R. M.; Mead, L. S.; McElhinny, T. L.; Thanukos, A.; Perez, K. E.; Herreid, C. F.; Terry, D. R. y Lemons, P. P. (2012). Biology Undergraduates' Misconceptions about Genetic Drift. *CBE—Life Sciences Education*, 11, 248–259.
- Angrosino, M. (2014). *Etnografía y observación participante en Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Aragón, L., Jiménez-Tenorio, N., Oliva-Martínez, J. M., y Aragón-Méndez, M. M. (2018). La modelización en la enseñanza de las ciencias: criterios de demarcación y estudio de cas. *Revista Científica*, 32(2), 193-206. <https://doi.org/10.14483/23448350.12972>
- Asghar, A.; Wiles, J. R. y Alters, B. (2007). Canadian pre-service elementary teachers' conceptions of biological evolution and evolution education. *McGill Journal of Education*, 42 (2), 189–210.
- Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. (1983). *Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Ayuso, E.G. y Banet, E. (2002). “Pienso más como Lamarck que como Darwin”: comprender la herencia biológica para entender la evolución. *Alambique*, 32, 39–47.
- Banet, E. (2010). El Medio Natural en la LOE: ¿continuidad o cambio en el currículo de educación primaria? *Investigación en la Escuela*, 70, 71-88.
- Banet, E. y Ayuso, E. G. (1998). La herencia biológica en la educación secundaria: reflexiones sobre los programas y las estrategias de enseñanza. *Alambique*, 16, 21–31.
- Banet, E. y Ayuso, E. G. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living beings in secondary school. *International Journal of Science Education*, 25 (3), 373-407. DOI: 10.1080/09500690210145716
- Barab, S. A., Hay, K. E., Barnett, M., y Keating, T. (2000). Virtual solar system project: Building understanding through model building. *Journal of Research in Science Teaching*, 37 (7), 719–756.

- Barberá, Ó.; Zanón, B. y Pérez-Pla, J. F. (1999). Biology curriculum on Twentieth-century Spain. *Science Education*, 83 (1), 97-111.
- Beardsley, P. M.; Bloom, M. V. y Wise, S. B. (2012). Challenges and Opportunities for Teaching and Designing Effective K-12 Evolution Curricula. En Rosengren, K.S.; Brem, S.K.; Evans, E.M. y Sinatra, G.M. (Eds.). *Evolution Challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 287-310). New York: Oxford University Press.
- Bishop, B. A. y Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of Natural Selection and its role in Evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (5), 415-427.
- Bizzo, N. M. (1994). From down house landlord to Brazilian high school students: What has happened to evolutionary knowledge on the way? *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 537-556.
- Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas, Profesorado. *Revista de currículum y formación del profesorado*, 9 (2).
- Borges Fernandes, I. M.; Pires, D. M. y Delgado-Iglesias, J. (2018). ¿Qué mejoras se han alcanzado respecto a la Educación Científica desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente en el nuevo Currículo Oficial de la LOMCE de 5º y 6º curso de Primaria en España? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1101. DOI: 10.25267/REv\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2018.v15.i1.1101
- Bugallo Rodríguez, Á. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), 379-385.
- Caballer, M. J.; Giménez, A. y Madrid, A. (2002). La evolución. Programación de aula: ¿qué queremos conseguir? *Alambique*, 34, 104-111.
- California Department of Education (2004). *Science Framework for California Public Schools. Kindergarten through Grade Twelve*.
- Calonge, A. y López Carrillo, M. D. (2005). Una propuesta práctica para acercarse a la noción de fósil y fosilización. *Alambique*, 44, 49-56.

- Campos, R. y Sá-Pinto, A. (2013). Early evolution of evolutionary thinking: teaching biological evolution in elementary schools. *Evolution: Education and Outreach*, 6, 25.
- Campos, R.; Vieira de Almeida Menezes, M. C. y ARAÚJO, M. (2018). Ensinar Genética e Evolução por meio de jogos didáticos: superando concepções alternativas de professores de ciências em formação. *Genética na Escola*, 13(1), 24-37.
- Cañal, P. (2008). *Investigando los seres vivos*. Sevilla: Díada.
- Cañal, P. (2009). Acerca de la enseñanza de la evolución biológica en la escuela infantil y primaria. *Alambique*, 62, 75–91.
- Cañal, P. (2012). Idea Clave 10. Saber ciencias no equivale a tener competencia profesional para enseñar ciencias. En Pedrinaci, E. (coord.); Caamaño, A.; Cañal, P.; Pro, A. *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica* (pp. 217-240). Barcelona: Graó.
- Cañal, P.; García-Carmona, A. y Cruz-Guzmán, M. (2016). *Didáctica de las Ciencias Experimentales en Educación Primaria*. Madrid: Ediciones Paraninfo.
- Cañas, A.; Martín Díaz, M. J. y Nieda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. La competencia científica*. Madrid: Alianza Editorial.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge: MIT Press.
- Catley, K. M. (2006). Darwin's Missing Link – A Novel Paradigm for Evolution Education. *Science Education*, 90, 767-783. DOI: 10.1002/sce.20152
- Catley, K. M., Lehrer, R., y Reiser, B. (2005). Tracing a prospective learning progression for developing understanding of evolution. Paper commissioned by the National Academies Committee on Test Design for K - 12 Science Achievement.
- Ceballos, M.; Vílchez, J. E. y Escobar, T. (2017). La enseñanza de la Evolución en Primaria. Opinión del profesorado y exploración de ideas inadecuadas en los

niños. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural. Sección Aula, Museos y Colecciones*, 4, 55-68.

- Chamizo, (2010). Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7 (1), 26-41. <http://hdl.handle.net/10498/9861>
- Chanet, B. y Lusignan, F. (2009). Teaching Evolution in Primary schools: an example in French classrooms. *Evolution Education and Outreach*, 2, 136–140.
- Chinn, C. A. y Buckland, L. A. (2012). Model-Based Instruction. Fostering Change in Evolutionary Conceptions and in Epistemic Practices. In Rosengren, K. S.; Brem, S. K.; Evans, E. M. and Sinatra, G. M. (Eds.). *Evolution Challenges: Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution* (pp.211-232). Oxford (UK): Oxford University Press.
- Cho, H.M.; Kahle, J.B. y Nordland, F.H. (1985). An investigation of high school biology textbooks as sources of misconceptions and difficulties in genetics and some suggestions for teaching genetics. *Science Education*, 69 (5), 707-719.
- 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. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.
- Clement, J. (2013). Roles for explanatory models and analogies in conceptual change. En Vosniadou, S. (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 412-445). New York: Routledge.
- Clement, J., Brown, D. and Zietsman, A. (1989). Not all preconceptions are misconceptions: finding 'anchoring conceptions' for grounding instruction on students' intuitions. *International Journal of Science Education*, 11, 554-565.

- Coll, C. (2007). Las competencias en la educación escolar: algo más que una moda y mucho menos que un remedio. *Aula de Innovación Educativa*, 161, 34-39.
- Comisión Europea (2004). *Competencias clave para un aprendizaje a lo largo de la vida. Un marco de referencia europeo*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Comisión Europea (2007). *Competencias clave para el aprendizaje permanente. Un marco de referencia europeo*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.
- Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) (2011). *Informe ENCIENDE. Enseñanza de las Ciencias en la Didáctica Escolar para edades tempranas en España*. Madrid: Rubes Editorial.
- Criado, A. M.; Cruz-Guzmán, M; García-Carmona, A. y Cañal, P. (2014). ¿Cómo mejorar la educación científica de primaria en España desde el currículo oficial? Sugerencias a partir de un análisis curricular comparativo en torno a las finalidades y contenidos de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, 32 (3), 249–266.
- Crujeiras, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2015). Análisis de la competencia científica de alumnado de secundaria: respuestas y justificaciones a ítems de PISA. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(3), 385-401. [http://dx.doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2015.v12.i3.01](http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i3.01)
- Cubero, R. (1997). *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*. Sevilla: Diada.
- Cuvi, N.; Georgii, C.; Guarderas, P. y Arce, M.F. (2013). El camarote de Darwin: un Club de Lectura para aprender sobre la vida de Charles Darwin y su teoría de la evolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 219–233.
- Deadman, J. A. y Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12, 7–15.

- Denzin N. K. y Lincoln, Y.S. (1998). *Collecting and Interpreting Qualitative Materials*. USA: Sage Publications.
- Denzin, N.K. y Lincoln. Y.S. (2012). *Introducción general. La investigación cualitativa como disciplina y como práctica. Manual de investigación cualitativa* (Vol. I). Barcelona, España: Gedisa.
- Department for Education (2013). *The National Curriculum in England: framework to key stages 1 to 4. Science programmes of study*. Gob. UK, September 2013.
- Departamento de Educação Básica (DEB) (2004). *Organização curricular e programas. 1º Ciclo do Ensino Básico*. Lisboa: Ministério da Educação.
- Direção-Geral da Educação (2013). *Metas curriculares de Ensino Básico para as Ciências Naturais. 5º, 6º, 7º e 8º ano*. Lisboa: Ministério da Educação e Ciência.
- Develaki, M. (2007). The model-based view of scientific theories and the structuring of school science programmes. *Science & Education*, 16, 725-749. DOI: 10.1007/s11191-006-9058-2
- Diéguez Lucena, A. (1998). *Realismo científico: una introducción al debate actual en la filosofía de la ciencia*. Málaga: Universidad de Málaga.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in Biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35 (3), 125–129.
- Dole, J.A. y Sinatra, G. M. (1998). Reconceptualizing change in the cognitive construction of knowledge. *Educational Psychologist*, 33, 109-128.
- Domènech Girbau, M. y Lope Pastor, S. (2009). Propuesta de actividades de aula sobre evolución: otros prismas y contextos *Enseñanza de las Ciencias*, N° Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 1148–1153.
- Domènech-Casal, J. (2018). Comprender, decidir y actuar: una propuesta-marco de Competencia Científica para la Ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1105. DOI: 10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2018.v15.i1.1105

- Donnelly, L. y Akerson, V. (2008). High school biology students' evolution learning experiences. *Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching*, Baltimore, Maryland.
- Doyle, R. (2002). Down with Evolution! *Scientific American Magazine*, 286 (3), 30.
- Driver, R., Newton, P., y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84 (3), 287–312.
- Emmons, N.; Smith, H. y Kelemen, D. (2016). Changing minds with the story of adaptation: strategies for teaching young children about natural selection. *Early Education and Development*, 27 (8), 1205-1221. DOI: 10.1080/10409289.2016.1169823
- España Ramos, E. y Prieto Ruz, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la Escuela*, 71, 17-24.
- Evans, E. M. (2000). The Emergence of belief about the origins of species inschool-age children. *Merril-Palmer Quarterly*, vol. 46(2), pp. 221-254.
- Evans, E. M. (2008). Conceptual change and evolutionary biology: A developmental analysis. En Vosniadou, S. (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 263–294). New York: Routledge.
- Evans, E. M. (2013). Conceptual change and evolutionary biology: A developmental perspective. En Vosniadou, S. (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (2<sup>nd</sup> Edition) (pp. 220–239). New York: Routledge.
- Ezquerria Martínez, A.; Fernández-Sánchez, B. y Magaña Ramos, M. (2015). Qué contenidos científicos proponen los partidos políticos y su repercusión en la alfabetización científica de la ciudadanía. Estudio sobre el tópico “energía”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12 (3), 491–507.
- Fail, J. Jr. (2008). A no-holds-barred evolution curriculum for elementary and junior high school students. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 56-64. DOI: 10.1007/s12052-007-0018-3
- Flick, U. (2004). *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.

- Flick, U. (2014). *El diseño de la investigación cualitativa*. Madrid: Morata.
- Flick, U. (2015). *La gestión de la calidad en Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Fuselier, L. C.; Jackson, J. K. y Stoiko, R. (2015). Social and rational: the presentation of Nature of Science and the uptake to change in Evolution textbooks. *Science Education*, 100, 239–265.
- Galagovsky, L. y Adúriz-Bravo, A. (2001). Modelos y analogías en la enseñanza de las ciencias naturales. El concepto de modelo didáctico analógico. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(2), 231-242.
- García-Barros, S. y Tiburzi, M. C. (2011). Interpretando la evolución de los seres vivos. *Alambique*, 67, 88–95.
- García-Barros, S.; Tiburzi, M. C. y Martínez-Losada, C. (2009). Evaluación de actividades dirigidas al estudio de la evolución en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, N° Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias, 322–327.
- García Rovira, M.P. (2005). Los modelos como organizadores del curriculum de biología. *Enseñanza de las Ciencias*, extra VII International Conference, 1-6.
- García-Carmona, A.; Criado, A. M. y Cañal, P. (2014). ¿Qué educación científica se promueve para la etapa de primaria en España? Un análisis de las prescripciones oficiales de la LOE. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(1), 139–157.
- Gelman, S. A. (2003). *The Essentials child. Origins of essentialism in everyday thought*. Oxford: Oxford University Press.
- Gelman, S. A. y Rhodes, M. (2012). “Two-Thousand Years of Stasis”: How Psychological Essentialism Impedes Evolutionary Understanding. En Rosengren, K. S.; Brem, S. K.; Evans, M. E. y Sinatra, G. M. (Eds.). *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution* (pp. 3-21). USA: Oxford University Press.
- Gentner, D. (2002). Mental models, psychology of. En Smelser, N. J. y Bates, P. B. (Eds.), *International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (pp. 9683–9687). Amsterdam: Elsevier Science.



- Gentner, D. y Stevens, A.L. (1983). *Mental Models*. Hillsdale (New Jersey, USA): LEA.
- Gess-Newsome, J. (1999). Pedagogical content knowledge: An introduction and orientation. En Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (Eds.). *PCK and Science Education*. (pp. 3 – 17). Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Gibbs, G. (2012). *El análisis de datos cualitativos en Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: Chicago University Press.
- Giere, R. N. (1999). Using models to represent reality. En Magnani, L., Nersessian, N. J. y Thagard, P. (Eds.). *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 41-57). New York (EEUU): Kluwer and Plenum.
- Giere, R.N. (2004). How models are used to represent reality. *Philosophy of Science*, 71, 742-752.
- Giere, R.N. (2010). An agent-based conception of models and scientific representation. *Synthese*, 172, 269-281.
- Gilbert, J. K. (1993). *Models & modelling in science education*. Hatfield, UK: The Association for Science Education.
- Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to a more authentic science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2, 115-130.
- Gilbert, J. K. y Justi, R. (2016). *Modelling-based teaching in Science Education*. Switserland: Springer.
- Gilbert, J.K., y Osborne, R.J. (1980). The use of models in science and science teaching. *European Journal of Science Education*, 2(1), 3-13.
- Gobert, J. D. y Buckley, B. C. (2000). Introduction to model-based teaching and learning in science education. *Journal of Science Education*, 22 (9), 891-894. DOI: 10.1080/095006900416839

- Goetz, J. P. y LeCompte, M. D. (1988). *Etnografía y diseño cualitativo en investigación educativa*. Madrid: Morata
- Gómez Galindo, A. (2014). Progresión del aprendizaje basado en modelos: la enseñanza y el aprendizaje del sistema nervioso. *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7 (13), 101–107.
- González-Galli, L. M. (2011). *Obstáculos para el aprendizaje del modelo de evolución por selección natural* (Tesis doctoral). Biblioteca Digital de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- González-Galli, L.M. y Meinardi, E.N. (2011). The role of teleological thinking in learning the Darwinian model of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4 (1), 145-152.
- Gould, S. J. (1981). Evolution as Fact and Theory. En Gould, S.J. (1994). *Hen's teeth and Horse's Toes* (pp. 253–262). New York: W. W. Norton & Company.
- Grau, R. y De Manuel, J. (2002). Enseñar y aprender evolución: una apasionante carrera de obstáculos. *Alambique*, 32, 56–64.
- Greca, I. M. y Moreira, M. A. (2000). Mental models, conceptual models, and modelling. *International Journal of Science Education*, 22(1), 1-11. DOI: 10.1080/095006900289976
- Gregory, T. R. (2008). Evolution as Fact, Theory and Path. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 46–52.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding Natural Selection: essential concepts and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 156–175.
- Gutiérrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto “modelo mental”. Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10(2), 209-226.
- Ha, M. y Nehm, R. (2014). Darwin's difficulties and students' struggles with Trait Loss: cognitive-historical parallelisms in evolutionary explanation. *Science and Education*, 23, 1051–1074.

- Ha, M.; Baldwin, B. C. y Nehm, R. H. (2015). The long-term impacts of short-term professional development: Science teachers and Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 8, 11.
- Hackling, M. W. y Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21, 197–209.
- Halls, J. G.; Ainsworth, S. E. y Oliver, M. C. (2018). Young children impressionable use of teleology: the influence of question wording and questioned topic on teleological explanations for natural phenomena. *International Journal of Science Education*, 40 (7), 808-826. DOI: 10.1080/09500693.2018.1451008
- Harrison, A. G. y Treagust, D. F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22 (9), 1011-1026. DOI: 10.1080/095006900416884
- Hermann, R. S. (2011). Breaking the cycle of continued evolution education controversy: on the need to strengthen elementary level teaching of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 267-274. DOI: 10.1007/s12052-011-0325-6
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553.  
[https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604\(01\)&from=ES](https://eurlex.europa.eu/legalcontent/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018H0604(01)&from=ES)
- Inagaki, K. y Hatano, G. (2002). *Young children's naïve thinking about the biological world*. New York: Psychology Press.
- Inagaki, K. y Hatano, G. (2004). Vitalistic causality in young children's naive biology. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(8), 356-362.
- Inagaki, K., y Hatano, G. (2013). Conceptual change in Naïve biology. En Vosniadou, S. (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 195–219). New York, NY: Routledge.

- Izquierdo, M. (2014). Los modelos teóricos en la enseñanza de las “ciencias para todos” (ESO, nivel secundario). *Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su enseñanza*, 7(13), 69-85.
- Izquierdo, M. y Adúriz, A. (2003). Epistemological foundations of school science. *Science & Education*, 12 (1), 27-43.
- Izquierdo, M.; Espinet, M.; García, M.P.; Pujol, R.M. y Sanmartí, N. (1999). Caracterización y fundamentación de la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, Número extra, 79-91.
- Jensen, M. S. y Finley, F. N. (1995). Teaching evolution using a historically rich curriculum & paired problem solving instructional strategy. *The American Biology Teacher*, 59, 208–212.
- Jewers, W. M. (2011). *Next steps in evolution education: A literature review and suggestions for the future*. (Tesis Maestría). McGill University). Recuperado de <http://digitoollibrary.mcgill.ca/thesisfile103685.pdf>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1990). *Los esquemas conceptuales sobre la selección natural: Análisis y propuestas para un cambio conceptual* (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid. Madrid.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1998). Diseño curricular: Indagación y razonamiento con el lenguaje de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16 (2), 203–216.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2000). Modelos didácticos. En Perales, F. y Cañal, P. (Comps). *Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 165–186). Alcoy: Marfil.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2003). La enseñanza y el aprendizaje de la biología. En Jiménez-Aleixandre, M. P. (coord.); Caamaño, A.; Oñorbe, A.; Pedrinadri, E. y Pro, A. de. *Enseñar ciencias* (pp. 121–146). Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., y Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: An overview. En Erduran, S. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (Eds.),

- Argumentation in science education - perspectives from classroom-based research* (pp. 3–27). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P.; Bravo, B.; 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, Á. y Duschl, R.A. (2000). “Doing the lesson” or “Doing Science”: Argument in high school Genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
- Jiménez-Aleixandre, M.P. (1994). Teaching evolution and natural selection: a look at textbooks and teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 519-535.
- Jiménez-Tejada, M. P.; González García, F. y Hódar, J. A. (2002). Evolución y Selección Natural en Textos LOGSE. *Actas de los XX Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 851–858. Universidad de La Laguna.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental Models*. Cambridge (USA): Harvard University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (2002). Reasoning with mental models. En Smelser, N.J. y Baltes, P.B. (Eds.). *International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences* (1st Edition) (pp. 12821-12824). USA: Elsevier.
- Johnson-Laird, P. N. (2010). Mental models and human reasoning. *Proceedings of the National Academies of Science*, 107 (43), 18243-18250. <https://doi.org/10.1073/pnas.1012933107>
- Johnson-Laird, P. N. (2012). Mental models and consistency. En Gawronski, B. y Strack, F. (Eds.). *Cognitive Consistency: A Unifying Concept in Social Psychology* (pp. 225-243). New York: Guilford Press.
- Johnson-Laird, P. N.; Goodwin, G. P. y Khemlani, S. S. (2017). Mental models and reasoning. En Ball, L. J. y Thompson, V. (Eds.). *Routledge International Handbook of Thinking and Reasoning* (pp. 346-365). New York: Routledge.
- Jonassen, D. y Easter, M. A. (2013). Model Building for Conceptual Change. En Vosniadou, S. (Ed.). *International handbook of research on conceptual change* (pp. 580-600). New York, NY: Routledge.

- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos, *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (2), 173–184.
- Justi, R. y Gilbert, J. K. (2002). Modelling teachers' views of the nature of modelling, and implications for the education of modellers, *International Journal of Science Education*, 24 (4), 369–387.
- Kampourakis, K. y Zogza, V. (2008). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, 17, 27–47.
- Kampourakis, K.; Silveira, P. y Strasser, B. (2016). How do preservice Biology teachers explain the origin of biological traits?: a philosophical analysis. *Science Education*, 100, 1024–1149.
- Kelemen, D. (2012). Teleological minds: how natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. En Rosengren, K.S.; Brem, S.K.; Evans, E.M. y Sinatra, G.M. (eds). *Evolution Challenges. Integrating research and practice in teaching and learning about evolution* (pp. 66-92). New York: Oxford University Press.
- Kim, S. Y. y Nehm, R. H. (2011). A Cross - Cultural Comparison of Korean and American Science Teachers' Views of Evolution and the Nature of Science. *International Journal of Science Education*, 33(2), 197-227. DOI: 10.1080/09500690903563819
- Kind, V. (2009). Pedagogical content knowledge in science education: perspectives and potential for progress. *Studies in Science Education*, 45(2), 169-204. DOI: 10.1080/03057260903142285
- Knuuttila, T. (2005). Models, Representation, and Mediation. *Philosophy of Science*, 72, 1260-1271.
- Knuuttila, T. (2011). Modelling and representing: an artefactual approach to model-based representation. *Studies in History and Philosophy of Science*, 42(2), 262-272. DOI: 101016/j.shpsa.2010.11.034

- Knuuttila, T. y Boon, M. (2011). How do models give us knowledge? The case of Carnot's ideal heat engine. *European Journal for the Philosophy of Science*, 1(3), 309-334. DOI: 10.1007/s13194-011-0029-3.
- Kvale, S. (2011). *Las entrevistas en Investigación Cualitativa*. Madrid: Morata.
- Larson, E. (2006). *Evolución. La asombrosa historia de una teoría científica*. Barcelona: Editorial Debate.
- LeCompte, M.D. (1995). Un matrimonio conveniente: diseño de investigación cualitativa y estándares para la evaluación de programas. *RELIEVE*, 1, 1.
- Lederman, N. G.; Abd-El-Khalick, F.; Bell, R. L. y Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. *Journal Research of Science Teaching*, 39, 497-521. DOI:10.1002/tea.10034
- Legare, C. H.; Evans, E. M.; Rosengren, K. S y Harris, P. L. (2012). The coexistence of natural and supernatural explanations across cultures and development. *Child Development*, 83 (3), 779–793.
- Legare, C. H.; Lane, J. D. y Evans, E. M. (2013). Anthropomorphizing Science: How does it affect the Development of Evolutionary Concepts? *Merrill-Palmer Quarterly*, 59, 168-197. DOI: 10.1353/mpq2013.0009
- Lehrer, R. y Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations, *Science Education*, 96 (4), 701–724.
- Lehrer, R.; Horvath, J. y Schauble, L. (1994). Developing Model - Based Reasoning. *Interactive Learning Environments*, 4(3), 218-232, DOI: 10.1080/1049482940040304
- Lombrozo, T.; Shtulman, A. y Weisberg, M. (2006). The intelligent design controversy: Lessons from psychology and education. *Trends in Cognitive Sciences*, 10, 56–57.
- Lombrozo, T.; Thanukos, A. y Weisberg, M. (2008). The importance of understanding the Nature of Science for Accepting Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 290-298. DOI: 10.1007/s12052-008-0061-8

- Loughran, J.; Mulhall, P. y Berry, A. (2008). Exploring pedagogical content knowledge in Science teacher education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1301-1320. DOI: 10.1080/09500690802187009
- Magnusson, S.; Krajcik, J. y Borko, H. (1999). Nature, sources and development of pedagogical content knowledge. En Gess-Newsome, J. y Lederman, N. G. (Eds.). *Examining pedagogical content knowledge* (pp. 95–132). Dordrecht (The Netherlands): Kluwer.
- Manassero, M. y Vázquez, A. (2009). El CDC de naturaleza de la ciencia en los contenidos comunes del currículo. *Enseñanza de las Ciencias, n° Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*, 734–737.
- Marín, N. (2003). Conocimientos que interaccionan en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (1), 65-78.
- Martí, J. (2012). *Aprender ciencias en la educación primaria*. Barcelona: Graó.
- Martinand, J. L. (1986). Enseñanza y aprendizaje de la modelización. *Enseñanza de las ciencias*, 4(1), 45-50.
- McVaugh, N.K.; Birchfield, J.; Lucero, M. N. y Petrosino, A. J. (2011). Evolution Education: Seeing the Forest for the Trees and Focusing Our Efforts on the Teaching of Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 286-292.
- Medin, D. L., y Rips, L. J. (2005). Concepts and categories: Memory, meaning, and metaphysics. En Holyoak, K. J. y Morrisom, R. G. (Eds.). *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 37–72). New York: Cambridge University Press.
- Medin, D.; Waxman, S.; Woodring, J.; Washinawatok, K. (2010). Human-centeredness is not a universal feature of young children’s reasoning: culture and experience matter when reasoning about biological entities. *Cognitive development*, 25, 197-207.



- Mellado, V. (2001). ¿Por qué a los profesores de ciencias nos cuesta tanto cambiar nuestras concepciones y modelos didácticos? *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 40, 17-30.
- Mestres, F. y Arenas, C. (2005). La percepción del tiempo evolutivo. *Ludus Vitalis*, 13(24), 15-24.
- Miles, M. B. y Huberman, A. M. (1994). *Qualitative Data Analysis: An Expanded Sourcebook*. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Miles, M.B.; Huberman, A. M. y Saldaña, J. (2013). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. USA: SAGE Publications.
- Miller, J. D.; Scott, E. C. y Okamoto, S. (2006). Public Acceptance of Evolution, *Science*, 313 (5788), 765–766.
- Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (2015) *Socle commun de connaissances, de compétences et de culture*, Bulletin officiel n° 17 du 23 avril 2015.
- Ministère de l'éducation nationale, de l'enseignement supérieur et de la recherche (2015). *Programmes pour les cycles 2, 3 et 4*. Bulletin officiel spécial n°11 du 26 novembre 2015.
- Ministerio de Educación y Ciencia (2006). Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE). BOE, 106, 4 mayo 2006.
- Ministerio de Educación y Ciencia (2006). *Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria*. BOE, 293, 8 diciembre 2006.
- Ministerio de Educación y Ciencia (2007). *Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE, 5, 5 enero 2007.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2013). *Ley Orgánica 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE)*. BOE, 295, 10 diciembre 2013.

- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2014). *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria*. BOE, 52, 1 marzo 2014.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015). *Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato*. BOE, 25, 29 enero 2015.
- Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE, 3, 3 enero 2015.
- Moreira, M. A.; Greca, I. M. y Rodríguez Palmero, M.L. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2(3), 37-57.
- Moreno, L.; Zuñiga, K.; Cofré, H. y Merino, C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de la naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15 (3), 3105.
- Morrison, M. y Morgan, M. S. (1999). Models as mediating instruments. En Morgan, M. S. y Morrison, M. (Eds.). *Models as Mediators. Perspectives on Natural and Social Science* (pp. 10-37). Cambridge: Cambridge University Press.
- Nadelson, L. S. (2009). Preservice teacher understanding and vision of how to teach Biological Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 490-504. DOI: 10.1007/s12052-008-0106-z
- Nadelson, L.; Culp, R.; Bunn, S.; Burkhart, R.; Shetlar, R.; Nixon, K. y Waldron, J. (2009). Teaching Evolution concepts to early elementary school students. *Evolution: Education and Outreach*, 2, 458–473.
- National Research Council (NRC) (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K- 12 Science Education Standards. Board on Science

- Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: Nat. Ac. Press.
- Nehm, R. H. y Reilly, L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57, 263–272.
- Nehm, R. H. y Schonfeld, I. S. (2007). Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, 1131–1160.
- Nehm, R.H.; Rector, M. A. y Ha, M. (2010). “Force-Talk” in evolutionary explanation: metaphors and misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 3, 605–613.
- Nelson, C. E. (2012). Why don't undergraduates really “get” Evolution? What can Faculty do? En Rosengren, K. S.; Brem, S. K.; Evans, M. E. y Sinatra, G. M. (Eds.). *Evolution Challenges. Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution* (pp. 309-345). USA: Oxford University Press.
- Nelson, G. D. y Landell, C. C. (2007). A collaborative approach for elementary science. *Educational Leadership*, 64(4), 72-75.
- Nersessian, N. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories* (Dordrecht: Martinus Nijhoff).
- Nersessian, N. J. (2008). *Creating scientific concepts*. Cambridge, MA: MIT.
- Nersessian, N. J. (2013). Mental Modeling in Conceptual Change. En Vosniadou, S. (ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (2nd edition) (pp. 395-411). New York: Routledge.
- Nettle, D. (2010). Understanding of evolution may be improved by thinking about people. *Evolutionary Psychology*, 8, 205–228.
- NGSS Lead States. 2013. Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: The National Academies Press.
- Nilsson, P. (2008). Teaching for Understanding: The complex nature of pedagogical content knowledge in pre-service education. *International Journal of Science Education*, 30(10), 1281-1299. DOI: 10.1080/09500690802186993

- Norman, D. A. (1983). Some observations on Mental Models. En Gentner, D. y Stevens, A.L. (Eds.). *Mental Models* (pp.7-13). Hillsdale (New Jersey, USA): LEA.
- Oh, P.S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of Science need to know about models: An overview. *International Journal of Science Education*, 33(8), 1109-1130. DOI: 10.1080/09500693.2010.502191
- Oliva, J. M. (1999) Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 93-108.
- Oliva, J. M. (2014). La modelización en ciencias como estrategia de investigación y de intervención docente. Conferencia impartida en el Departamento de Didáctica de las Matemáticas, Ciencias Sociales y Ciencias Experimentales. Universidad de Málaga.
- Oliva, J. M., Aragón, M.M., Bonat, M. y Mateo, J. (2003). Un estudio sobre el papel de las analogías en la construcción del modelo cinético-molecular de la materia. *Enseñanza de las Ciencias*, 21 (3), 429-444.
- Oliva, J. M.; Aragón-Méndez, M.M.; Jiménez-Tenorio, N. y Aragón-Ñúñez, L. (2016). La modelización en ciencias como estrategia de investigación y de intervención docente. Curso Miriadax. Universidad de Cádiz.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2006). *Programa Internacional de Evaluación de Alumnos. PISA 2006. Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en Ciencia, Matemáticas y Lectura.* (Edición española). Obra publicada originalmente por la OCDE en inglés con el título *Assesing Scientific, Reading and Mathematical Literacy – A Framework for PISA 2006*. España: Santillana Educación S.L.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2013). *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework: Mathematics, Reading, Science, Problem Solving and Financial Literacy*. París (Francia): OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264190511-en>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2017). *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework Science, Reading, Mathematic,*

- Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. (Revised edition). París (Francia): OECD Publishing.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2018). OCDE PISA for Development Assessment and Analytical Framework. Reading, Mathematics and Science. París (Francia): OECD Publishing.
- Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2006). *Recomendación 2006/962/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 18 de diciembre de 2006 sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente*. Diario Oficial de la Unión Europea, L394/10-18. 30 diciembre 2006. <http://data.europa.eu/eli/reco/2006/962/oj>
- Consejo de la Unión Europea (2018). *Recomendación del Consejo, de 22 de mayo de 2018, relativa a las competencias clave para el aprendizaje permanente*. Diario Oficial de la Unión Europea, C189/01-13, 4 junio 2018.
- Pedrinaci, E. (2012). Idea Clave 1. El ejercicio de una ciudadanía responsable exige disponer de cierta competencia científica. En Pedrinaci, E. (coord.); Caamaño, A.; Cañal, P.; Pro, A. *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica* (pp. 15-37). Barcelona: Graó.
- Petto A. (2005). Why teach evolution? National Center for Science Education. Library Resource.
- 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, 486-511.
- Pobiner, B. (2016). Accepting, Understanding, Teaching, and Learning (Human) Evolution: Obstacles and Opportunities, *American Journal of Physical Anthropology*, 159 (S61), 232–274.
- Posner, G. J.; Strike, K. A.; Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211–227.
- Pozo, J. I. (1989). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.

- Pozo, J. I. y Gómez, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Prinou, L.; Halkia, L. y Skordoulis, C. (2005). Teachers attitudes, views and difficulties regarding the teaching of evolution. Proceedings of ESERA 2005 Conference: Contributions of Research to Enhancing Students' Interest in Learning Science, 28/8 – 1/9, Barcelona, 229–231.
- Prinou, L.; Halkia, L. y Skordoulis, C. (2008). What conceptions do Greek school students form about Biological Evolution? *Evolution: Education and Outreach*, 1, 312–317.
- Prinou, L.; Halkia, L. y Skordoulis, C. (2011). The Inability of Primary School to Introduce Children to the Theory of Biological Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 4, 275–285.
- Pro, A. (2003). La construcción del conocimiento científico y los contenidos de ciencias. En Jiménez-Aleixandre, M. P. (coord.), Caamaño, A.; Oñorbe, A.; Pedrinaci, E. y Pro, A. *Enseñar ciencias* (pp. 33-54). Barcelona: Graó.
- Pro, A. (2012). Idea clave 4. Los ciudadanos necesitan conocimientos de ciencias para dar respuestas a los problemas de su contexto. En Pedrinaci, E. (coord.); Caamaño, A.; Cañal, P.; Pro, A. *11 ideas clave. El desarrollo de la competencia científica* (pp. 83-104). Barcelona: Graó.
- Pro, A. y Miralles, P. (2009). El currículo de Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural en la Educación Primaria. *Educatio Siglo XXI*, 27 (1), 59-96.12.
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2009). ¿Qué considera el alumnado que son pruebas de la evolución? *Alambique*, 62, 43–50.
- Ramorogo, G. y Wood-Robinson, C. (1995). Batswana children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, 29, 60–71.
- Rapley, T. (2014). *Los análisis de conversación, de discurso y de documentos en investigación cualitativa*. Madrid: Morata.

- Rice, J. W.; Clough, M. P.; Olson, J. K.; Adams, D. C. y Colbert, J. T. (2015). University faculty and their knowledge & acceptance of biological evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 8, 8. DOI: 10.1186/s12052-015-0036-5
- Rivas, M. L. y González García, F. (2016). ¿Comprenden y aceptan los estudiantes la evolución? Un estudio en bachillerato y universidad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 248 – 263.
- Rivero García, A.; Martín del Pozo, R.; Solís Ramírez, E. y Porlán Ariza, R. (2017). *Didáctica de las ciencias experimentales en educación primaria*. Madrid: Editorial Síntesis.
- Rocard, M.; Csermely, P.; Jorde, D.; Lenzen, D.; Walberg, H. y Hemmo, V. (2007). *Science Education NOW: A renewed Pedagogy for the Future of Europe*. Bruselas: Directorate General for Research, Science, Economy and Society.
- Rodríguez Gómez, G., Gil Flores, J. & García Jiménez, E. (1996). *Metodología de la investigación cualitativa*. Málaga: Ediciones Aljibe.
- Roldán Muñoz, J. (2008). Una actividad colectiva e interactiva para comprender los conceptos más importantes de la teoría de la evolución biológica. *Alambique*, 58, 112–119.
- Rubia, G. de la y Hernández, J. L. (2010). Leyendo a Darwin. *Alambique*, 66, 118–124.
- Saldaña, J. (2009). *The coding manual for qualitative researchers*. London: SAGE.
- Salgado De Matos, M. y Silva, M. (2009). Concepções de evolução entre alunos de sétimo ano do ensino fundamental em uma escola brasileira, *Enseñanza de las Ciencias*, N° Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, 2524–2528.
- Sanders, M. y Ngxola, N. (2009). Addressing teachers' concerns about teaching evolution. *Journal of Biological Education*, 43(3), 121-128, DOI: 10.1080/00219266.2009.9656166
- Sanmartí, N. (2000). El diseño de Unidades Didácticas. En Perales, F. y Cañal, P. (Comps). *Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 239–266). Alcoy: Marfil.

- Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E.A.; Kenyon, L.; Achér, A.; Fortus, D.; Schwartz, 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. DOI: 10.1002/tea.20311
- Scott, E. C. y Branch, G. (2003). Evolution: What's wrong with "teaching the controversy?" *Trends in Ecology and Evolution*, 18(10), 499-502.
- Shtulman, A. y Schulz, L. (2008). The Relation between Essentialist Beliefs and Evolutionary Reasoning. *Cognitive Science*, 32, 1049-1062. DOI: 10.1080/03640210897864
- Shtulman, A.; Neal, C. y Lindquist, G. (2016). Children's ability to learn evolutionary explanations for Biological Adaptation. *Early Education and Development*, 27 (8), 1222–1236.
- Shulman, J. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15, 2, 4-14.
- Sickel, A. J. y Friedrichsen, P. (2013). Examining the evolution education literature with a focus on teachers: major findings, goals for teacher preparation, and directions for future research. *Evolution: Education and Outreach*, 6:23.
- Skolverket (Swedish National Agency for Education) (2011) *Curriculum for the compulsory school, preschool class and the recreation centre*. Based on the Ordinance on the Compulsory School System (SKOLFS 2010:37) and on the Provision on the Compulsory School System (SKOLFS 2011:19).
- Simons, H. (2011). *El estudio de caso: teoría y práctica*. Madrid: Morata.
- Sinatra, G. M.; Brem, S. K. y Evans, M. E. (2008). Changing Minds? Implications of Conceptual Change for Teaching and Learning about Biological Evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1, 189-195. DOI: 10.1007/s12052-008-0037-8



- Smith, M. U. (2010). Current Status of Research in Teaching and Learning Evolution: II. Pedagogical Issues. *Evolution: Education and Outreach*, 19, 539-571. DOI: 0.1007/s11191-009-9216-4
- Soler, M. (2009). 100 preguntas y respuestas sobre evolución. *Andalucía Innova*, Especial Evolución.
- Stake, R. E. (1998). *Investigación con estudio de casos*. Madrid: Morata.
- Stake, R. E. (2010). *Qualitative research: studying how things work*. New York (USA): Guildford Press.
- Suárez Ortega, M. (2005). *El grupo de discusión. Una herramienta para la investigación cualitativa*. Barcelona: Laertes.
- Taylor, S.J., y Bodgan, R. (1986). *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Buenos Aires: Paidós.
- Templeton, A. R. (2013). Biological races in humans. *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 44 (3), 262–271. DOI: 10.1016/j.shpsc.2013.04.010
- Thagard, P. y Findlay, S. (2010). Getting to Darwin: obstacles to accepting Evolution by Natural Selection. *Science & Education*, 19, 625–636.
- Töman, U.; Karataş, F. O. y Odabaşı, S. (2014). Analysis of the science and technology preservice teachers' opinions on teaching evolution and theory of evolution. *Journal of Educational and Instructional Studies in the World*, 4(1), 43-52.
- Toneatti, L. (2008): *Le concezioni sull'origine delle specie in bambini della scuola primaria*. Tesis doctoral. Padua. Università de Padova. Recuperado de (5 septiembre 2019): <<http://paduaresearch.cab.unipd.it/693/>>.
- Torreblanca, M.; De Longhi, A. L.; Merino, G. (2009). Las jirafas ya no son como antes. ¿Un mito de los libros de texto? *Alambique*, 62, 51–62.
- Understanding Evolution (2012). University of California Museum of Paleontology. Misconceptions about evolution. Recuperado de: [https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions\\_faq.php](https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/misconceptions_faq.php)

- Vázquez-Ben, L. y Bugallo-Rodríguez, Á. (2017). El modelo de evolución en educación primaria: desafíos identificados por expertas y expertos. *Enseñanza de las ciencias*, Núm. Extra, 4293-4298.
- Vázquez-Ben, L. y Bugallo-Rodríguez, Á. (2018). El modelo de evolución biológica en el *currículum* de Educación Primaria: Un análisis comparativo en distintos países. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3, 3101-3113.
- Verde Romera, A. M.; Caballero Caballero, I. y Pablos Miguel, M. (2017). La competencia científica en los textos escolares. Un estudio LOE-LOMCE. *Enseñanza de las Ciencias*, nº Extra, 1129-1134.
- Vosniadou, S. (1994) Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4 (1), 45-69.
- Vosniadou, S. (1999). Mental Models in Conceptual Development. En Magnani, L., Nersessian, N.J. y Thagard, P. (eds.). *Model-based Reasoning in Scientific Discovery* (pp. 353-368). Nueva York: Kluwer and Plenum Publishers.
- Vosniadou, S. (2013). Conceptual Change in Learning and Instruction: The Framework Theory Approach. En Vosniadou, S. (Ed.). *International Handbook of Research on Conceptual Change* (pp. 11-30). New York: Routledge.
- Weisberg, M. (2007). Who is a modeler. *British Journal for the Philosophy of Science*, 58, 207-233.
- Wiles, J.R. y Branch, G. (2008). Teachers Who Won't, Don't, or Can't Teach Evolution Properly: A Burning Issue. *The American Biology Teacher*, 70(1), 6-7.
- Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, 24, 29-47.
- Yates, T. B. y Marek, E. A. (2015). A study identifying biological evolution-related misconceptions held by Prebiology High School students. *Creative Education*, 6, 811-834.
- Yin, R. K. (1989). *Case study research. Design and Methods*. USA: Sage Publications.

- Zabel, J. y Gropengiesser, H. (2011). Learning progress in evolution theory: climbing a ladder or roaming a landscape? *Journal of Biological Evolution*, 45 (3), 143–149.
- Ziadie, M. A. y Andrews, T. C. (2018). Moving Evolution Education Forward: A Systematic Analysis of Literature to Identify Gaps in Collective Knowledge for Teaching. *CBE Life Sciences Education*, DOI:10.1187/cbe.17-08-0190.
- Zohar, A. y Ginossar, S. (1998). Lifting the taboo regarding teleology and anthropomorphism in biology education. Heretical Suggestions”. *Science Education*, 82, 679-697.

## ANEXOS

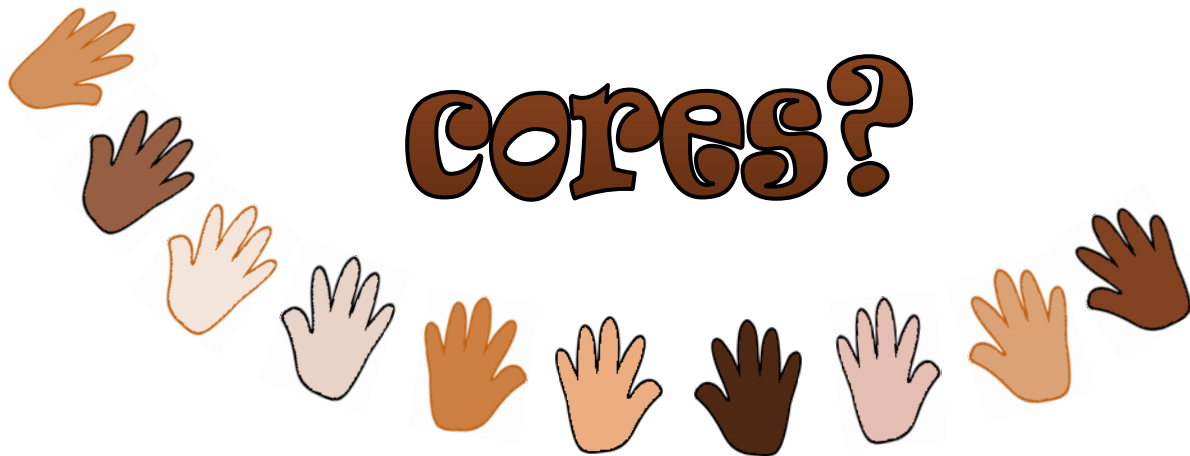
A. Borrador propuesta didáctica <i>Por que temos a pel de diferentes cores?</i> .....	293
A1. Previsualización.....	295
A2. Objetivos y contenidos trabajados.....	297
A3. Relación con el <i>curriculum</i> .....	298
A4. Actividades.....	303
A5. Recursos y materiales.....	311
A5.1. Proba de ideas previas: <i>Que sabemos?</i> .....	312
A5.2. Plantilla de trabajo <i>Mírame ben!</i> .....	315
A5.3. Plantilla de trabajo <i>Cun pouco de melanina</i> .....	316
A5.4. Plantilla de trabajo <i>Descrifrando a mensaxe</i> .....	318
A5.5. Plantilla de trabajo <i>Melanineando I. Fichas de función</i> .....	319
A5.6. Plantilla de trabajo <i>Melanineando II. Modelo de expresión de genes</i> . 322	
A5.7. Plantilla de trabajo <i>A+B=C?</i> .....	323
A5.8. Plantilla de trabajo <i>Un raio de sol, oh, oh, oh</i> .....	325
A5.9. Plantilla de trabajo <i>Bingo escaravello I. Cartas de eventos</i> .....	327
A5.10. Plantilla de trabajo <i>Bingo escaravello II. Recogida de datos</i> .....	328
A5.11. Plantilla de trabajo <i>Vitamina D, vitamina do Sol</i> .....	329
A5. 12. Plantilla de trabajo. <i>Actividad de aplicación</i> .....	330
B. Análisis del material del alumnado.....	333
B1. Alba.....	335
B2. Bruno.....	339
B3. Carlos.....	344
B4. Damián.....	349
B5. Enrique.....	353
B6. Fernando.....	357
B7. Gonzalo.....	361
B8. Hugo.....	367
B9. Javier.....	373
B10. Lorena.....	379
B11. Mónica.....	384
B12. Natalia.....	388

B13. Óscar.....	393
B14. Pedro.....	398
B15. Roberto.....	402
B16. Susana.....	406
B17. Tomás.....	411
B18. Uxía.....	413
B19. Verónica.....	416
B20. Xiana.....	420
B21. Yolanda.....	424
B22. Zeltia.....	428
C. Entrevista a la docente del grupo-clase .....	433
D. Transcripción Grupo de discusión entre profesorado de educación primaria y secundaria.....	437


# **ANEXO A**



**Por que  
temos a pel  
de diferentes  
cores?**



## ANEXO A1. PREVISUALIZACIÓN

Por que temos a pel de diferentes cores?		
<b>TEMPORALIZACIÓN</b>	<del>19 Febreiro – 2 marzo</del>	<b>9 abril – 3 mayo 2018</b>
<b>XUSTIFICACIÓN</b>		
<p>Aproveitando o Proxecto do centro sobre as cores, é interesante traballar sobre as diferentes cores de pel que poden darse nos seres humanos. En primeiro lugar, porque é unha realidade moi próxima aos nenos e nenas, e que, desafortunadamente, é a miúdo causa de discriminación. En segundo lugar, porque se trata dun elemento máis do noso corpo, que ten a súa orixe nunha adaptación evolutiva aos distintos medios nos que se foron asentando os nosos antepasados. Así, o seu tratamento na aula desde unha perspectiva evolutiva, contribuirá non só ao desenvolvemento de hábitos saudables en canto ao coidado da pel se refire, senón tamén, e sobre todo, a concibir a tonalidade da pel como unha característica máis das persoas, contribuíndo así a desbotar a idea de “razas” humanas, tan amplamente estendida, desde un punto de vista biolóxico, e que ás veces se esgrime como argumento para establecer xerarquías entre as persoas.</p>		
<b>CONCRECIÓN CURRICULAR</b>		
<b>Competencias clave</b>	<b>Obxectivos de etapa</b>	<b>Bloques de Contido</b>
CCL, CMCT, CAA, CSC, CSIEE	a,b,c,d,h,k,m	Bloques 1, 2 e 3
<b>Obxectivos de aprendizaxe</b>		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar algúns dos elementos, factores e procesos que interveñen na pigmentación da pel (melanina, información xenética, radiación solar...).</li> <li>2. Interpretar o papel que o fenómeno de adaptación e máis o mecanismo de selección natural xogan no proceso da evolución, tomando como exemplo a diversidade de pigmentación da pel humana.</li> <li>3. Desenvolver as súas habilidades de investigación a través do traballo por proxectos e uso de modelos: establecemento de hipóteses, realización de experiencias e experimentos, obtención e interpretación de resultados en distintos formatos de representación, argumentación e exposición de ideas, extracción e comunicación de conclusións.</li> <li>4. Recoñecer a cor de pel como unha característica máis das persoas, valorando a diversidade de tons que aparecen ao longo do mundo.</li> </ol>		
<b>Contidos</b>	B1.1, B1.3, B1.7, B1.8., B1.11, B1.13, B1.18, B2.1, B2.2, B2.7, B3.2, B3.3, B3.7	
<b>Relación con outras áreas</b>	<b>Elementos e valores transversais</b>	
Lingua Galega e a súa Literatura, Matemáticas, Ciencias Sociais	 Prevención do racismo e da xenofobia.	
<b>Plans e proxectos</b>	Proxecto de biblioteca	



<b>TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA</b>		
	<b>Actividades de ensinanza-aprendizaxe</b>	
S.1	Mírame ben! Cal é a túa? Cun pouco de melanina...	Motivación/Desenv.
S.2	Descrifrando a mensaxe. Melanineando. A+B=C?	Desenvolvemento
S.3	E ti...como te vés adaptando? Un raio de sol, oh, oh, oh...!	Desenvolvemento
S.4	Bingo escaravello. A vitamina do Sol	Desenv./Consolid
<b>Metodoloxía</b>		
Uso e construción de modelos científicos, indagación, argumentación e uso de probas. Participación activa do alumnado. Docente como guía.		
<b>Recursos</b>		
PPT, set de fotografías, bólas de hidroxel/bólas de papel seda, boles de plástico/botellas de plástico, papel, mapa hipotético da distribución mundial orixinal da pigmentación da pel de Nina Javlonksi; mapa mundial da incidencia da radiación UV de Nina Javlonksi; fichas; material de plástica e manualidades (folios, lapis de cores, cartolinas, velcro...).		
<b>Agrupamentos</b>		
Lectura individual, traballo en parellas e grupos de 3, 4 ou 5 persoas para levar a cabo diversas tarefas, como formulación de hipóteses, realización de experimentos e experiencias ou discusión en pequeno e grande grupo para establecer conclusións e completar o póster de aula.		
<b>VALORACIÓN DAS APRENDIZAXES</b>		
<b>Critérios de avaliación</b>	<b>Estándares de aprendizaxe</b>	
B1.1, B1.2, B1.3, B1.4, B2.1, B2.3, B3.1, B3.2, B3.3	CNB1.1.1., CNB1.1.2., CNB1.1.4.,CNB1.2.1., CNB1.3.1, CNB1.4.1, CNB1.4.2, CNB2.1.1,CNB3.1.1.,CNB3.2.1, CNB3.3.1, CNB3.3.5	
<b>Técnicas e Instrumentos</b>		
Proba inicial, observación sistemática, plnatillas e carpeta de traballo, actividade de aplicación.		

## ANEXO A2. OBXECTIVOS E CONTIDOS TRABALLADOS

Os obxectivos que se propón acadar con esta proposta didáctica son:

1. Identificar algúns dos elementos, factores e procesos que interveñen na pigmentación da pel (melanina, información xenética, radiación solar...).
2. Interpretar o papel que o fenómeno de adaptación e máis o mecanismo de selección natural xogan no proceso da evolución, tomando como exemplo a diversidade de pigmentación da pel humana.
3. Desenvolver as súas habilidades de investigación a través do traballo por proxectos e uso de modelos: establecemento de hipóteses, realización de experiencias e experimentos, obtención e interpretación de resultados en distintos formatos de representación, argumentación e exposición de ideas, extracción e comunicación de conclusións.
4. Recoñecer a cor de pel como unha característica máis das persoas, valorando a diversidade de tons que aparecen ao longo do mundo.

Os contidos, ou ideas clave, a desenvolver son:

1. Todos os seres vivos están adaptados ao medio no que viven, incluídos os seres humanos (cor da pel), aínda que a día de hoxe, o noso desenvolvemento científico-tecnolóxico e cultural nos permita sobrevivir a pesares das condicións do medio.
2. Para unhas condicións dadas, unhas características poden resultar unha vantaxe ou ben un prexuízo, ou ben non supoñer ningunha diferenza: mentres na África ecuatorial, a pel escura supuxo unha vantaxe pola protección que ofrecía fronte á intensa radiación solar, nas zonas intermedias e próximas aos polos supoñía un inconveniente pois impedía a síntese de suficiente vitamina D para manter un estado saudable; e viceversa.
3. Os seres vivos posúen material xenético (ADN), que contén as instrucións para garantir o bo funcionamento do corpo e, polo tanto, a supervivencia do individuo.
4. Os seres vivos producen descendencia. Esta descendencia comparte características cos seus proxenitores, pero non son exactamente iguais a estes (recombinación do ADN).
5. A selección natural é un mecanismo da evolución que fai que sobrevivan aqueles individuos que están mellor adaptados ao medio no que viven. Estes individuos conseguen transmitir as súas características á descendencia, de modo que, pasado o tempo e se as presións son as mesmas, esa característica en particular vólvese común dentro da poboación. Pola contra, aquelas características desfavorables tenden a desaparecer.
6. A ausencia de características adecuadas para sobrevivir nun medio, conduce á extinción.

## ANEXO A3. RELACIÓN CO CURRÍCULO

Atendendo ao *Decreto 105/2014, do 4 de setembro, polo que se establece o currículo da educación primaria na Comunidade Autónoma de Galicia*, a presente proposta didáctica contribúe ao desenvolvemento dos seguintes elementos curriculares:

### 3.1. Relación coas competencias de etapa

- ◆ **Competencia en Comunicación Lingüística (CCL):** contribúese ao desenvolvemento de diferentes habilidades de comunicación, tanto orais como escritas, a través do traballo con varios textos científicos, adaptados ao nivel do alumnado, que permitirán a adquisición de novo vocabulario de carácter máis específico; o seguimento de instrucións, a discusión en pequeno grupo para resolver as tarefas e máis a exposición de resultados durante as postas en común, para logo incluír as conclusións no póster de aula.
- ◆ **Competencia Matemática e competencias básicas en Ciencia e Tecnoloxía (CMCT):** esta competencia é a que se traballa de forma máis exhaustiva, dado que 1) a proposta se encadra na área de Ciencias da Natureza, 2) ten como eixe vertebrador a investigación de por que os seres humanos presentamos tonalidades de pel tan variadas desde un punto de vista biolóxico, e 3) pon en marcha un proceso de investigación seguindo métodos de estudo rigoroso, no que se inclúe a lectura de “artigos científicos” (adaptacións ao nivel), a formulación de hipóteses, a realización de experiencias e experimentos, a obtención e interpretación de resultados en diversos formatos, como a representación gráfica, e a elaboración e comunicación de conclusións co resto da comunidade científica (neste caso, a aula, a través das postas en común).
- ◆ **Competencia para Aprender a Aprender (CAA):** contribúese ao seu desenvolvemento a través das distintas tarefas que se van propoñendo ao alumnado, nas que irán tomando distintos roles, o que lles posibilitará coñecer as propias capacidades e limitacións, así como poñer en práctica diversas estratexias de traballo e aprendizaxe. Igualmente, deberán aprender a xestionar tempos e esforzos.
- ◆ **Competencias Sociais e Cívicas (CSC):** por un lado, estase a incidir nesta competencia a través das distintas modalidades de traballo en grupo (parellas, grupos de 3, 4 e ata 5 integrantes), ademais das postas en común, que esixen a intervención ordenada e respectuosa de cada un dos estudantes; polo outro, o propio tema que é obxecto de estudo ten unha forte compoñente social, aínda cando o esteamos a abordar desde un punto de vista biolóxico, dado que o racismo (aínda cando o termo “raza” non se sostén desde un punto biolóxico para a especie humana, que é precisamente unha das cuestións que se abordan) segue a ser un problema na nosa sociedade.

- ◆ **Competencia para o Sentido de Iniciativa e o Espírito Emprendedor (CSIEE):** como se trata dun proxecto de corte investigativo, procúrase dar protagonismo ao alumnado, que asume diferentes tarefas ao longo do mesmo, esixíndolle iniciativa persoal, planificación, toma de decisións e execución das accións estimadas oportunas.

### 3.2. Relación cos obxectivos de etapa

a) *“Coñecer e apreciar os valores e normas de convivencia, aprender a obrar de acordo con eles, prepararse para o exercicio da cidadanía activa e respectar os dereitos humanos, así como o pluralismo propio dunha sociedade democrática”*: en tanto que non só se incide en cumprir cos valores e normas de convivencia senón que ademais se aborda a diversidade da especie humana como un valor engadido que hai que protexer e respectar.

b) *“Desenvolver os hábitos de traballo individual e en equipo, de esforzo e responsabilidade no estudo, así como actitudes de confianza en si mesmo, iniciativa persoal, interese, curiosidade e creatividade na aprendizaxe, e espírito emprendedor”*: todas as tarefas propostas procuran espertar a curiosidade e interese do alumnado, mais tamén esixen da súa implicación e compromiso, da súa participación activa, tanto a nivel individual como en grupo (parellas, 3, 4 ou 5 integrantes e máis grande grupo).

c) *“Adquirir habilidades para a prevención e resolución pacífica de conflitos que lles permitan desenvolverse con autonomía no ámbito familiar e doméstico, así como nos outros grupos sociais cos que se relacionan”*: inevitablemente, o traballo en grupo xera conflitos, que terán que aprender a xestionar de forma pacífica.

d) *“Coñecer, comprender e respectar as diferentes culturas e as diferenzas entre as persoas, a igualdade de dereitos e oportunidades de homes e mulleres e a non discriminación con persoas con discapacidade nin por outros motivos”*: a presente proposta se enmarca no proxecto de centro que emana da biblioteca e ten por eixo as cores, de modo que nos últimos cursos da etapa, isto é, 5º e 6º, decidiuse centrar nas “razas” humanas; deste xeito, incídese no respecto ao outro independentemente da cor da súa pel, desbotando a idea de que existan as razas mesmas, nun sentido biolóxico, e que a miúdo se como escusa, ou conducen a actitudes e comportamentos de desprezo e maltrato cara a persoas pertencentes a outras áreas e grupos culturais.

e) *“Coñecer e utilizar de xeito apropiado a lingua galega e a lingua castelá, e desenvolver hábitos de lectura en ambas linguas”*: primeiramente, ao tratarse da área de Ciencias da Natureza, e de acordo coa disposición adicional primeira do Decreto 105/2014, antes mencionado, as clases serán conducidas en lingua galega; ademais, unha grande parte das actividades esixe do traballo con información e máis da comunicación cos compañeiros, todo o cal redunda na consecución deste obxectivo.

h) *“Coñecer aspectos fundamentais das Ciencias da Natureza, das Ciencias Sociais, da xeografía, da historia e da cultura, con especial atención aos relacionados e vinculados con Galicia”*: dado que traballamos numerosos contidos de bioloxía (órganos como a pel, que é a melanina e para que serve, como se consegue a pigmentación da pel, a existencia de información xenética, o papel da vitamina D no noso corpo, o desenvolvemento de hábitos saudables, a adaptación dos seres vivos ao contorno...) estamos a desenvolver a área de Ciencias da Natureza.

k) *“Valorar a hixiene persoal e a saúde, aceptar o propio corpo e o das demais persoas, respectar as diferenzas e utilizar a educación física e o deporte como medio para favorecer o desenvolvemento persoal e social”*: ao abordar cuestións como a necesidade de protexer a pel durante a exposición prolongada á radiación solar, e co propio tema central, que promove, ante todo, a valoración e o respecto pola diferenza.

m) *“Desenvolver as capacidades afectivas en todos os aspectos da súa personalidade e na súa relación coas demais persoas, así como unha actitude contraria á violencia, aos prexuízos de calquera tipo, aos estereotipos sexistas e á discriminación por razóns de diversidade afectividade sexual”*: novamente, ao abordar este tema, preténdese derrubar calquera tipo de prexuízo que teña a súa orixe na diversidade de cores da pel.

### 3.3. Relación cos contidos, criterios de avaliación e estándares de aprendizaxe da área de Ciencias da Natureza

A presente proposta didáctica garda estreita relación cos seguintes contidos, criterios de avaliación e estándares de aprendizaxe establecidos para 5º de Educación Primaria na área de Ciencias da Natureza:

BLOQUE 1: Iniciación á actividade científica		
CONTIDOS	CRIT. AVALIACIÓN	ESTÁNDARES APR.
B1.1. Iniciación á actividade científica  B1.3. Lectura de textos propios da área.	B1.1. Obter información relevante sobre feitos ou fenómenos previamente delimitados, facer predicións sobre sucesos naturais, integrar datos de observación directa e indirecta a partir da consulta de fontes directas e indirectas e comunicando os resultados en distintos soportes.	CNB1.1.1. Busca, selecciona e organiza información concreta e relevante, analízala, obtén conclusións, elabora informes e comunica os resultados en diferentes soportes.
		CNB1.1.2. Expresa oralmente e por escrito, de forma clara e ordenada contidos relacionados coa área manifestando a comprensión de textos orais e/ou escritos.
		CNB1.1.4. Manexa estratexias axeitadas para acceder á información dos textos de carácter científico.
B1.7. Aproximación experimental a cuestións científicas próximas á súa	B1.2. Establecer conxecturas tanto respecto de sucesos que ocorren dunha forma natural como sobre os que ocorren	CNB1.2.1. Manifesta autonomía na planificación e execución de accións e tarefas e ten iniciativa na toma de

realidade	cando se provocan a través dun experimento ou dunha experiencia.	decisións.
B1.8. Traballo individual e cooperativo.  B1.11. A relación cos demais. A resolución pacífica de conflitos.  B1.13. Desenvolvemento de hábitos de traballo, esforzo e responsabilidade. Técnicas de traballo. Recursos e técnicas de traballo individual.	B1.3. Traballar de forma cooperativa, apreciando o coidado pola seguridade propia e a dos seus compañeiros/as, coidando as ferramentas e facendo uso adecuado dos materiais.	CNB1.3.1. Utiliza estratexias para realizar traballos de forma individual e en equipo, amosando habilidades para a resolución pacífica de conflitos.
B1.18. Planificación e realización de proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións, formulando problemas, enunciando hipóteses, seleccionando o material necesario, montando, realizando e extraendo conclusións e presentando informes en diferentes soportes.	B1.4. Realizar proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións e presentar informes coas conclusións en diferentes soportes.	CNB1.4.1. Realiza proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións formulando problemas, enunciando hipóteses, seleccionando o material necesario, realizando, extraendo conclusións e comunicando os resultados.  CNB1.4.2. Presenta un informe, de forma oral ou escrita, empregando soportes variados, recollendo información de diferentes fontes (directas, libros, internet) cando traballa de forma individual ou en equipo na realización de proxectos, experiencias sinxelas e pequenas investigacións.
<b>BLOQUE 2: O SER HUMANO E A SAÚDE</b>		
B2.1. As funcións vitais no ser humano: recoñecemento da nutrición como unha función vital para os seres humanos. B2.2. Identificación dos aparellos relacionados con ela (aparellos respiratorios, dixestivo, circulatorio e excretor).	B2.1. Identificar e localizar os principais órganos implicados na realización das funcións vitais do corpo humano, establecendo algunhas relacións fundamentais entre eles.	CNB2.1.1. Identifica e localiza os principais órganos implicados na realización das funcións vitais do corpo humano.
B2.7. Hábitos saudables para previr enfermidades	B2.3. Relacionar determinadas prácticas de vida co adecuado funcionamento do corpo, adoptando estilos de vida saudables, coñecendo as repercusións para a saúde do seu modo de vida.	

BLOQUE 3: OS SERES VIVOS		
B3.2. Organización interna dos seres vivos e estrutura dos seres vivos: células, tecidos: tipos; órganos; aparellos e sistemas: principais características e funcións.	B3.1. Coñecer a estrutura dos seres vivos: células, tecidos, tipos, órganos, aparellos e sistemas. Identificar as principais características e funcións.	CNB3.1.1. Identifica e describe a estrutura dos seres vivos: células, tecidos, órganos, aparellos e sistemas, nomeando as principais características e funcións de cada un deles
B3.3. Os seres vivos: características, clasificación e tipos.	B3.2. Coñecer diferentes niveis de clasificación dos seres vivos, atendendo ás súas características e tipos.	CNB3.2.1. Clasifica aos seres vivos e nomea as principais características atendendo ao seu reino: Reino animal. Reino das plantas. Reino dos fungos e outros reinos empregando criterios científicos e medios tecnolóxicos.
B3.7. Características e compoñentes dun ecosistema.	B3.3. Investigar as características de ecosistemas do seu contorno mediante a recollida de datos, facendo hipóteses, empregando diversas fontes de información e presentando os resultados en diferentes soportes, mostrando interese pola rigorosidade e hábitos de respecto e coidado cara aos seres vivos.	CNB3.3.1. Coñece e explica, con rigorosidade, as principais características e compoñentes dun ecosistema.
		CNB3.3.5. Observa e rexistra algún proceso asociado á vida dos seres vivos, utiliza os instrumentos e os medios audiovisuais e tecnolóxicos apropiados e comunica de xeito oral e escrito os resultados.

### 3.4. Relación con outras áreas

Se ben a proposta didáctica se vai realizar no contexto da área de Ciencias da Natureza, algunhas das áreas ás que se está a contribuír son **Lingua Galega e a súa Literatura, Matemáticas**, polo traballo con porcentaxes, táboas e gráficas; e **Ciencias Sociais**, porque se alude ao período da Prehistoria, que xa teñen traballado, e máis ao fenómeno da radiación solar, intimamente relacionado co movemento de translación da Terra arredor do Sol e máis a inclinación do seu eixe de rotación.

### 3.5. Relación cos valores e elementos transversais

Dado que o tema en torno ao que xira a proposta é a variedade de cores da pel humana e o que se pretende fundamentalmente é comprender que se trata dunha adaptación ao medio, sobre a que actuou a selección natural, favorecendo o desenvolvemento dunha ou outra tonalidade en función das condicións ambientais ao seu arredor, estaremos a incidir moi directamente na prevención do racismo e da xenofobia, entre os valores apuntados polo Decreto 105/2014 no seu artigo 11. Así mesmo, estaremos contribuíndo a traballar a comprensión lectora, a expresión oral e escrita, o emprendemento e a educación cívica e constitucional, como elementos transversais.

## ANEXO A4. ACTIVIDADES

### SESIÓN 1

#### **Mírame ben**

Comezamos a sesión pedindo a nenos e nenas que se agrupen por parellas e se coloquen un fronte ao outro. Deixarémolles 1 minuto para que se fixen nas características do outro: a forma e a cor das cellas; o tamaño da fronte; o grosor e o tamaño dos beizos; a cor, o longo e máis a forma do pelo; se teñen ou non pico de viúva; a forma do queixo... Pasado ese minuto, pediranse voluntarios para dar algunha das características do seu compañeiro ou compañeira. O obxectivo desta primeira e rápida actividade, de 5 minutos de duración, é dobre: por unha banda, caer na conta do distintos e similares que podemos ser, aínda cando somos un grupo reducido de persoas; pola outra, dirixir a atención a moi distintas características e modalidades dentro destas, evitando que se centren unicamente nos elementos que acostuman ser máis rechamantes para todos nós, como a cor dos ollos, da pel ou do pelo.

#### **Cal é a túa cor?**

Seguindo con ese obxectivo, pero focalizando a atención na cor da pel e apoiándose nunha Presentación de Power Point (elaborada pola investigadora), a mestra falaralles da exposición *Humanae*® [explicación] e preguntaralles:

- Cal credes que é a intención da autora ao facer esta exposición?
- Que vos transmite a vós?
- Hai algo que vos chame a atención?

Con estas preguntas espérase que os estudantes sexan conscientes da grande variedade de tons de pel que hai no mundo, facendo inviable a súa clasificación en “brancos”, “negros”, “vermellos” e “amarelos”, como se tende a concibir as razas humanas, que é xustamente o que intenta reclamar a autora. Para insistir nesta idea e máis para que se dean de conta de que o ton de pel combínase indistintamente con todo tipo de trazos, iranse mostrando diferentes fotos, especificamente seleccionadas, nas que terán que identificar similitudes e diferenzas (por exemplo, mesma cor de pel, pero trazos completamente distintos (1a e 1b); cor de pel similar, pero trazos moi distintos (2); mesmos trazos, pero distinta cor de pel, en maior ou menor grao (3); trazos asociados a miúdo a unha “raza” presentes “noutra” e viceversa (4)...).

Trátase así de loitar contra estereotipos, ás veces moi estendidos e empregados de forma despectiva, como que “os chinos/negros... son todos (físicamente) iguais”, ata o punto de que non poden diferenciarse entre eles.

Dedicaremos a esta actividade 10 minutos.



## **Cun pouco de melanina...**

Discutida a grande variedade de tons de pel que existen, parece lóxico formular a pregunta que subxace precisamente á presente proposta didáctica: “Por que os seres humanos temos diferentes cores de pel?”, para o que será necesario comezar por saber que é o que lle dá cor á nosa pel, isto é, a melanina.

Pasamos, daquela, á última actividade desta sesión, que ocupará os 35 minutos restantes.

En primeiro lugar, a mestra fará unha pequena introdución sobre o que é a melanina, onde se atopa (células da pel, do pelo e dos ollos) e os tipos que hai (eumelanina, que dá os tons marrón-negro, e feomelanina, de cor vermella-amarela), incluíndo a posibilidade de non produci-la (albinismo), novamente apoiada na Presentación de Power Point inicial (10 minutos).

A continuación, distribuirase ao alumnado en pequenos grupos de traballo (o número de grupos e integrantes será o que resulte máis apropiado para o número de alumnos do grupo-aula) e entregaráselle a cada un un set composto por bolas de hidroxel/bolas de papel de seda das cores dos distintos tipos de melanina (incluíndo brancas, para representar aquelas células que, ben por erro, ben por mutación (albinismo) carecen de melanina), varios recipientes de plástico transparente, varias fotografías procedentes da exposición da que acabamos de falar e unha ficha de traballo.

A actividade consistirá en reproducir, mediante a acumulación de cada tipo de “melanina” (representada polas bólas de hidroxel/papel de seda), a tonalidade de pel de cada unha das persoas propostas. Na ficha de traballo disporán dunha táboa na que irán anotando cantas unidades dun tipo ou outro de “melanina” (ou “sen melanina”) van engadindo, de forma que ao final obteñan a concentración resultante de cada caso, expresándoa tamén en porcentaxe, para así poder comparar os resultados obtidos por cada unha dos grupos ao rematar. Disporán para facelo de 15 minutos.

Nos últimos 10 minutos de clase faremos posta en común e extraeremos as conclusións do que temos aprendido nesta sesión, as cales anotaremos no póster de clase dedicado a este proxecto (e que servirá como fío condutor de toda a proposta), e na ficha de traballo, que irá incorporada en cadanseu caderno de traballo (facilitado pola investigadora).

## **SESIÓN 2**

Na sesión anterior descubrimos a inmensa variedade de tons de pel que hai no mundo e máis cal é o elemento presente na nosa pel que produce semellante diversidade e como o fai. Agora centraremos a nosa atención en que é o que decide que

concentración dunha ou outra melanina, isto é, a información xenética presente nas nosas células, a cal se transmite de xeración en xeración a través da reprodución.

## **Descifrando a mensaxe**

Comezaremos a sesión poñendo novamente en situación ao alumnado para o traballo que haberemos de desenvolver despois. Neste caso, como imos traballar sobre o ADN, a actividade inicial consistirá en descifrar unha mensaxe encriptada: o ADN emprega o seu propio código de comunicación, que consiste en palabras formadas por un máximo de tres letras (tripleto) en un alfabeto integrado por tan só catro letras (A – Adenina; T – Timina; G – Guanina; C – Citosina); do mesmo xeito, esta mensaxe estará “cifrada”, como se dunha mensaxe secreta se tratara, mediante un alfabeto novo do que se dará a clave ao alumnado para que desvele o segredo.

Aproveitaremos esta breve mensaxe encriptada para repasar o aprendido na sesión anterior e formular a pregunta que guiará esta nova sesión. Resolverán a mensaxe por parellas, e unha vez teñan todos rematado, porémolo en común. Pediráselles ademais que dean algunha resposta tentativa (hipótese) á cuestión formulada: que cren que fai que cada persoa teña unha cor determinada e non outra?

Dedicaremos a esta actividade inicial 10 minutos.

## **Melanineando**

Unha vez resolto o noso enigma, e apoiada unha vez máis pola Presentación de Power Point, a mestra falaralles da existencia (se é que eles non o suxeriron entre as súas hipóteses) do ADN, os xenes e a información xenética, todos eles termos dos que seguramente o alumnado teña oído algunha vez. Explicarase entón que é o ADN, onde se localiza e o aspecto que ten.

Deseguido, e para comprender como funciona o ADN, reproduciremos o proceso que seguen os melanocitos (células produtoras de melanina) desde que len as instrucións contidas no material xenético (ADN), ata que se forma a melanina e é expulsada á epiderme.

Xa que logo, para adecualo ao nivel do alumnado, simplificaremos as fases e, seguindo a metáfora da linguaxe, converteremos a aula nunha fábrica de produción en cadea, onde cada compoñente terá un papel que cumprir: un terá que traducir a lingua do ADN (conformada por A, C, G, e T) á lingua do ARN (U, G, C, A); outro terá que ir separando as palabras, é dicir, dividindo a secuencia de 3 en 3 (tripletes); o seguinte terá que interpretar esa información coa axuda dunha chave (por exemplo: todos os tripletes que comecen por A=feomelanina; todos os tripletes que comecen por C=eumelanina); o cuarto terá que producir un tipo ou outro, ou ningún, segundo a información transmitida polo seu compañeiro; e o quinto terá que transportar a

melanina producida a cadanseu recipiente, tomando nota de canta de cada tipo foi engadindo, para poder obter máis tarde a concentración correspondente. Unha vez rematado, comprobaremos cal foi o ton que logrou cada grupo (a cada grupo se lle dará unha “ristra de ADN” (xenotipo) diferente para dar lugar a tons (fenotipo) visiblemente distintos).

A esta actividade dedicaremoslle 20 minutos.

### **A+B=C ?**

Agora que xa sabemos como funciona o ADN, chega o momento de falar do seu paso dunha xeración á seguinte, xa que unha das claves da evolución está na transmisión da información xenética de proxenitores a fillos: só os trazos que son herdables poden dar lugar ao cambio paulatino das poboacións, primeiro, e da especie no seu conxunto, máis tarde.

Daquela, nos seguintes 10 minutos de clase, probaremos a combinar as distintas ristas de ADN das que dispuxemos ao principio e das que xa coñecemos o seu resultado. Precisamente, como xa coñecemos o resultado de cada unha de antemán, comezaremos por pedir ao alumnado que faga hipóteses sobre que pasará ao combinar unhas e outras (será máis claro, máis escuro, intermedio...?): a idea é ver se son quen de pensar non só a nivel global (de tonalidades) senón tamén a un nivel inferior (de tripletes).

Volverán entón ás súas mesas, e por parellas, recombinarán dúas ristas de ADN para dar lugar a unha nova (dado que a información xenética non é acumulable, senón que ten unha extensión definida, cuestión que se terá abordado ao inicio da sesión cando se explique que é o ADN). A continuación, terán que dividila en tripletes e facer os cálculos para ver cal sería a concentración de melanina correspondente (por exemplo, se teñen 6 tripletes que comezan por A (=feomelanina) e 4 tripletes que comezan por C (=eumelanina), e 0 por G (=sen melanina), a concentración resultante será 60% feomelanina; 40% eumelanina). Disporán dunha táboa para anotar cada paso e así axudalos a que non se perdan.

Nos últimos 10 minutos da sesión, faremos unha posta en común, na que veremos que mesmas ristas de ADN, ao ser combinadas por distintas parellas de estudantes, deron lugar a diferentes concentracións, que á súa vez se expresarían en distintas tonalidades, máis ou menos semellantes, tal e como sucede entre irmáns e irmás. Así mesmo, recolleremos tanto no póster de aula como en cadanseu caderno de traballo a conclusión á que chegaron sobre do aprendido ese día en aula, tal e como fixemos na sesión anterior.

### **SESIÓN 3**

Xa temos resolto que é o que dá cor á nosa pel – a melanina –, así como que é o que determina, ata certo punto, como é esa cor – a información xenética. Agora ben, ten algunha función a melanina? Ou serve soamente para dar cor á pel?

Esa é a cuestión que nos ocupará nesta sesión.

Comezaremos, como nas outras sesións, por unha actividade de carácter lúdico e curta duración que prepare ao alumnado para o contido que imos desenvolver a continuación.

#### **E ti... como te vés adaptando?**

Durante os primeiros 10 minutos de sesión realizaremos este xogo, que consiste en que cada neno e nena da clase recibe unha carta, na que aparece ben un animal, ben un ecosistema, de forma que, ao sinal da mestra, terán que levantarse e encontrar a súa parella (por exemplo, a unha nena tócalle como animal o pingüín, polo que terá que buscar o compañeiro ou compañeira que teña a zona polar como ecosistema).

Concederáselles apenas medio minuto para facelo. Transcorrido ese tempo, a mestra irá preguntando respectivamente, parella a parella:

- *“Que característica che permite (ou non, no caso de que non lles dera tempo a emparellarse adecuadamente) vivir aí?”*
- *“Por que (animal) pode vivir (ou non, no caso de que non lles dera tempo a emparellarse adecuadamente) no teu ecosistema?”*

Levaranse a cabo dúas roldas, de forma que o alumnado que na primeira foi un ecosistema, teña un animal na segunda, e viceversa. Concluírase a actividade coa reflexión grupal sobre como os seres vivos están adaptados ao ecosistema no que viven, é dicir, posúen unha serie de características (cada un as súas) que resultan adecuadas para as condicións do medio no que habitan, de modo que, en caso contrario, non poderían sobrevivir nese ambiente.

#### **Un raio de sol, oh, oh, oh...!**

Coa idea de adaptación na cabeza, os alumnos distribuiranse novamente en grupos de 4-5 integrantes para traballar en equipo sobre distintas probas, as cales lles permitirán chegar á conclusión de 1) para que serve a melanina (protección contra a radiación solar) e 2) nas zonas de maior radiación solar, a pel escura, con maior cantidade de eumelanina, supón unha vantaxe sobre a pel clara, o que significa que estarán mellor adaptados e, polo tanto, será máis fácil que sobrevivan e teñan descendentes que, como vimos na sesión anterior, herdarán as súas características:

- En primeiro lugar, entregaremos a cada grupo un mapa hipotético da distribución mundial das distintas tonalidades de cor de pel, confeccionado pola antropóloga e paleobióloga Nina Jablonski e o xeógrafo George Chaplin (2009).

Este mapa foi elaborado a partir da análise das medicións de pigmentación feitas por antropólogos ao longo de todo o mundo, cruzados con datos medioambientais, como se explica en <https://www.youtube.com/watch?v=e6wyo2Y-vjQ>.

Primeiramente, pediráselles aos estudantes que tenten adiviñar que é o que se mostra no mapa (*como tería sido a distribución da cor de pel en tempos primitivos, hai miles e miles de anos, moitísimo antes do noso explosivo desenvolvemento tecnolóxico e cultural*). Seguidamente, por medio dunha ficha que oriente o proceso de observación e reflexión mediante a formulación de distintas preguntas acerca do mapa (*por exemplo: 1) “que diferentes tonalidades podes observar no mapa?”; 2) “O cambio de cor entre áreas é gradual ou brusco?”; 3) “Busca: a) tres lugares onde se pensa que vivían persoas coa pel moi escura; b) tres lugares onde se pensa que vivían persoas coa pel entre escura e clara; c) tres lugares onde se pensa que vivían persoas coa pel moi clara. d) Teñen algo en común eses lugares entre si? E diferente?”...*), os estudantes deberán establecer hipóteses sobre por que nunhas zonas se dan peles máis escuras (que teñen máis melanina, sobre todo moita eumelanina), mentres noutras, as peles son máis claras (é dicir, teñen menor concentración de melanina, e a súa meirande parte é feomelanina).

- En segundo lugar, entregámoslle ao alumnado o mapa de distribución da radiación solar a nivel mundial, elaborado, novamente, por George Chaplin e Nina Jablonski (2009), a partir de datos recompilados pola NASA.

De novo apoiados pola ficha de traballo, terán que analizar os datos que ofrece este mapa, sinalando que zonas do planeta son as que reciben máis (zonas ecuatoriais, así como zonas de moi elevada altitude) ou menos radiación solar (zonas próximas aos polos), para logo comparar un e outro mapa e decidir se pode existir relación entre un e outro fenómeno. Agárdase que cheguen á conclusión de que, en efecto, existe unha correlación: canto maior radiación solar recibe un lugar, máis escura teñen a pel os seus habitantes. E a pregunta inmediata é: por que?

- Para resolver esta nova cuestión entregáraselle ao alumnado a terceira das probas a analizar durante esta sesión, que consistirá nun brevísimo artigo científico (de apenas dous parágrafos, confeccionado especificamente pola propia investigadora para esta actividade, a partir de información cientificamente real e rigorosa, pero adaptada ao nivel do alumnado e ao propio propósito concreto da tarefa) no que se presentará un estudio levado a cabo por un grupo de investigadores da universidade X, no que comprobaron

que as persoas con maior cantidade de melanina sofren, en xeral, menos queimaduras e irritacións de pel tras a exposición solar continuada, concluíndo que a función da melanina é a de protexer a pel fronte a radiación solar.

Incluíranse ademais dúas gráficas, novamente adaptadas ao nivel dos estudantes, para que o alumnado practique tamén as súas habilidades de análise e interpretación de información en diferentes formatos de presentación. Unha das gráficas mostrará a porcentaxe de probabilidade de queimarse en función de diferentes concentracións de melanina; na outra verase a porcentaxe de radiación solar absorbida pola eumelanina e a feomelanina respectivamente, para comprender que non só importa a cantidade, senón tamén o tipo.

Pódese aproveitar ademais para facer fincapé en que, en contra do que se acostuma crer, as persoas con pel máis escura, aínda que máis “resistentes” á radiación solar, tamén se poden queimar, o que redonda no desenvolvemento de hábitos saudables entre os estudantes para o coidado da pel.

Como xa fixéramos coa primeira e segunda proba, esta nova peza de información deberá ser posta en relación con ambos mapas, para o que novamente, os exercicios e materiais propostos na ficha axudarán no desenvolvemento de argumentos: como a melanina serve para protexerse da radiación solar, unha elevada cantidade de melanina (sobre todo de eumelanina) as persoas de cor máis escura podían habitar aquelas zonas da Terra onde a radiación é máis forte (estaban mellor adaptados). Pola contra, as persoas coa pel máis clara non podían sobrevivir ao longo prazo baixo unha radiación tan intensa porque non dispoñían da melanina suficiente para protexerse (selección natural). Faráselles notar que hoxe podemos facelo porque contamos con protectores solares, pero hai miles de anos non era o caso.

Empregaremos nesta actividade 30 minutos en total, 10 para a análise de cada “proba”.

Para pechar a sesión, nos últimos 10 minutos de clase, como de costume, faremos unha posta en común na que, liderados pola mestra, porán de manifesto as conclusións ás que chegaron a partir das probas presentadas, para posteriormente anotalas no póster de aula.

#### **SESIÓN 4**

Na sesión anterior chegamos á conclusión de que as persoas de pel escura podían sobrevivir en zonas de elevada intensidade solar, mentres que as persoas de pel clara teríanlo difícil. Daquela, por que non ter todos a pel escura, tendo en conta que os nosos primeiros antepasados vivían en África ecuatorial? Esta será a cuestión que acabemos de resolver nesta última sesión da proposta didáctica.

## **O bingo escaravello**

Novamente, como xa fixemos nas sesións anteriores, empezaremos a clase cun breve xogo (10 minutos) que prepare ao alumnado para o posterior traballo. Neste caso, o concepto central será o de selección natural: entregaremos a cada parella de alumnos/as unha tarxeta, similar ás do Bingo, na que terán varios exemplares dun mesmo ser vivo na primeira liña. Cada exemplar poderá ter as mesmas ou outras características que os outros (cor, tamaño, forma das patas...). O ser vivo será o escaravello.

Partirán todos dunha poboación de 7 escaravellos, que será a súa primeira xeración, pero non todos terán a mesma poboación.

A mestra entón irá sacando tarxetas con instrucións, que lerá en alto, e que condicionarán a supervivencia duns ou outros exemplares (por exemplo, ao producirse unha seca, os escaravellos verdes son facilmente localizados e cazados polos paxaros). O alumnado irá tachando os escaravellos segundo corresponda.

No centro da mesa, ademais, colocaranse máis escaravellos nun bote, que terán que ir colocando nas seguintes liñas (cada liña representa unha xeración), para ver como vai cambiando a poboación inicial de escaravellos. Os ocios entre xeración e xeración serán ocupados por escaravellos do mesmos tipos que sobreviviron.

As tarxetas estarán feitas de cartolina e terán celdas con velcro que permitan encaixar uns ou outros escaravellos.

## **A vitamina do Sol**

Rematada a actividade inicial e enlazando coa conclusión da sesión anterior, proporáselle ao alumnado o problema que terán que resolver neste cuarta sesión: Se os primeiros Homos sapiens xurdiron en África e a eumelanina protexe mellor da radiación solar, por que hai tanta diversidade de tonos?

Para fomentar o diálogo proxectarase un mapamundi cos principais movementos migratorios do ser humano, desde a súa aparición en África oriental ata a ocupación de todos os continentes. Seguidamente, falaráselles brevemente da vitamina D e se lles presentarán estudos nos que se pon en evidencia a relación entre a pigmentación e a produción de vitamina D dependendo da intensidade de radiación da zona. Trátase de poñelos sobre a pista da necesidade de empregar a radiación UV como fonte de enerxía na produción de vitamina D e así recoñecer como dependendo da intensidade de radiación da zona, poderá verse favorecido uns tons ou outros.

Para comprobalo, facilitaráselles unha maqueta de célula con pezas de puzzle e reixas polas que “se colará” máis ou menos radiación UV en función do tipo de melanina

predominante. Deixaráselles uns 15 minutos para poder chegar a unha conclusión en base aos datos recabados. Transcorrido ese tempo, farase posta en común.

Destinaremos a esta actividade 30 minutos.

Novamente, nos últimos minutos da sesión completaremos o noso póster de aula, que reflectirá non só o proceso que fomos seguindo senón tamén o noso modelo explicativo sobre por que as persoas temos a ter de diferentes cores.

### **Actividade de aplicación: O caso dos esquimós**

Finalmente, proporáselle ao alumnado unha nova plantilla de traballo na que aplicarán o aprendido mediante varias cuestións, entre elas, o caso dos esquimós, quen presentan unha pigmentación escura pese a vivir en zonas de moi baixa radiación solar, pero que manteñen grazas á inxente cantidade de vitamina D que inxiren por medio da súa dieta, rica en pescado.

## **ANEXO A5. RECURSOS E MATERIAIS**

A continuación se recolle unha lista dos materiais que se van empregar durante a aplicación da presente proposta didáctica. Todos eles serán aportados pola investigadora:

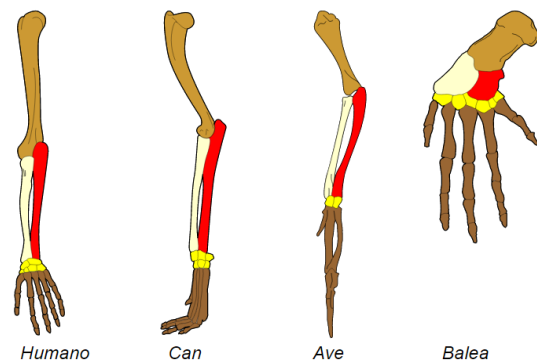
- Presentación de Power Point elaborada pola investigadora, que poderá incluír contido, fotos e vídeos, e servirá de apoio á docente durante todo o desenvolvemento da proposta
- Set de fotografías extraídas da exposición *Humanae*<sup>®</sup>
- Bólas de hidroxel de diferentes cores
- Mapa hipotético da distribución mundial orixinal da pigmentación da pel de Nina Javlonksi e mapa mundial da incidencia da radiación UV de Nina Javlonksi
- Plantillas de traballo e carpetas para cada alumno/a.

En canto a recursos humanos, se ben será a titora do grupo a que conduza a proposta, a investigadora estará presente en todas as sesións para asistir no que sexa necesario.



## ANEXO A5.1. Proba de ideas previas: *Que sabemos?*

1. Bótalle unha ollada á seguinte imaxe. Nela aparece representado o esqueleto da extremidade superior de diferentes seres vivos: (1) o brazo dun ser humano, (2) a pata dianteira dun can, (3) a á dun paxaro e (4) a aleta dunha balea.

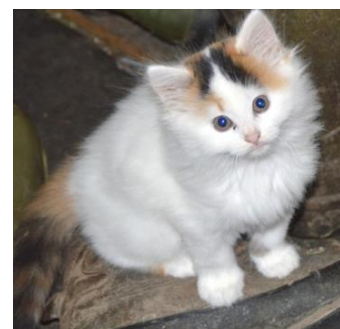
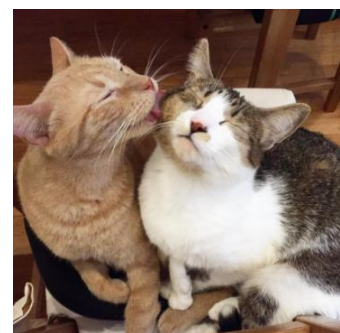


*Autor da imaxe: Волков Владислав Петрович. WIKIMEDIA COMMONS*

- Que teñen en común estes animais? Que teñen diferente?

- Cal crees que pode ser a razón de que, vivindo en ambientes tan diferentes, seu esqueleto sexa tan parecido?

2. Ana e Rafael teñen dous gatos: un macho chamado Trevo e unha femia chamada Lúa. Hai pouco tiveron crías, e pese a que tanto un como a outra teñen o pelo curto, un dos gatiños naceu co pelo longo. Como é posible?





3. A Raíña de Corazóns mandou que o xardín estivese cheo de rosas vermellas. Sen embargo, houbo un erro e as rosas que se plantaron son todas brancas.

Para evitar o enfado da raíña, Sete de Picas suxeriu pintalas todas vermellas e engadiu: "Así o ano que vén serán todas vermellas e non precisaremos comprar novas sementes, porque as sementes que saian destas roseiras xa darán rosas vermellas".

En cambio, Cinco de Picas non está moi seguro de que sexa esa a solución; pensa que de todas formas as sementes que dean esas rosas seguirán dando rosas brancas. Ti que opinas?

4. As persoas temos cores de pel moi diferentes: unhas teñen a pel máis escura, outras máis clara, outras máis rosada, outras máis café, outras máis alaranxada... Por que será que temos a pel de tantas cores diferentes?



5. Hai mil anos produciuse unha grande erupción volcánica no deserto de Valle de Fuego, en Nuevo México (Estados Unidos). Como resultado, as zonas que cubriua lava volvéronse escuras, mentres o resto do deserto conservou a cor de area:



Rochas  
de lava



Deserto

Neste deserto vive unha especie de rato chamado comunmente "Rato de peto do deserto" (o seu nome científico é *Chaetodipus intermedius*). Algúns destes ratos son de cor clara, pero outros son de cor escura:



hhmi | BioInteractive

**A que cres que se debe esta diferenza de cor?**



Os científicos e científicas que estudan estes ratos tamén descubriron que:

- Todos os ratos, claros e escuros, teñen a barriga de cor branca.
- Nese mesmo deserto viven moitos animais que se alimentan destes ratos: raposos, serpes, falcóns, curuxas...
- Antes da erupción volcánica, a maioría dos ratos eran de cor clara.
- Na actualidade, na zona de lava encóntranse moitos ratos de cor escura, pero poucos de cor clara. Pola contra, na zona do deserto segue a haber moitos máis ratos de cor clara que de cor escura.

**Tendo en conta todas estas probas, poderías explicar por que na zona de lava hai máis ratos de cor escura que clara, se ao principio a maioría dos ratos eran de cor clara?**

(Usa a parte de atrás desta folla para responder a esta pregunta e, se queres, podes incluír un esquema ou un debuxo para axudarte na explicación)

## ANEXO A5.2. Plantilla de trabajo *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara	...	...
Tamaño					
Cor					
Forma					
...					
...					

### ANEXO A5.3. Plantilla de trabajo *Cun pouco de melanina*

<b><u>FICHA 1: CUN POUCO DE MELANINA...</u></b>	<b>Data:</b>
<b>Nome:</b>	<b>Curso:</b>
<b>Algunhas preguntas antes de comezar...</b>	
<p>Cando os científicos e científicas investigan, fan predicións (chamadas hipóteses) sobre o que cren que vai acontecer e logo comparten os resultados que obtiveron con esas primeiras ideas. Sen embargo, esas predicións non as fan por facer, senón que se fan tendo en conta os coñecementos que xa posúen.</p> <p>Agora imos facer nós o mesmo: tendo en conta o que acabamos de explicar en clase sobre a melanina, cales son as vosas hipóteses? Aquí tedes algunhas preguntas para axudarvos.</p>	
<p>Bota unha ollada ás 5 persoas que aparecen no encerado.</p> <p>Cal cres que será a persoa que teña...</p> <p>a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?</p> <p>b) Máis eumelanina? E menos? Por que?</p> <p>c) Máis feomelanina? E menos? Por que?</p>	

<b><u>FICHA 1: CUN POUCO DE MELANINA...</u></b>				<b>Data:</b>
<b>Nome:</b>				<b>Curso:</b>
<b>FOTO</b>	<b>EUMELANINA</b>	<b>FEOMELANINA</b>	<b>SEN MELANINA</b>	<b>TOTAL</b>
1				
2				
3				
4				
5				

ANEXO A5.4. Plantilla de traballo *Descifrando a mensaxe*

Nome:

Data:

**DESCIFRANDO A MENSAXE**

Oh, non! Alguén cambiou todas as vogais da mensaxe na que ven a nosa seguinte pregunta e agora xa non podemos lela! Seredes quen de resolvela coa axuda da clave?

C\*d\* p\*rsΔ\* t\*n .n tΔn d\* p\_l d\*f\*r\*nt\*.  
\*s\* tΔn\*|\*d\*d\* d\*p\*nd\* d\* c\*nt\*d\*d\* \* dΔ t\*pΔ  
d\* m\*|\*n\*n\* qu\* pΔs . \*.  
H\*\* dΔ . s t\*pΔs d\* m\*|\*n\*n\*: \* \* . m\*|\*n\*n\*, qu\* \*  
d\* cΔr m\*\*s \*sc . r\*; \* \* f\*Δm\*|\*n\*n\*, d\* cΔr  
m\*\*s cl\*r\*.  
\*s p\*rsΔ\*s q . \* p\*d\*c\*n \*|b\*n\*smΔ c\*r\*c\*n d\*  
m\*|\*n\*n\*.  
P\*rΔ q . \* \* Δ q . \* d\*t\*rm\*n\* qu\*t\*ñ\*mΔs m\*\*s  
d . nh\* Δ . dΔ . tr\*?

**Clave:** a = \* e = ❖ i = \* o = Δ u = .

C \_ d \_ p \_ rs \_ \_ t \_ n \_ n t \_ n d \_ p \_ l d \_ f \_ r \_ nt \_ .  
\_ s \_ t \_ n \_ | \_ d \_ d \_ d \_ p \_ nd \_ d \_ c \_ nt \_ d \_ d \_ \_ d \_  
t \_ p \_ d \_ m \_ | \_ n \_ n \_ q \_ \_ p \_ s \_ \_ .  
H \_ \_ d \_ \_ s t \_ p \_ s d \_ m \_ | \_ n \_ n :  
\_ \_ \_ m \_ | \_ n \_ n , q \_ \_ \_ d \_ c \_ r m \_ \_ s \_ sc \_ r \_ ;  
\_ \_ f \_ \_ m \_ | \_ n \_ n , d \_ c \_ r m \_ \_ s cl \_ r \_ . \_ s  
p \_ rs \_ \_ s q \_ \_ \_ p \_ d \_ c \_ n \_ | b \_ n \_ sm \_ c \_ r \_ c \_ n  
d \_ m \_ | \_ n \_ n .  
P \_ r \_ q \_ \_ \_ \_ q \_ \_ d \_ t \_ rm \_ n \_ q \_ \_ t \_  
ñ \_ m \_ s m \_ \_ s d \_ nh \_ \_ \_ d \_ \_ tr \_ ?

## ANEXO A5.5. Plantilla de trabajo *Melanineando* I. Fichas de función

Nome:												
<b>1. TRANSCRITOR DE ADN</b>												
<p>Benvid@ ao núcleo do melanocito!</p> <p>A túa misión será transcribir o ADN a ARNmensaxeiro para que a célula nos poda entender! E dirás ti, que é "transcribir"? Pois "transcribir" significa facer unha copia. Pero ollo! Non é unha copia calquera. É unha copia "en espello", é dicir:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Por cada A que atopes, terás que poñer unha U.</li> <li>2. Por cada T que atopes, terás que poñer unha A.</li> <li>3. Por cada C que atopes, terás que poñer unha G.</li> <li>4. Por cada G que atopes, terás que poñer unha C.</li> </ol> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr><td>A</td><td>→</td><td>U</td></tr> <tr><td>T</td><td>→</td><td>A</td></tr> <tr><td>C</td><td>→</td><td>G</td></tr> <tr><td>G</td><td>→</td><td>C</td></tr> </table> </div> <p>Esta copia chámase ARNmensaxeiro, precisamente porque leva a mensaxe para a célula. Preparad@? Colle as dúas tiras de cartolina (unha co ADN xa escrito, a outra en branco) e mans á obra!! ☺</p>	A	→	U	T	→	A	C	→	G	G	→	C
A	→	U										
T	→	A										
C	→	G										
G	→	C										

Nome:
<b>2. CORTADOR DE ARNm</b>
<p>Benvid@ ao ribosoma do melanocito!</p> <p>A túa misión será darlle sentido ao ARNmensaxeiro que se acaba de fabricar no núcleo! Como ves, está feito só de letras. Ti terás que formar as palabras!</p> <p>Como? Recordas que as palabras do ADN estaban formadas por 3 letras? Pois terás que ir agrupando esas letras de 3 en 3 para formar os tripletes.</p> <p><b>Olo!</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tes que comezar a formar os tripletes a partir da primeira U que atopes. Cando a encontres, comeza a contar de 3 en 3 e vai recortando cada triplete de ARNm.</li> <li>- Cando atopes un novo triplete que comece por U, será o momento de parar. ☺</li> </ul> <p>Por exemplo:</p> <div style="text-align: center;"> <p style="text-align: center;">A G A U C G A G G C C A C G A A U G U G A</p> <p style="text-align: center;">Comeza a contar!!      Para de cortar</p> </div>



Nome:

### 3. TRADUTOR DE TRIPLETES DE ARNm

Benvi@ ao ribosoma do melanocito!

A túa misión será traducir os tripletes que se acaban de formar.

Cada triplete ten un significado diferente segundo a letra pola que comece:

1. Se o triplete comeza por A, hai que engadir EUMELANINA.
2. Se o triplete comeza por G, hai que engadir FEOMELANINA.
3. Se o triplete comeza por C, hai que engadir SEN MELANINA.
4. Se o triplete comeza por U, non se fai nada (deixa a un lado o triplete).

En resumo:

Número de tripletes de cada tipo

A	→	EUMELANINA	
G	→	FEOMELANINA	
C	→	SEN MELANINA	
U	→	-----	

Vete ditándolle ás instrucións ao teu compañeir@ para que vaia fabricando a melanina.

Non esquezas anotar ao lado cantos tripletes de cada tipo traduciches! ☺

Nome:

### 4. FABRICANTE DA MELANINA

Benvi@ ao melanosoma do melanocito!

A túa misión será cumprir as instrucións que veñan dos tripletes e fabricar o tipo de melanina apropiado, isto é, EUMELANINA, ou FEOMELANINA ou SEN MELANINA. Daquela:

1. Cada vez que che digan EUMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas ESCURAS.
2. Cada vez que che digan FEOMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas CLARAS.
3. Cada vez que che digan SEN MELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas SEN COR.

Non esquezas anotar aquí o número de veces que fabricas cada tipo para levar ben as contas!☺

Eumelanina	Feomelanina	Sen melanina

Nome:

#### 5. TRANSPORTADOR DOS MELANOSOMAS

Benvid@ ás dendritas do melanocito!

A túa misión será transportar os melanosomas (boliñas) cara os queratinocitos (vaso grande). Daquela, cada vez que teu compañeir@ colla boliñas e as meta no vaso transportador, tocarache levalo cara os queratinocitos colocados ao fondo da aula.

**Olo!!** Fíxate ben en meter os melanosomas na pel que che corresponda! E acórdate de revolver de cando en vez os melanosomas para asegurar que quedan repartidos! ☺

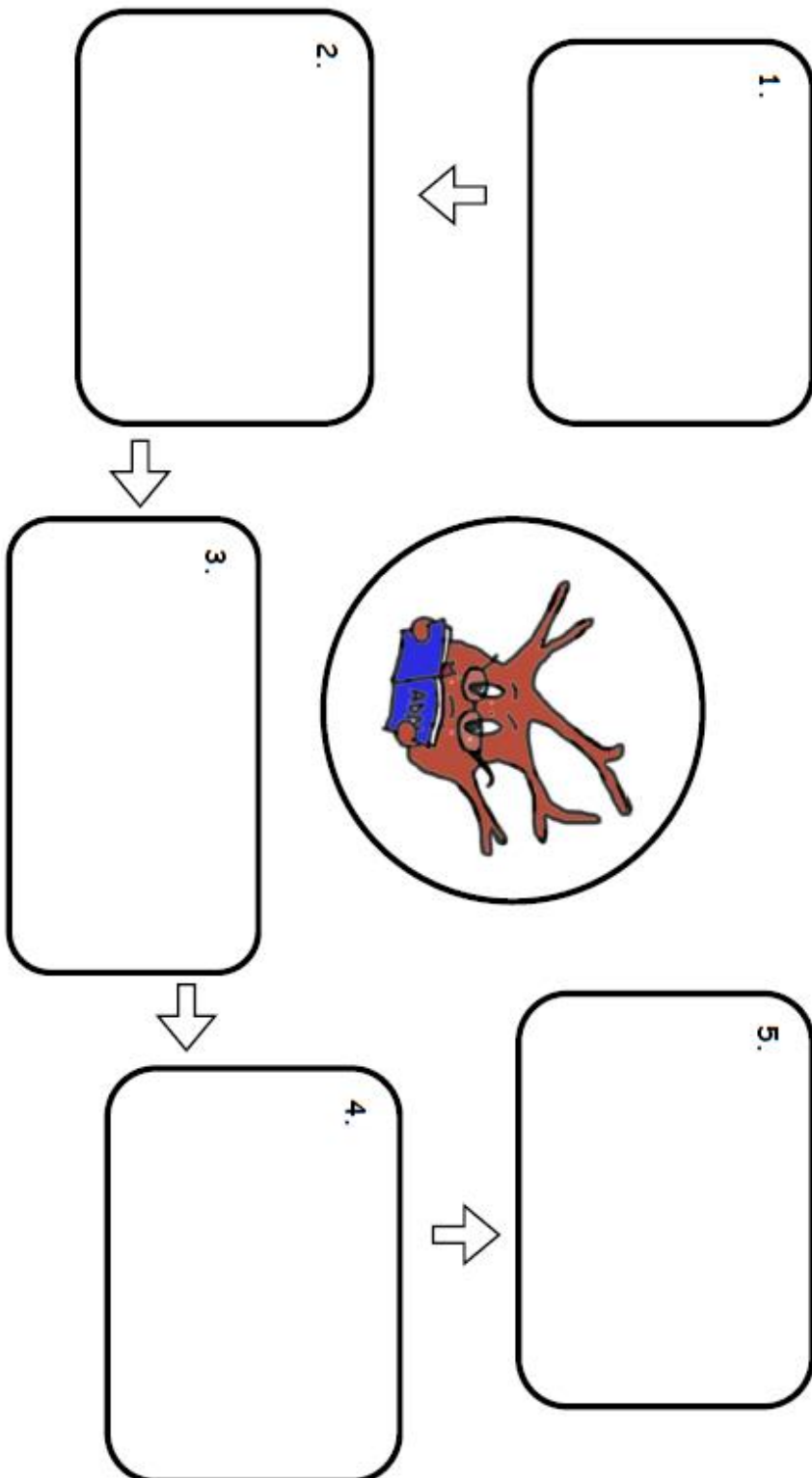
ANEXO A5.6. Plantilla de trabajo *Melanineando* II. Modelo de expresión de genes

**FICHA 2: MELANINEANDO**

**Nome:**

**Data:**

**Cales son os pasos para producir melanina?**



ANEXO A5.7. Plantilla de trabajo  $A+B=C?$

**FICHA 3: A + B = C ?**

Data:

Nome:

Curso:

1. a) Escollede dúas tiras de ADN e anotádeas a continuación:

Tira 1      Cor:  
              Bases:

Tira 2      Cor:  
              Bases:

b) Agora recortádeas en tripletes (de 3 en 3 letras) e collede ao azar 5 tripletes de cada tira.

Esta será a información xenética que cada proxenitor transmitirá á súa descendencia. Que tripletes collestes?

Tira 1      Tripletes:  
              \_\_\_\_\_

Tira 2      Tripletes:  
              \_\_\_\_\_

3. Como recordarás, o melanocito non emprega o mesmo idioma que o ADN. Cal sería entón o equivalente destes tripletes de ADN en ARNm?

Recorda que se transcribe en "espello":

A	→	U
T	→	A
C	→	G
G	→	C

**Tira 1** Tripletas en ARNm: \_\_\_\_\_

**Tira 2** Tripletas en ARNm: \_\_\_\_\_

4. Tendo en conta o seguinte cadro de instrucións:

A	→	EUMELANINA
G	→	FEOMELANINA
C	→	SEN MELANINA
U	→	INICIO/STOP

Cantos dos vosos novos tripletas producirían...

- a) Eumelanina →
- b) Feomelanina →
- c) Sen melanina →

5. Que tonalidade obteríades?

6. Comparade o voso resultado cos vosos compañeiros e compañeiras.

a) Buscade a alguén que obtivo un resultado parecido ao voso. Empregaron as mesmas tiras de ADN ca vós? Por que credes que conseguiron un resultado similar?

b) Buscade a alguén que usou as mesmas tiras de ADN (mesmas cores) ca vós. Obtivo o mesmo resultado ca vós? Por que?

**FICHA 4: UN RAI0 DE SOL, OH OH OH...**

Data:

Nome:

Curso:

**MAPA 1**

**1. Que diferentes tons de pel podedes observar no mapa?**

**2. Os tons cambian pouco a pouco dunhas zonas a outras ou cambian bruscamente? Por que será?**

**3. Marcade no mapa:**

- a) 3 lugares onde se pensa que vivían persoas de pel moi escura.
- b) 3 lugares onde se pensa que vivían persoas de pel entre escura e clara.
- c) 3 lugares onde se pensa que vivían persoas de pel moi clara.

**4. Se miramos o mapa e comparamos unhas zonas con outras...**

- a) Que teñen en común os 3 lugares onde vivían persoas de pel moi escura?
- b) Que diferenza hai entre eses 3 lugares e os lugares onde se cre que vivían persoas de pel clara?

**5. Tendo en conta estas semellanzas e diferenzas, cal pode ser a razón de que nunhas zonas as persoas tiveran a pel máis escura que noutras?**

## MAPA 2

1. Cada cor do mapa representa unha forza de radiación UV diferente.

a) Onde é máis forte a radiación solar? É máis suave? Por que?

b) Cantas intensidades diferentes (número de cores) hai?

2. O cambio de intensidade de radiación UV entre as distintas áreas do planeta... É gradual ou brusco?

3. Buscade no mapa de radiación UV os lugares que marcastes no mapa da cor da pel humana. Que observades?

Nome:

Data:

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

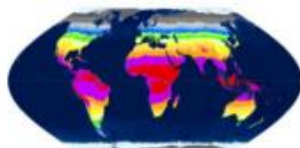
---

---

---

---

---



## ANEXO A5.9. Plantilla de trabajo *Bingo escaravello* I. Cartas de eventos

### **PATAS: PELOSAS**

As inundacións do pasado outono deixaron o bosque medio asolagado, o que fai difícil desprazarse dun lado a outro aos nosos escaravellos.

Sen embargo, aqueles escaravellos que teñen peliños nas patas son quen de moverse tamén na auga, mentres que os que non teñen estes peliños morren facilmente afogados ao caer nas pozas.

### **COR: AMARELA**

Tras un longo período de seca, a zona na que viven os nosos escaravellos volveuse moi árida.

Como consecuencia, os escaravellos verdes son facilmente capturados polos depredadores.

Pola contra, os escaravellos de cor amarela conseguen camuflarse facilmente e sobrevivir.

### **ANTENAS: RIZADAS**

Os nosos escaravellos aliméntanse dunha planta en particular, que localizan grazas ao olor que esta desprende.

Sen embargo, esta primavera o bosque ten unha sobreabundancia de flores, enchendo o aire de centos de aromas e facendo moi complicada a tarefa dos nosos escaravellos.

Por esta razón, só logran sobrevivir os escaravellos de antenas rizadas, pois teñen un olfacto máis fino.

### **MANDÍBULAS: FORTES**

Esta primavera unha praga acabou cunha grande parte da planta da que se alimentan os nosos escaravellos. Agora ben, os escaravellos de fortes mandíbulas conseguen sobrevivir grazas a que coas súas mandíbulas poden alimentarse doutras plantas. Pola contra, os escaravellos de mandíbulas curtas morren.

### **COR: VERDE**

Coa chegada do verán e a subida das temperaturas, o bosque ten un elevado grao de humidade que contribúe a manter o seu verdor.

































































Xa que logo, os escaravellos de cor verde pasan completamente desapercibidos para os depredadores; non así os escaravellos de cor amarela, que son cazados facilmente.

### **PATAS: PELOSAS**

As altas temperaturas polo día e as baixas temperaturas da noite favorecen a aqueles escaravellos dotados de máis pelos nas súas patas, pois sérvenlles para regular mellor a súa temperatura corporal (nin demasiado fría nin demasiado quente).



ANEXO A5.10. Plantilla de trabajo *Bingo escaravello* II. Recogida de datos

1ª XERACIÓN							
							
							
2ª XERACIÓN							
							
							
3ª XERACIÓN							
							
							
4ª XERACIÓN							
							
							

## ANEXO A5.11. Plantilla de trabajo *Vitamina D, vitamina do Sol*

### **FICHA 5: A VITAMINA D, A VITAMINA DO SOL**

1. Preparada a nosa maqueta, colocamos a capa de melanina que corresponda (Ton escuro = eumelanina, Ton intermedio = eumelanina + feomelanina, e Ton claro = feomelanina) e botamos a radiación UV.

Canta radiación UV (pezas de cor lila) consegue pasar en cada caso?

	TON ESCURO (Eumelanina)	TON INTERMEDIO (Eumel. + Feomel.)	TON CLARO (Feomelanina)
UV			

2. Coa radiación UV que consegue pasar a través da pel podemos romper a unión da PRE-VITAMINA D e formar Vitamina D. Canta vitamina D podedes formar en cada caso (eumelanina, feomelanina, eumelanina + feomelanina)

	TON ESCURO (Eumelanina)	TON INTERMEDIO (Eumelanina + Feomelanina)	TON CLARO (Feomelanina)
VIT D			

3. Á vista dos resultados, cal pode ser a razón de que os nosos antepasados evolucionaran cara tons de pel máis claros a medida que ían habitando zonas cada vez máis afastadas do Ecuador?

Como se foi producindo este cambio?

## ANEXO A5. 12. Plantilla de trabajo. Actividad de aplicación

### **POÑEMOS A PROBA OS NOSOS COÑECEMENTOS!**

**Data:**

**Nome:**

**Curso:**

1. Hai uns meses, Romina mudouse cos seus pais a vivir en Alemaña por mor do traballo da súa nai, que é enxeñeira.

Na última revisión médica, o pediatra recomendoulle que tomara máis peixe azul, porque os seus ósos están moi débiles. Que lle pasa a Romina? Por que?



Por que non lle pasaba isto cando vivía no sur da India?

2. O pasado verán, Sakura, que vive en Xapón, foi pasar un mes cos seus tíos, que viven en Kenia. A pesar de que seu pai lle insistira en que puxera protección solar todos os días, Sakura non fixo caso e acabou queimándose. En cambio, seu curmán Muruthi non se queimou nin unha soa vez. Poderías explicarlle a Sakura por que razón ela se queimou pero o seu curmán non?



3. Ao principio da unidade vimos que as persoas temos tons de pel moi diferentes (máis escura, máis clara, máis rosada, máis café, máis alaranxada...). Tendo en conta todo o que traballamos na clase, cal é a razón destas diferenzas no ton de pel entre unhas persoas e outras?

Podes axudarte dun debuxo ou esquema se o precisas.



4. Xa para rematar... Un pouco de reflexión...

Tendo en conta todo o que aprendiches ao longo destas sesións... Como explicas que os esquimós, que viven no Polo Norte, conserven a pel escura dos nosos antepasados?

*Unha pequena pista: a dieta dos esquimós é moi, moi rica en peixe azul...*

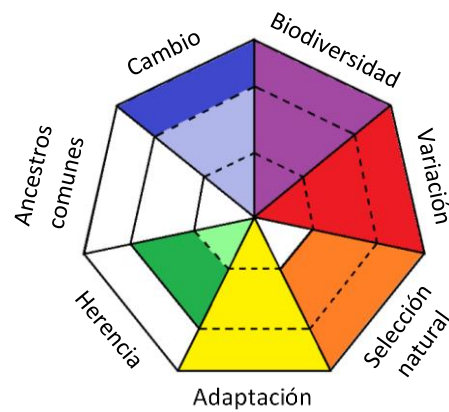
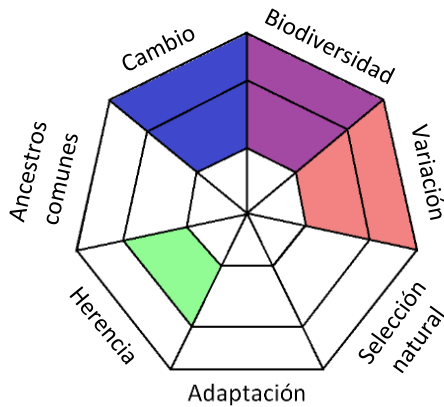




# **ANEXO B**



## ANEXO B1. ALBA



### Preconcepciones

1. a) De común teñen todos as extremidades e son seres vivos De diferente que viven todos en lugares diferentes.
1. b) -----
2. -----
3. Van a dar rosas branca, porque aunque as pinten a semente vai ser do mesmo cor. A semente non vai cambiar.
4. -----
5. a) Porque a erupción volcánica pudo perxudicar na forma e cor do rato.
5. b) Porque cando a lava tocou cós ratos pudo afectar o seu cor ou forma. E os de cor branca o non tocar coa lava seguen igual.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Grande	Corto	Normal
Cor	Morron	Morron Clarito	Morenito
Forma	Alargada	diro	Alargada

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Diapositiva nº 4:

**Óscar:** *La chica rubia en realidad tiene el pelo oscuro, que se le nota la raíz.*

**Lorena:** *Sí... Entonces todos tienen el pelo oscuro.*

**Alba:** *Aunque el segundo tiene canas en la barba. Y tiene el pelo rizo. Los demás lo tienen liso.*

Diapositiva nº 7:

**Alba:** *El color de piel es diferente otra vez. La de la derecha tiene la piel más naranja.*

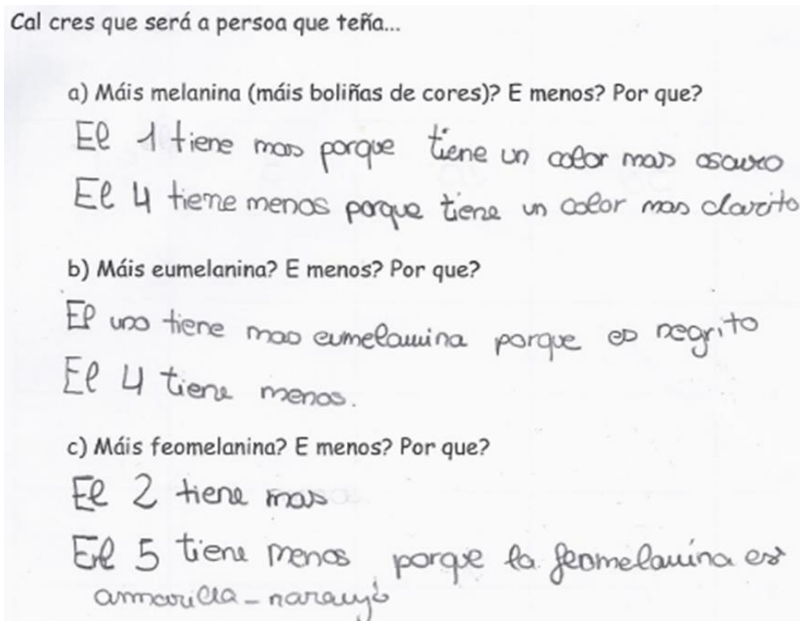
**Carlos:** *Y lleva flequillo y el pelo largo.*

**Enrique:** *La otra tiene el pelo oscuro... y corto... y una frente muy grande.*

**Óscar:** *Las dos tienen los ojos rasgados.*



## Actividad *Cun pouco de melanina*



## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo rojo) con la de su compañera (grupo amarillo):



- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ :

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.

**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** El nuestro también salió de piel muy oscura.

**Alba:** Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.

**Óscar:** Quizás es por un familiar lejano.

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** Amarillo.

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

### Sesión 3








#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

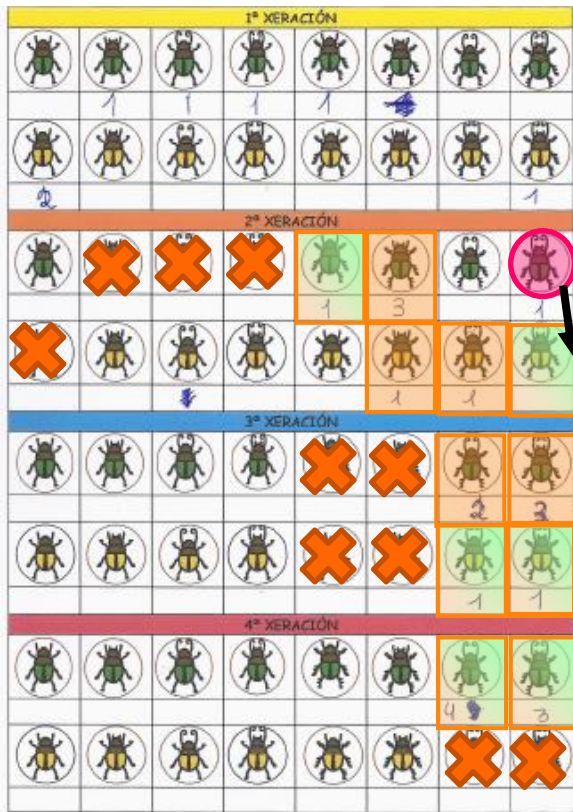
Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque a xente que vive máis cerca do ecuador recibe máis forte a sol a pel.

### Sesión 4

#### **Actividad *Bingo escaravello***

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



### **POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

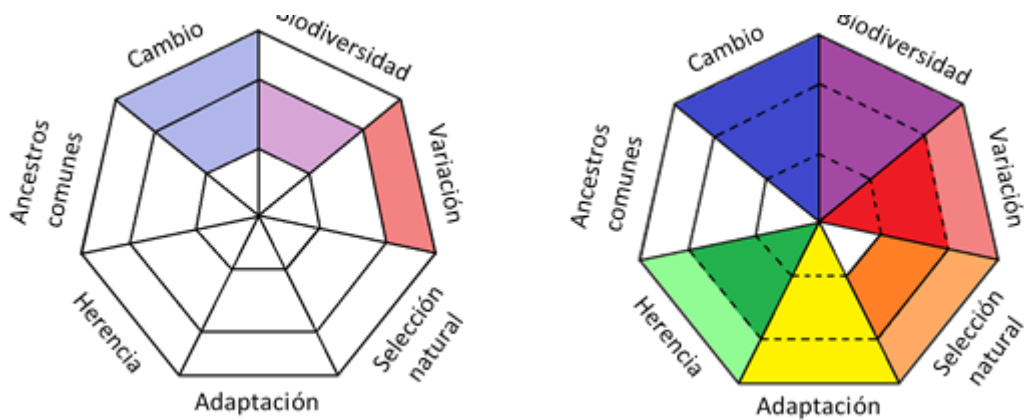
### **Actividad A *vitamina do sol***

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

- |  |
|--|
| 1. a) Porque o pescado azul ten moito calcio, e o calcio é bo para os ósos.<br>1. b) -----   |
| 2. Sakura se queimou porque o seu corpo non está preparado para esas temperaturas e ese sol. Sen embargo, o seu curmán ten mais eumelanina que protexe mais dos raios. |
| 3. É que as persoas con tonos escuros, café teñen máis eumelanina que protexe máis do sol. E a xente con tons mais alaranxados e rosados teñen máis feomelanina.       |
| 4. -----   |

## ANEXO B2. BRUNO



### Preconcepciones

1.a) Que todas teñen dedos nos brazos. A lonxitude e a forma
1.b) -----
2. Porque estubo mais tempo de vida que os demais
3. Que deberían deixalas brancas porque o ano que ven non van poder ser vermellas porque os petalos caeran.
4. -----
5.a) A profundidade de terra que están
5.b) Porque a lava afectou a area e a area afectoulles a eles.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara	Orejas	labios
Tamaño	grande	largo	grande	grandes	finos
Cor	Marrón	Negron	blanca	blancas	vermellos
Forma	almendrada	liso	ovalada	Medio corazón	plafizes

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Dispositiva nº 5:

**Bruno:** *Parece tirolés.* [Risas de los compañeros] *Sí..., por el pelo rubio, la piel así blanquita y los ojos claros. Vamos, yo diría que es tirolés, o de por ahí.*

Diapositiva n°6:

**Javier:** *Los dos tienen el pelo negro.*

**Mónica:** *Y liso.*

**Susana:** *El peinado es parecido, así como de lado.*

**Natalia:** *El de la derecha tiene la nariz muy larga y estrecha, y las cejas y los ojos como muy separados, como así [levanta las cejas y abre los ojos desmesuradamente]*

**Lorena:** *El otro tiene la cara más seria.*

**Bruno:** *Y los labios más finos y rosados.*

**Roberto:** *Y el color de piel también es distinto.*

Diapositiva n°8:

**Bruno:** *Yo pensaba que eran los latinoamericanos los que tienen los labios gruesos.*

### Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal crees que será a pessoa que teña...

a) Más melanina (más bolitas de cores)? E menos? Por que?

El 1-A. El 4-D. Porque cuenta mas melanina

b) Más eumelanina? E menos? Por que?

El 1-A El 4-D Porque e de cor negro/castño

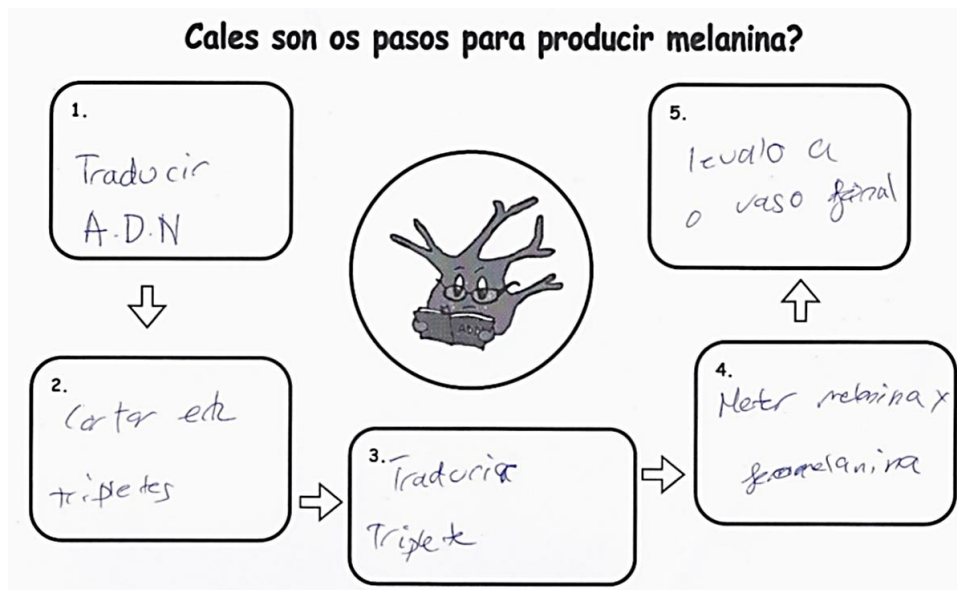
c) Más feomelanina? E menos? Por que?

El 2-D el 5-E. Porque la feomelanina es anarelo/vermello

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

Cuando la docente describió el primer paso como una “traducción” de ADN a ARN, Bruno fue uno de los alumnos en señalar que lo que estaba diciendo no coincidía con lo que ponía en su tarjeta (“Transcriptor de ADN”), aunque después al describir el modelo de expresión de los genes utilizara el verbo “traducir” para hablar de la transcripción y de la traducción:



### Sesión 3

#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

- Recapitulación antes de comenzar experimento de linternas:

**Investigadora:** *Antes habéis visto que, en función de la zona donde vivían, las personas tenían un tono de piel más claro o más oscuro, y ahora acabamos de ver para qué sirve la melanina, ¿verdad?*

[La mayoría asiente]

**Gonzalo:** *Sí, yo tengo (eu)melanina para protegerme de la radiación solar.*

**Bruno:** [A su lado] *Pero yo no soy igual por todo el cuerpo. Mis brazos son más morenos por fuera que por dentro [extiende los brazos y muestra la diferencia]*

**Gonzalo:** *Ni yo. Mis palmas son blancas [al tiempo que las muestra]. Y las plantas de mis pies.*

**Investigadora:** *Cierto. ¿Y por qué será que tenemos todas las palmas [de las manos] y las plantas [de los pies] blancas?*

**Zeltia:** *Porque no les da el sol.*

**Investigadora:** *¿Y?*

**Zeltia:** *Entonces no necesitan tener melanina que los proteja de la radiación.*

- Puesta en común:

**Investigadora:** *Entonces... Teniendo en cuenta todas estas pruebas que acabamos de ver: los mapas, el vídeo, el experimento de las linternas... ¿Qué pensáis? ¿Por qué será que las personas que vivían en las zonas con radiación solar más intensa acabaron por tener tonos de piel tan, tan oscuros?*

**Óscar:** *Porque se adaptaron.*

**Javier:** *Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...*

**Bruno:** *¡Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.*

**Javier:** *¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?*

**Zeltia:** *Porque están adaptados al lugar donde viven, porque la piel oscura tiene más eumelanina y la eumelanina protege mejor de la radiación solar.*

**Investigadora:** *Entonces era mejor tener la piel oscura que la piel clara, ¿no? [Varios estudiantes asienten] ¿Y cómo llegaron a tener la piel taaaan oscura? Es decir, ¿cómo llegaron a tener taaaanta eumelanina? Porque al principio había personas con la piel más oscura, otras con la piel más clara...*

**Zeltia:** *Porque había personas que su ADN producía más eumelanina y entonces estas personas se quemaban menos... Entonces estaban más sanas y al tener hijos, esos hijos pues eran ya más oscuros, porque heredaban la eumelanina de sus padres, y cada vez más, hasta que con el paso del tiempo todos acabaron teniendo la piel con tonos muy oscuros.*








Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Por os genes dos seus pais e como*

A lo largo de las sesiones 3 y 4, después de haber visualizado el extracto del vídeo “La biología del color de la piel” de HHMI BioInteractive, Bruno recordó a sus compañeros y compañeras, cada vez que tuvo oportunidad, que “la radiación solar puede ocasionar daños o mutaciones al ADN”, expresándolo de diferentes formas en función de lo que requiriera la situación.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



**POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

**Comentarios:**

1. Divergencias entre la ficha de anotaciones y plantilla de generaciones:

- G1: había 3 fichas amarillas, no una sola ni la que indican, sino 2 de las de patas pelosas y antenas rizadas sin mandíbulas, que además reproducen en G2.
- G2: había 3 fichas amarillas, en lugar de 4, y solo de 2 tipos.

2. Los dos que introducen “nuevos” en G2 son exactamente iguales a los G1 salvo en que en G1 tenían las patas lisas y en G2 aparecen con ellas pelosas, que era justo el “criterio” de selección.

**Actividad A vitamina do sol**

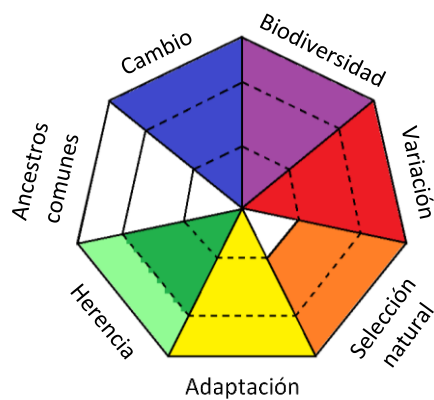
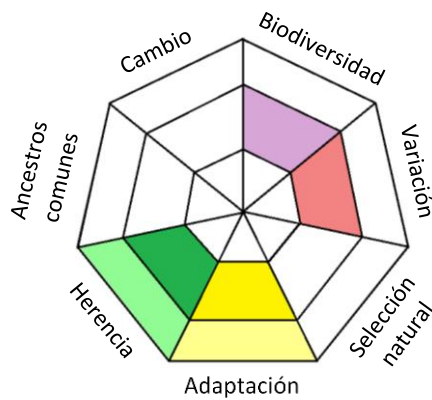
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

**Actividad de aplicación**

- |   |
|---|
| 1. a) Que non tiña vitamina D. Porque non toma moitos alimentos que teñen vitamina D.                                       |
| 1. b) Porque na India lle dai mais o sol e a comida teñen moita vitamina D.   |
| 2. Porque a eumelanina teñe mais forza que a feomelanina e enton os raios ultravioletas lle entran mais facil ao seu corpo. |
| 3. -----  |
| 4. Porque nunca lles da o sol.  |



## ANEXO B3. CARLOS



### Preconcepciones

1. a) Pois que teñen dedos. O posicionamento dos ósos.
1. b) Pola muñeca
2. Porque salio á madre
3. Eu digo que as sementes das rosas brancas van a dar rosas brancas.
4. Polos os nosos pais.
5.a) Pola zona do deserto na que nacen 5.b) Porque preto do volcán fai mais calor.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Normal	Corto	Pequeña
Cor	Verde grisáceo	Castaño	Banca
Forma	Como si estuvieran pensados	Ondulado	Circular

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Diapositiva nº7:

**Alba:** El color de piel es diferente otra vez. La de la derecha tiene la piel más naranja.

**Carlos:** Y lleva flequillo y el pelo largo.

**Enrique:** La otra tiene el pelo oscuro... y corto... y una frente muy grande.

**Óscar:** Las dos tienen los ojos rasgados.

### Actividad *Cun pouco de melanina*

Carlos aventuró que las bolitas de hidrogel “blancas” podían ser para representar las personas albinas, porque “no tienen nada de melanina”.

¿eres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis bolitas de cores)? E menos? Por que?  
 1ª persoa porque ten máis eumelanina.  
 4ª persoa porque e casi albina.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?  
 O primeiro porque ten moita cantidade de eumelanina.  
 A cuarta porque parece casi albina.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?  
 A segunda porque non é nin moi morena nin moi branca.  
 O quinto porque é máis moreno.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	20	4	2	26
2	4	12	9	25
3	18	6	0	24
4		6	9	15
5	9	10	12	21

Lorena le insistió a Carlos que había que incluir más bolitas de eumelanina a la persona número 3 porque, aunque su color era más anaranjado que el número 5 (como defendía Carlos acertadamente), también era más intenso, por lo que hacían falta más bolitas de ambos tonos. Esto los llevaría a concluir que no siempre la persona con la piel más oscura es la que tiene más melanina, sino la persona con un color más intenso.

### Sesión 2

#### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo rojo) con la de su compañero (grupo amarillo):



**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...

**Susana:** El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.

**Mónica:** ¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.

**Investigadora:** Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.

**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** El nuestro también salió de piel muy oscura.

**Alba:** Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.

**Óscar:** Quizás es por un familiar lejano.

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** Amarillo.

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

### Sesión 3








#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque e como o seu habitat entón eles teñen a pel moi escura porque lles protexe máis dos raios (UV) e entón por iso teñen a pel escura porque poden que marse máis facilmente.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
2ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
3ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
4ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

### Actividad *A vitamina do sol*

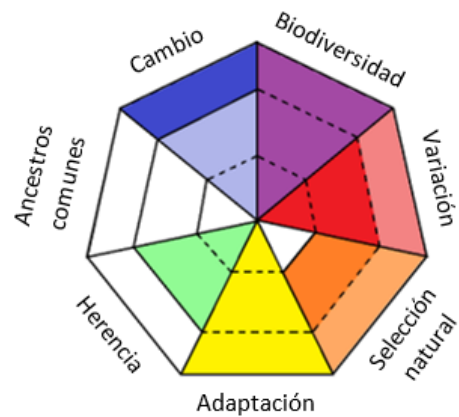
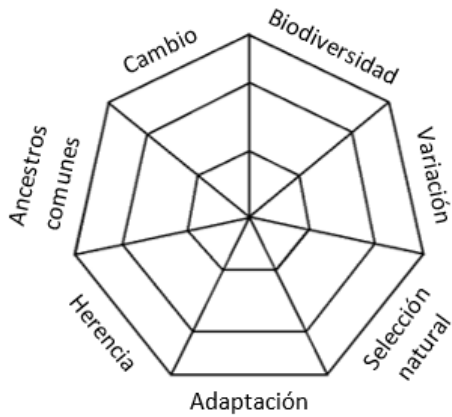
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque

“estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

1.a) Pois que teñe pouca VIT D. Porque comia pouco peixe axul. 1.b) Porque na India fai máis sol.
2. Porque en Kenia (África) alí teñen a pel máis escura porque estan acostumbrados ao sol que fai alí.
3. Aparte pola radiación UV tamen e pola melanina porque fai como un parasol e protexe o ADN da radiación UV.
4. Creo que é pola VIT D.

## ANEXO B4. DAMIÁN



**Preconcepciones:** NO ESTABA

### Sesión 1

**Actividad *Mírame bien!***

	Ollos	Pelo	Cara	cejas...
Tamaño	Medianos	corta	Mediana	cortas
Cor	Marrones	negro	marrón clara	negros
Forma	plana estalada	punzante	redonda	a los lados

**Actividad *Cun pouco de melanina***

Damián, Fernando, Isabel, Javier y Susana discutían si la número 4 era albina o no y, por lo tanto, si debía llevar solo bolas “blancas” o también de las otras.

res que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

Quan máis ten 02  
 e que menos 04 porque es albino

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

02  
 04

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	27	2	1	30
2	3	17	6	26
3	15	12	4	31
4	0	10	20	30
5	21	20	3	44

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- [Explicación introductoria sobre el ADN]  
 Damián alzó la mano para dar los nombres de las bases (A de Adenina, T de Timina, C de Citosina y G de Guanina), explicar que se llamaban “bases” y que formaban una doble hélice y que la A solo podía combinarse con la T, y la C con la G y que estaban unidas por enlaces
- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo amarillo) con la de su compañero (grupo verde):



## Sesión 3








### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque a eumelanina protexese mellor.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



#### **POBLACIÓN A**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

#### **Comentarios:**

Los dos escarabajos marcados en gris podrían haberse mantenido en la siguiente generación, lo que sugiere que estaban muy pendientes de ejercer la selección natural (eliminando los que no disponían de las características adecuadas e incorporando aquellos que sí las tuvieran), pero independientemente de si aparecían en la generación anterior o no. Es decir, que no trabajaban tanto con su población, sino con la totalidad de ejemplares de escarabajos disponibles (fichas).

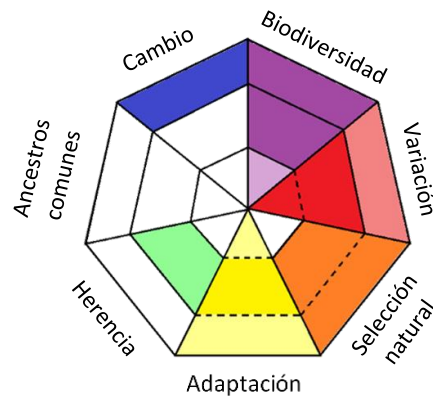
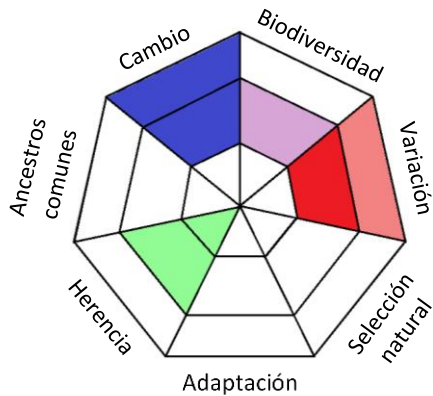


### Actividad A *vitamina do sol*

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la tarea.

1. a) Porque lle falta vitamina D. 1. b) Porque na India hai máis sol.
2. Porque ela ten a pel máis sensible ao sol.
3. Polo sol e polos raios UV.
4. -----

## ANEXO B5. ENRIQUE



### Preconcepciones

1. a) Que teñen ósos. Que estan colocadas de diferente manera.
1.b) Porque todos foron creados en la tierra
2. Por los genes
3. Que si.
4. Porque todos somos unicos.
5. a) Por que ten máis pelaxe un que outro
5.b) Por o calor. O calor fixo que se puxeran máis escuros e a lava volcánica tamén lles afectou.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Grandes	largo	Grande
Cor	Castañas	Marrón	Blancueta
Forma	Circulares	De coleta	Orvalada

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Diapositiva nº7:

**Alba:** El color de piel es diferente otra vez. La de la derecha tiene la piel más naranja.

**Carlos:** Y lleva flequillo y el pelo largo.

**Enrique:** La otra tiene el pelo oscuro... y corto... y una frente muy grande.

**Óscar:** Las dos tienen los ojos rasgados.

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

La primeira. La cuarta. Porque a primeira ton a pel máis oscura e a cuarta máis clara.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

El 1º. El 5º. Por que é máis clara que a outra

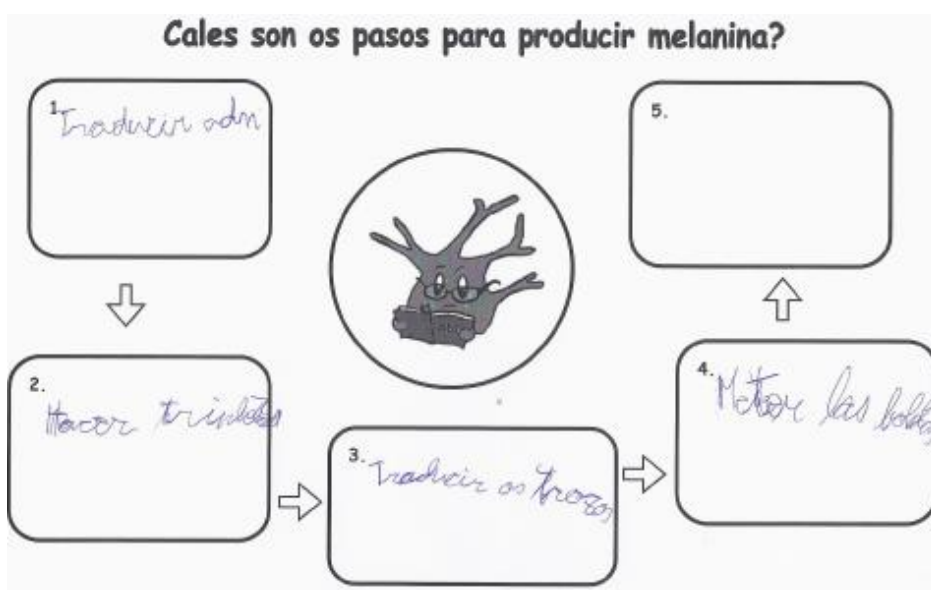
c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

La 2º. La 4º porque

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	32	8	0	40
2	2	16	4	22

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?



### Sesión 3








#### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Por a eumelanina.*

### Sesión 4

#### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2			1	1			
1					1	1	
2ª XERACIÓN							
				3		1	
				1	1		1
3ª XERACIÓN							
						4	1
							2
4ª XERACIÓN							
						4	3

#### POBLACIÓN B

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

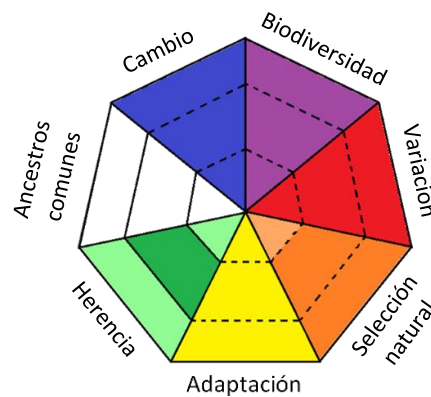
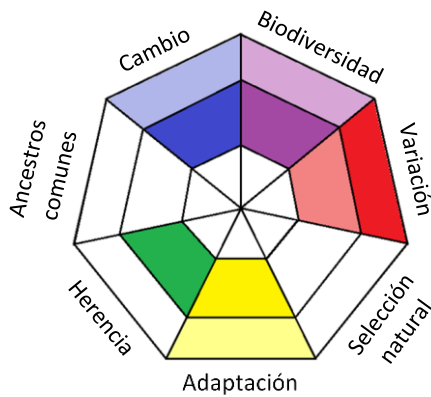
### **Actividad A *vitamina do sol***

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

NO ESTABA

## ANEXO B6. FERNANDO



### Preconcepciones

1. a) Que todos teñen muñeca.
1.b) Porque todos son vertebrados e ningún é invertebrado por iso son tan parecidos.
2. Porque o pai ou a nai algun ten o pelo longo.
3. Que cinco de picas ten razón porque aínda que as pintes, a semente seguirá botando flores brancas.
4. Por o clima porque a veces co sol nos poñemos moi morenos e co frío máis brancos.
5.a) Por a cor do deserto.
5.b) Si. Porque pola lava nacen ratos escuros na zona da lava pola cor.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Medianos	Corto	Grande
Cor	Marron	Negro	Blanca
Forma	Redonda	Liso	Alargada

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Diapositiva nº4:

**Fernando:** El primero es chino..., porque tiene los ojos rasgados [acompañando sus palabras del gesto].

**Javier:** [Molesto] ¿Y cómo sabes que es chino?

**Investigadora:** De hecho, no es chino, es coreano.

**Javier:** ¡Toooma! [haciendo gesto de victoria]

#### Actividad *Cun pouco de melanina*

Damián, Fernando, Isabel, Javier y Susana discutían si la número 4 era albina o no y, por lo tanto, si debía llevar solo bolas “blancas” o también de las otras.

cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

0 numero 2. 0 numero 4.

2. Porque teño moitas bolsas de tinta

b) Máis eumelanina? E menos? Por que? 4. Porque teño menos

0 numero 1. ten mais bolsas de tinta

0 numero 4.

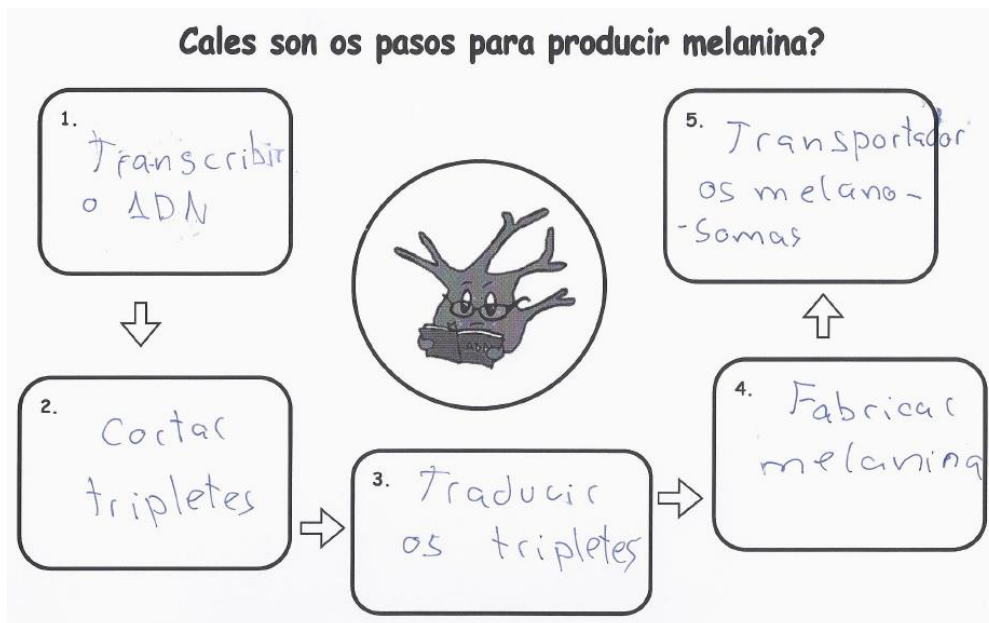
c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

0 numero 2

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEM MELANINA	TOTAL
1	27	2	1	30
2	3	17	6	26
3	15	12	4	31
4	0	10	20	30
5	20		3	

## Sesión 2

Actividades *Melanineando* y  $A+B=C$ ?



## Sesión 3








Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque aguantan mellor a calor e ao ter eumelanina e por eso viven nas zonas máis calurosas e radiadas do planeta.

## Sesión 4

### Actividad Bingo escaravello

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
		1	2			1	
1				1			
2ª XERACIÓN							
	2		1	1	1	1	
3ª XERACIÓN							
	1		2				1
4ª XERACIÓN							
				2			5

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

#### Comentarios:

Los dos escarabajos marcados en gris podrían haber pasado a la siguiente generación. Teniendo en cuenta que para el resto de escarabajos han aplicado bien la selección natural – eliminando aquellos que no disponían de las características adecuadas + manteniendo/incorporando aquellos que sí las tenían (nótese que solo hay incorporación de G1 a G2, y aun así en G2 se han mantenido 2/3 de G1; justamente a excepción del marcado en gris) – y que en la G3 reunieron 4 de uno de los escarabajos, que luego en G4 se convierten en 5, probablemente esta omisión sea accidental, debida al tipo de fichas que encontraron en primer lugar.



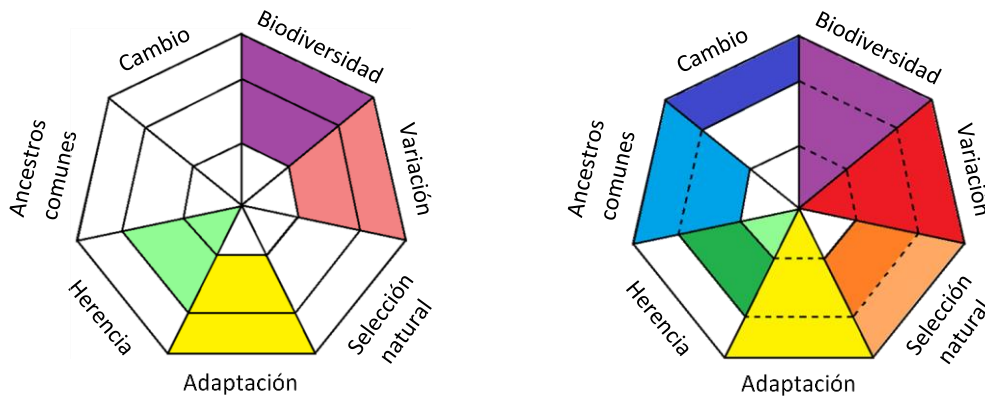
### **Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

1.a) Que lle falta vitamina D. Porque non come o que debería comer. 1. b) Polo sol porque o sol lle daba vitamina D.
2. Porque Saqura ao vivir en Xapon o seu corpo non está acostumbrado ao sol e o do seu curman si que está acostumbrado ao sol.
3. Porque cada un ten distinta melanina por exemplo: Ton de pel oscura: mais eumelanina Ton de pel mais claro: mais feomelanina Ton de pel mediado: mezcla entre eumelanina e feomelanina
4. Polas vitamina, xenética, melanina, e a dieta que toman os esquimos.

## ANEXO B7. GONZALO



### Preconcepciones

1. a) Que todos teñen osos. As extremidades. 1.b) -----
2. Pola xenética OBSERVACIONES: Aquí no se puede ver porque está escaneado, pero en el original, a contraluz, puede verse que debajo del tipex había escrito "polos xenes", lo que significa que una vez lo escribió se dio cuenta de que simplemente estaba duplicando su respuesta; es decir, reconoce genética=genes.
3. -----
4. Porque nuns lugares fai un clima mais caluroso e necesitan ter a pel mais oscura.
NO ESTABA ESE DÍA

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara	
Tamaño	Medianos	corto	pequeña	
Cor	Marrón	castaño	blanca, morenito	
Forma	ovalada	lisa	punteaguda	

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?  
 Máis o 1º e menos o 4º. Porque cuanta máis

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?  
 El 1º, El 4º. Porque a eumelanina es de cor negro / castaño

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?  
 El 7º, El 5º

	0	6	7	13
4				

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando y A+B=C?*

**4. FABRICANTE DA MELANINA**

Benvi@ ao melanosoma do melanocito!

A túa misión será cumprir as instrucións que veñan dos tripletes e fabricar o tipo de melanina apropiado, isto é, EUMELANINA, ou FEOMELANINA ou SEN MELANINA. Daquela:

1. Cada vez que che digan EUMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas ESCURAS.
2. Cada vez que che digan FEOMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas CLARAS.
3. Cada vez que che digan SEN MELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas SEN COR.

Non esquezas anotar aquí o número de veces que fabricas cada tipo para levar ben as contas!©

Eumelanina	Feomelanina	Sen melanina
1	1	1

Tarjeta del proceso de modelización de la expresión de los genes.

**OBSERVACIONES:** Sus anotaciones no coinciden con la información contenida en el ADN (x3 eumelanina + x3 feomelanina).

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo rojo) con la de su compañero (grupo verde):



- Extracto de la puesta en común de A+B+C?:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado* [tono muy oscuro].

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito* [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... *sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este* [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. *Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*

**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*

**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** *Rojo.*

**Javier:** *El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...*

**Investigadora:** *¿Y sois del mismo equipo que ellos?*

**Javier:** *Sí.*

**Óscar:** *No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.*

**Investigadora:** *Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...*

### Sesión 3

#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

- Introducción al subproblema “¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?”:

**Gonzalo:** *Porque el ser humano viene de África y allí hay más radiación.*

**Zeltia:** *Por la acción del sol, que en unas zonas es más fuerte que en otras y entonces... hace que la piel... las células fabriquen más o menos melanina.*

**Javier:** *Porque todos procedemos de una misma pareja inicial...*

- Discutiendo sobre lo observado en los mapas de distribución mundial de tonos de piel y de radiación UV:

**Investigadora:** *¿Qué pasa chicos?*

**Gonzalo:** *Nada... Que no están de acuerdo con lo que yo digo. Que dicen que es lo que dice Lorena.*

**Investigadora:** *¿Y qué dice Lorena?*

**Lorena:** *Es que yo creo... A ver... Lo que yo pienso es que... las personas que están en las zonas cerca del Ecuador [apunta al mapa] tienen la piel más oscura porque..., o sea, tienen mucha eumelanina, su ADN produce eumelanina..., entonces la radiación del sol, que aquí es muy fuerte, hace que produzcan más melanina, y como tienen más melanina de la oscura que de la clara, pues hace que tengan la piel muy oscura. En cambio, en otras zonas donde hace menos sol, no se ponen tan morenos, no fabrican tanta melanina y su piel es más clara.*

**Gonzalo:** *Y yo digo que es porque lo necesitan, porque en la zona del Ecuador hace mucho sol y mucho calor, y la piel oscura te protege mejor. Así no se queman.*

**Investigadora:** *¿Y por qué no estáis de acuerdo con lo que dice Gonzalo?*

**Lorena:** *Vale, entonces es lo que dice Gonzalo.*

**Investigadora:** *No, yo no he dicho eso...*

[Se miran unos a otros]

**Verónica:** *Sí. Puede ser que al darles más el sol fabriquen más melanina y así se quemem menos...*

**Lorena:** *Sí, supongo que sí... O sea, que tienen más melanina porque así se protegen mejor, están más adaptados a las altas temperaturas.*

- Recapitulación antes de iniciar el experimento de las linternas:

**Investigadora:** *Antes habéis visto que, en función de la zona donde vivían, las personas tenían un tono de piel más claro o más oscuro, y ahora acabamos de ver para qué sirve la melanina, ¿verdad?*

[La mayoría asiente]

**Gonzalo:** *Sí, yo tengo [eu]melanina para protegerme de la radiación solar.*

**Bruno:** [A su lado] *Pero yo no soy igual por todo el cuerpo. Mis brazos son más morenos por fuera que por dentro [extiende los brazos y muestra la diferencia]*

**Gonzalo:** *Ni yo. Mis palmas son blancas [al tiempo que las muestra]. Y las plantas de mis pies.*

**Investigadora:** *Cierto. ¿Y por qué será que tenemos todos las palmas [de las manos] y las plantas [de los pies] blancas?*








**Zeltia:** *Porque no les da el sol.*

**Investigadora:** *¿Y?*

**Zeltia:** *Entonces no necesitan tener melanina que los proteja de la radiación.*

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

### **Comentarios:**

Al menos uno de los escarabajos marcados en gris en la G3 está mal apuntado, porque en total contaban con 7 escarabajos, no 8. Desafortunadamente, no es posible saber cuál(es) a partir de la plantilla de trabajo porque G3 presenta 4 espacios en blanco. Estos huecos se deben a la reutilización de las fichas de las que ya disponían cuando no disponían de suficientes en el montón libre. Probablemente, algunas, o todas, esas cuatro fichas ausentes fueron empleadas para completar su propia G4 (que solo presenta 6 fichas, precisamente debido al número limitado de fichas disponibles).

### Actividad *A vitamina do sol*

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-

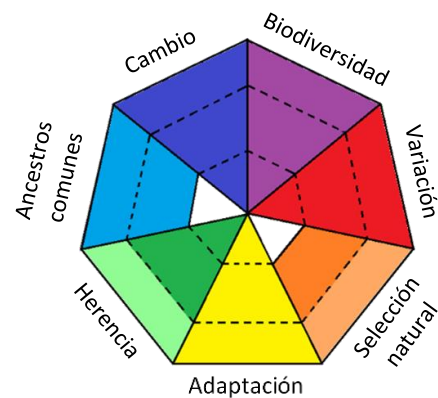
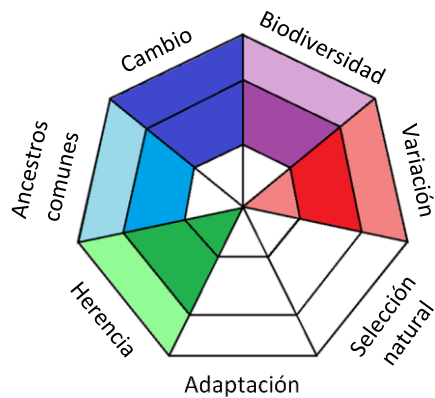
24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

Recordaban que la luz solar podía ser peligrosa para el ADN, “porque podía provocar mutaciones”, como repetía Bruno cada vez que tenía oportunidad, si bien, como puntualizó Gonzalo, “en realidad el problema es la luz ultravioleta [en oposición a la luz solar en general]”.

### Actividad de aplicación

1.a Que tiña os ósos moi débiles e que se tiñan que mudar. Por mor do traballo 1.b) -----
2. -----
3. Que unhas persoas teñen mais eumelanina na pel outros feomelanina e outros sen melanina. E tamén porque noutros países vai mais rallos solares.
4. -----

## ANEXO B8. HUGO



### Preconcepciones

1. a) Que todos teñen muñeca.

O úmero e os dedos

1. b) Porque todos son “avances” dun animal que existiu fai moitos milenios.

2. Tal vez os gatos tivesen distintos xenes (genes) e se se fusionan dan unha raza de gato con pelo largo.

3. Que se se pintan as flores morren e se se deixan así, non dan sementes porque as rosas reproducense por esporas.

4. Polos tipos de nacionalidades que teñamos.

5.a) A que un dos ratos alcanzoulle o volcán pero sobreviviu, entón os seus fillos tiveron o mesmo pelo.

5.b) Porque a zona do deserto calcinado ten ratos escuros polas cinzas e os do deserto non calcinado son brancos porque non se achegaron ás cinzas.





## Sesión 1

### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara	
Tamaño	Medianos	Corto	Pequeña	
Cor	Negros	Negro	Negro y por otras zonas mas claro	
Forma	Circular Ovalada	Rizado	Ovalada	

- Durante la puesta en común:

**Docente:** *¿Y tú, Hugo, qué nos puedes decir de...?*

**Hugo:** [...] *Ah, sí, y tiene los mofletes más claros que el resto de la cara.*

**Docente:** *¿Cómo?*

**Hugo:** *Sí, aquí donde está el hueso (se señala en su propia cara) está más blanco.*

**Docente:** [tras comprobarlo] *¡Pues es verdad, nunca me había fijado!*

### Actividad *Cun pouco de melanina*

- Al conocer el proceso mediante el que se produce la melanina y los diferentes factores que determinan el color de una persona: “¿Entonces cuando nos ponemos morenos es que nuestro cuerpo fabrica más melanina?”.

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?  
El 1. El 4 porque cuanto mas melanina haya mas oscuro sera o ton

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?  
El 1. El 4. Porque la eumelanina es de color negro / castaño

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?  
El 2. El 5 porque la feomelanina es amarelo / vermello

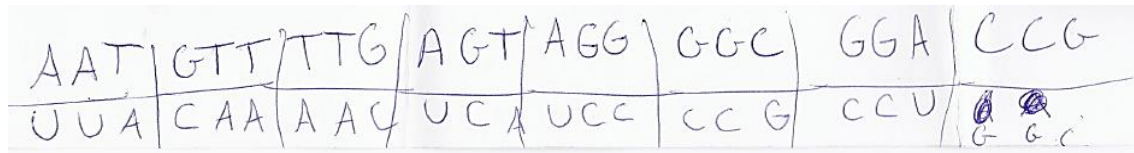
## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Reparto de roles al inicio de *Melanineando*:

**Javier:** *Yo tengo que transportar los melanosomas al queratinocito, o sea...las bolitas, ¿no? ¿Y el vaso grande dónde está? ¿Y no puedo llevarlo todo junto?*  
**Hugo:** *Allá al fondo [señalando a los vasos]. A ver... [lee la tarjeta de su compañero] Yo voy a ir metiendo las bolitas en el vaso pequeño [lo coge en la mano], según lo que me diga Natalia [la señala y ella asiente], y luego te lo doy y tú lo llevas. Ven [lo guía hasta la mesa del fondo donde están los vasos y continúa explicando que lo debe meter en el que tiene la tira azul, que es el color del grupo].*

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo azul) con la de su compañero (grupo verde):



- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ ?:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*  
**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*  
**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*  
**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*  
**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*  
**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...*  
**Susana:** *El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.*  
**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*  
**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*  
**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*  
**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*  
**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*  
**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.*  
**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*  
**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*  
**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

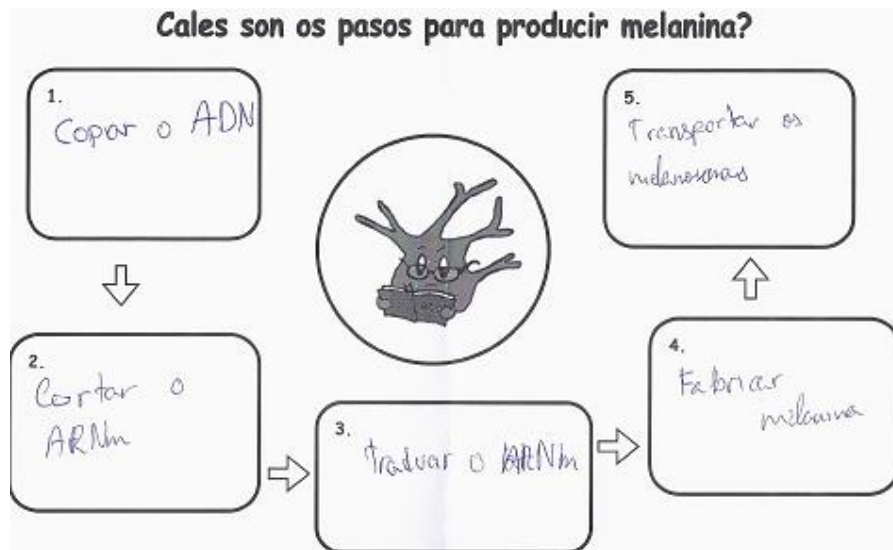
**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

- Modelo del proceso de expresión de los genes:



### Sesión 3

#### **Actividad *Un rayo de sol, oh, oh, oh***

- Discutiendo sobre lo observado en los mapas de distribución mundial de tonos de piel y de radiación UV:

**Hugo:** Depende dónde estés vas a tener la piel más clara o más oscura. Porque tu cuerpo produce más melanina si hay más sol. Como cuando nos ponemos morenos en verano.

**Óscar:** Pero no puede ser solo por eso. Porque si ahora tú te vas a África y te da el sol, por mucho que te dé el sol, no te vuelves negro.








Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque necesitan a acumelarina para poder sobrevivir ás condicións de vida africanas.

Por iso, as persoas das zonas máis fría fan unha pel máis clara debido a pouca luz solar que se recibe, por exemplo, en Groenlandia.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
1	X	3	X	X	4	2	X
3	X	1	X	X	X	X	2
2ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
X	2(bis)	X	1(bis)	X	4	X	3(bis)
3ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
X	1	X	3(bis)	X	4(bis)	X	2(bis)
4ª XERACIÓN							
X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	2(bis)	1(bis)	3(bis)

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

#### Comentarios:

1. Téngase en cuenta que, al cubrir la plantilla de trabajo, no solo indicaron qué tipo de escarabajos tenían en cada generación sino además en qué posición aparecen. Por eso aparecen números (del 1 al 4; porque los cuentan por colores: cuentan todos los verdes por un lado, los amarillos por el otro). Y el "bis" indica que hay otro de ese tipo y si necesitan más, indican por cuantos con el signo de multiplicación: 3(bis) x2

2. En la G4 añadieron un nuevo tipo de escarabajo, quizás porque ya no quedaban escarabajos adecuados y esas fueron las primeras fichas que consiguieron, que cumplen las características de G2 y G4, aunque no de G3.

### Actividad A *vitamina do sol*

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados

fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

- Reflexión final sobre el subproblema de la sesión: Si los primeros *Homo sapiens* surgieron en África y la eumelanina protege mejor de la radiación solar, ¿por qué hay tanta diversidad de tonos?

**Hugo:** *Pues fueron perdiendo color según fueron extendiéndose por el mundo... Fueron teniendo cada vez la piel más clara.*

**Pedro:** *Claro, con el paso de las generaciones, según donde vivieran, los hijos irían siendo más claros.*

**Hugo:** *A lo largo de miles de años.*

### Actividad de aplicación

1.a) Que ten pouco calcio. Porque os osos están cheos de calcio; se non o teñen, os osos están débiles.

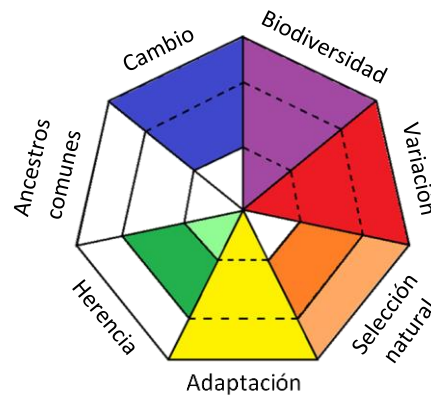
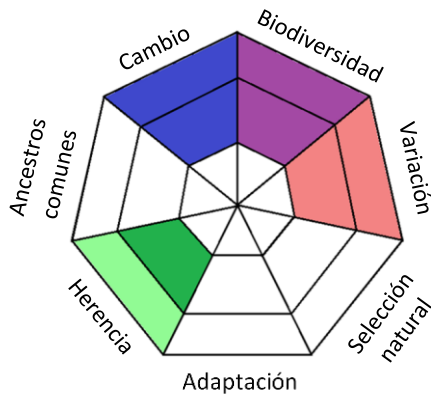
1.b) Porque na India comen moito da pesca e de outros recursos.

2. Porque Muruthi ten máis melanina e pode protexe máis dos raios UV e Kenia e un sitio ao Sur e fai máis calor.

3. Que os nosos primeiros antepasados proviron de Africa. Algunha xente quedouse ali e por iso hai xente oscura. En cambio, outra xente foi a descubrir outros sitios e, como facía máis frío, a pel foi poñéndose máis clara e así como agora.

4. Creo que é unha pregunta trampa.

## ANEXO B9. JAVIER



### Preconcepciones

1.a) Que son vertebrados A forma dos ósos.
1. b) O human e o can viven en terra firme, a ave voa polo ceo e a balea bibe no mar
2.-----
3. Opino que Cinco de picas ten razón, porque se as rosas en principio son branca os seus descendientes tamén. Porque se están pintadas de vermello aún así son brancas.
4. -----
5. a) A que uns pasan máis tempo nas madrigueiras, e outros fora.
5. b) Porque póla ceniza volcánica os ratos da zona teñíronse de cor escura.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	GRANDES	MUCHO LARGO.	OVALADA.
Cor	VERDE AMARILLO PROFUNDO	CASTAÑO OSCURO.	LIGHT BEACH.
Forma	OVALADA	DESPEINADO	UN POCO ALARGADA.

#### Actividad *Cal é a túa cor?*

Diapositiva nº4:

**Fernando:** El primero es chino..., porque tiene los ojos rasgados [acompañando sus palabras del gesto].

**Javier:** [Molesto] ¿Y cómo sabes que es chino?

**Investigadora:** De hecho, no es chino, es coreano.

**Javier:** ¡Toooma! [haciendo gesto de victoria]

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Damián, Fernando, Isabel, Javier y Susana discutían si la número 4 era albina o no y, por lo tanto, si debía llevar solo bolas “blancas” o también de las otras.

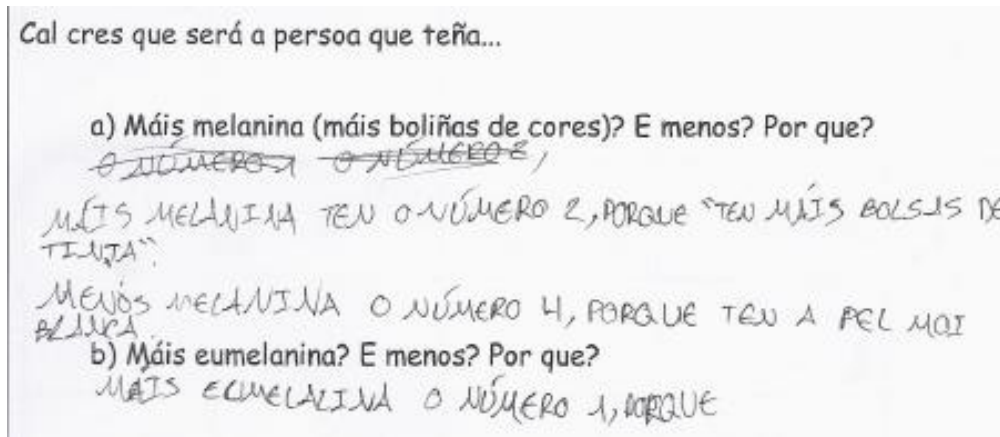


FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	27	2	1	30
2	5	17	6	26
3	15	12	4	31
4	0	10	20	30
5	21	20	3	44

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Reparto de roles al inicio de *Melanineando*:

**Javier:** Yo tengo que transportar los melanosomas al queratinocito, o sea...las bolitas, ¿no? ¿Y el vaso grande dónde está? ¿Y no puedo llevarlo todo junto?

**Hugo:** Allá al fondo [señalando a los vasos]. A ver... [lee la tarjeta de su compañero] Yo voy a ir metiendo las bolitas en el vaso pequeño [lo coge en la mano], según lo que me diga Natalia [la señala y ella asiente], y luego te lo doy y tú lo llevas. Ven [lo guía hasta la mesa del fondo donde están los vasos y continúa explicando que lo debe meter en el que tiene la tira azul, que es el color del grupo].

- Extracto de la puesta en común de A+B+C?:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado* [tono muy oscuro].

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito* [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... *sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este* [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. *Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*

**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira... nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*

**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** *Rojo.*

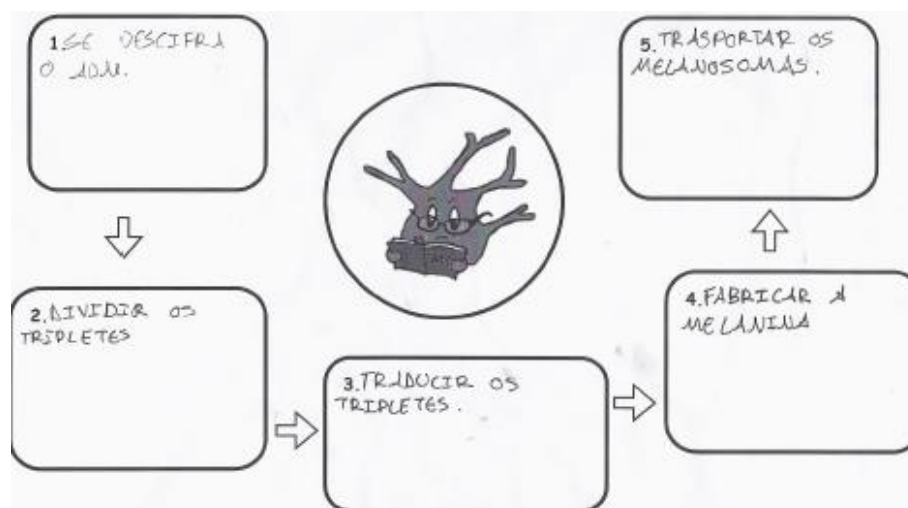
**Javier:** *El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...*

**Investigadora:** *¿Y sois del mismo equipo que ellos?*

**Javier:** *Sí.*

**Óscar:** *No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.*

**Investigadora:** *Pues mira, diferente padre...o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...*





### Sesión 3

#### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

- Introducción al subproblema “¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?”:

**Gonzalo:** *Porque el ser humano viene de África y allí hay más radiación.*

**Zeltia:** *Por la acción del sol, que en unas zonas es más fuerte que en otras y entonces... hace que la piel... las células fabriquen más o menos melanina.*

**Javier:** *Porque todos procedemos de una misma pareja inicial...*

- Puesta en común:

**Investigadora:** *Entonces... Teniendo en cuenta todas estas pruebas que acabamos de ver: los mapas, el vídeo, el experimento de las linternas... ¿Qué pensáis? ¿Por qué será que las personas que vivían en las zonas con radiación solar más intensa acabaron por tener tonos de piel tan, tan oscuros?*

**Óscar:** *Porque se adaptaron.*

**Javier:** *Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...*

**Bruno:** *¿Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.*

**Javier:** *¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?*

**Zeltia:** *Porque están adaptados al lugar donde viven, porque la piel oscura tiene más eumelanina y la eumelanina protege mejor de la radiación solar.*

**Investigadora:** *Entonces era mejor tener la piel oscura que la piel clara, ¿no? [Varios estudiantes asienten] ¿Y cómo llegaron a tener la piel taaaan oscura? Es decir, ¿cómo llegaron a tener taaaanta eumelanina? Porque al principio había personas con la piel más oscura, otras con la piel más clara...*








**Zeltia:** *Porque había personas que su ADN producía más eumelanina y entonces estas personas se quemaban menos... Entonces estaban más sanas y al tener hijos, esos hijos pues eran ya más oscuros, porque heredaban la eumelanina de sus padres, y cada vez más, hasta que con el paso del tiempo todos acabaron teniendo la piel con tonos muy oscuros.*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

PORQUE CO PASO DO TEMPO A SÚA PEL FOI ADAPTÁNDOSE A TODA OS RAIOS ULTRAVIOLETA FACENDO QUE A SÚA PEL FOI CAMBIANDO ATÁ SER TAN OSCURA, PORQUE ASÍ PROTÉGESE O ADN.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							

### POBLACIÓN B

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

#### Comentarios:

En el caso del escarabajo amarillo de G3, se ha marcado en gris porque a pesar de que poseía las características adecuadas para haber pasado a G3, no lo han incluido.

En el caso de los escarabajos verdes de G4, se podrían haber marcado en verde, porque ya aparecen en G3. Sin embargo, los hemos dejado en amarillo porque no deberían aparecer en esta generación, ya que no acumulan todas las características favorecidas por la selección natural a lo largo de las generaciones: son verdes (G4) y con antenas rizadas (G3), pero no con patas pelosas – razón por la que las descartaron correctamente en G2, aunque luego las recuperaran en G3.

### **Actividad A vitamina do sol**

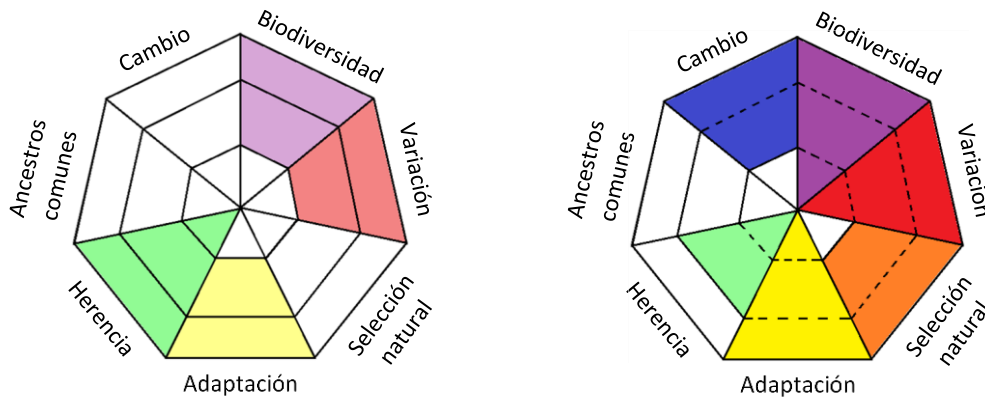
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

1.a) Que lle falta vitamina C, porque alomellor comía cousas con vita. C e agora no toma esos alimentos.
1.b) Porque alí avía alimentos con moita vitamina C.
2. Porque a pel de Sakura no está acostumbra a tanta radiación solar, e o seu curmán porque: 1: sempre se poñía protección solar. 2: ten máis eumelanina.
3. A razón é que todos temos mái ou menos eumelanina o feomelanina.
4. Porque comen moito peixe azul.

## ANEXO B10. LORENA

### LORENA



### Preconcepciones

1. -----
2. Polos xenes
3. Que seguin sendo brancas, porque a semente e de rosas brancas e non vermellas.
4. Porque depende do lugar onde vivas.
5. a) Pois que uns viven mais na laba e son mais escuros e os outros son máis claros porque estan mais no deserto.
5. b) ----- (rodea letra d) das probas)
<i>OBSERVACIONES:</i> No da una respuesta, pero rodea la prueba d), que dice: “Na actualidade, na zona de lava encóntranse moitos ratos de cor escura, pero poucos de cor clara. Pola contra, na zona do deserto segue a haber moitos máis ratos de cor clara que de cor escura)

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara	
Tamaño	Medianos casi pequenos	largo	Circular menes la barbillos	
Cor	Narrón clarísimo	Narrón con tonos verdes	Blancueta	ombra
Forma	Un poco achurada	Liso, con coleta parece cepas.	Pequena	

### Actividad Cal é a túa cor?

Diapositiva nº 4:

**Óscar:** La chica rubia en realidad tiene el pelo oscuro, que se le nota la raíz.

**Lorena:** Sí... Entonces todos tienen el pelo oscuro.

**Alba:** Aunque el segundo tiene canas en la barba. Y el pelo rizo. Los demás lo tienen liso.

Diapositiva nº 5:

**Lorena:** Sí, es verdad que pueden ser hermanos y ser muy diferentes. Hace unos días vi la portada de una revista [National Geographic, nº Especial Abril 2018] donde aparecían dos gemelas, bueno, no sé si gemelas o mellizas, pero una era de pelo oscuro y piel morena, mientras que la otra es rubia y de piel muy blanca, y es por los padres, que son uno de cada.

### Actividad Cun pouco de melanina

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

- 1 persoa, porque é o máis moreno
- 4 persoa, porque é máis blanquiña.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

- 1 persoa, porque <sup>una</sup> é máis ten máis cantidade de eumelanina
- 4 persoa, porque casiron ten.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

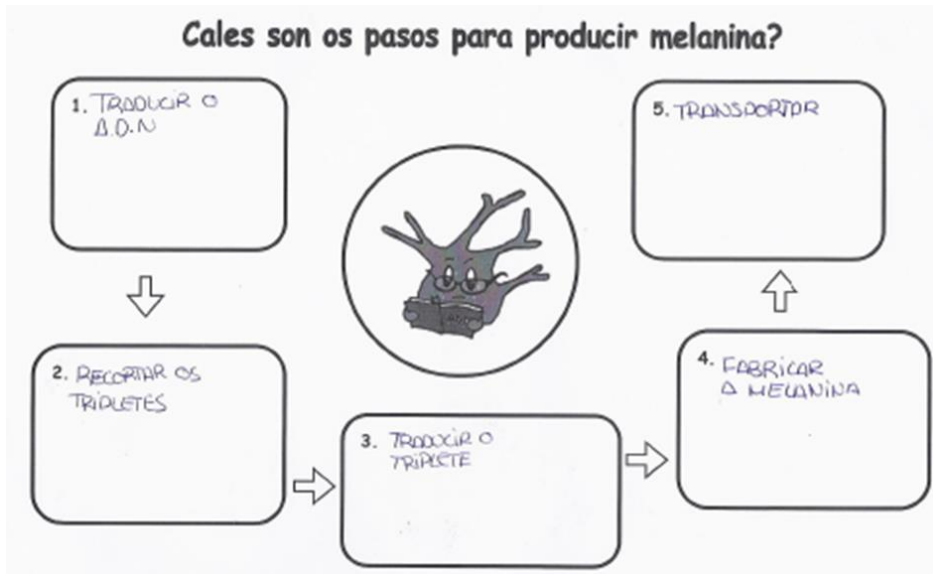
- 2 persoa, porque non é moi clara n'hai máis oscura
- 5 persoa, porque é máis moreno.

Lorena le insistió a Carlos que había que incluir más bolitas de eumelanina a la persona número 3 porque, aunque su color era más anaranjado que el número 5 (como defendía Carlos acertadamente), también era más intenso, por lo que hacían falta más bolitas de ambos tonos. Esto los llevaría a concluir que no siempre la persona con la piel más oscura es la que tiene más melanina, sino la persona con un color más intenso.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	20	4	2	26
2	4	12	9	25
3	18	6	0	24
4	6	9	15	
5	9	10	12	21

## Sesión 2

### Tareas *Melanineando* y $A+B=C$ ?



## Sesión 3

### Tarea *Un raio de sol, oh, oh, oh*

- Discutiendo sobre lo observado en los mapas de distribución mundial de tonos de piel y de radiación UV:

**Investigadora:** *¿Qué pasa chicos?*

**Gonzalo:** *Nada... Que no están de acuerdo con lo que yo digo. Que dicen que es lo que dice Lorena.*

**Investigadora:** *¿Y qué dice Lorena?*

**Lorena:** *Es que yo creo... A ver... Lo que yo pienso es que... las personas que están en las zonas cerca del Ecuador [apunta al mapa] tienen la piel más oscura porque..., o sea, tienen mucha eumelanina, su ADN produce eumelanina..., entonces la radiación del sol, que aquí es muy fuerte, hace que produzcan más melanina, y como tienen más melanina de la oscura que de la clara, pues hace que tengan la piel muy oscura. En cambio, en otras zonas donde hace menos sol, no se ponen tan morenos, no fabrican tanta melanina y su piel es más clara.*

**Gonzalo:** *Y yo digo que es porque lo necesitan, porque en la zona del Ecuador hace mucho sol y mucho calor, y la piel oscura te protege mejor. Así no se queman.*

**Investigadora:** *¿Y por qué no estáis de acuerdo con lo que dice Gonzalo?*

**Lorena:** *Vale, entonces es lo que dice Gonzalo.*

**Investigadora:** *No, yo no he dicho eso...*

[Se miran unos a otros]

**Verónica:** *Sí. Puede ser que al darles más el sol fabriquen más melanina y así se quemen menos...*








**Lorena:** *Sí, supongo que sí... O sea, que tienen más melanina porque así se protegen mejor, están más adaptados a las altas temperaturas.*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Porque nas zonas máis equais as persoas teñen eumelanina e eso quere dicir*

## Sesión 4

### Actividad *Bingo* escaravello

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
		1	2		1		
2ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							
				2			5

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

### Comentarios:

Los dos escarabajos marcados en gris podrían haber pasado a la siguiente generación. Teniendo en cuenta que para el resto de escarabajos han aplicado bien la selección natural – eliminando aquellos que no disponían de las características adecuadas + manteniendo/incorporando aquellos que sí las tenían (nótese que solo hay incorporación de G1 a G2, y aun así en G2 se han mantenido 2/3 de G1; justamente a excepción del marcado en gris) – y que en la G3 reunieron 4 de uno de los escarabajos, que luego en G4 se convierten en 5, probablemente esta omisión sea accidental, debida al tipo de fichas que encontraron en primer lugar.

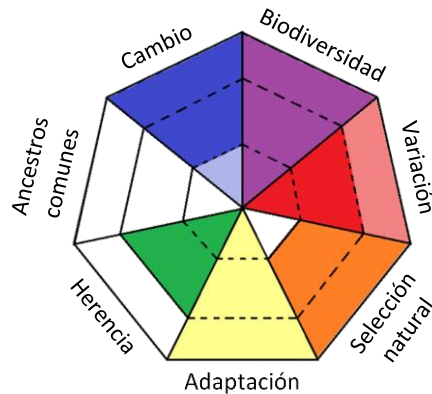
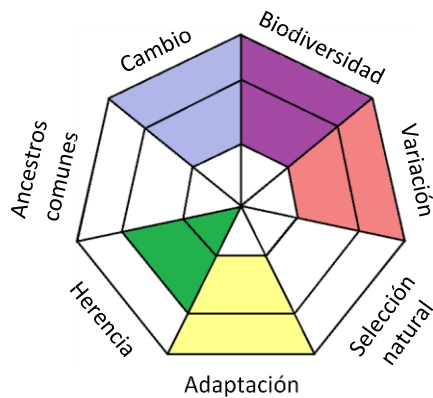
### Actividad A vitamina do sol

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

1.a) -----
1. b) Porque no sur da India hai máis sol e en Alemaña non e necesitar conservar o seu ton de pel.
2. Porque Sakura non está adaptada a ese lugar, tampouco a sua pel. Enton a pel do seu curmán e máis escura por ter eumelanina, que protexe máis do sol e así non se queima tanto. Pero Sakura ten feomelanina que lle da un ton de pel máis clar e protexe menos, enton queimase antes.
3. Sobre todo a melanina, que pode ser: - Eumelanina, que da tons máis escuros. - Feomelina, que da tons máis claros.
4. A partir de isto saen tons de pel diferentes porque podes ter máis eumelanina ou feomelanina.



## ANEXO B11. MÓNICA



### Preconcepciones

- |   |
|---|
| 1. a) Que teñen extremidades.<br>Que viven em ambientes diferentes.   |
| 1. b) Porque son seres vivos.   |
| 2. Por xenética si seu pai o nai tem o pelo curto o gatiño tamén.   |
| 3. Que sairán brancas por que a semente e de cor branca e non vermella.   |
| 4. Según o país de onde veña esa persoa.  |
| 5. a) Pola erupción volcánica algún rato quedaron de cor oscura e os demais brancos.  |
| 5. b) Porque cando a lava se conxela que de cor oscura e esto afectou a moitos ratos, po istos hai máis ratos de cor oscura na zona de lava. Na zona de deserto ha imoitos animais que comen ratos entón moitos escaparon pra a zona da lava. |

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Medianos	Corto	Grande
Cor	Marrones	Rubio Oscuro	Morena
Forma	Circulares	Liso	Circular.

#### Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

La primera, la cuarta. La primera es más oscura, la cuarta tiene la piel más clara.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

La primera, la quinta. Porque tienen la piel oscura.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

La segunda, la ~~quinta~~ cuarta. La porque tienen la piel más clara.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	32	0	8	40
2	2	16	4	22
3	10	5	3	17
4			0	

## Sesión 2

### Actividades Melanineando y $A+B=C$ ?

- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ :

**Natalia:** [Con orgullo] ¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].

**Mónica:** Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño

**Carlos:** El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.

**Gonzalo:** [Con tono burlón] Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...

**Investigadora:** ¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?

**Hugo:** Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...

**Susana:** El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.

**Mónica:** ¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.

**Investigadora:** Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.

**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** *Rojo.*

**Javier:** *El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...*

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** *Sí.*

**Óscar:** *No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.*

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aun así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

### Sesión 3








#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Porque o sol queima a pel se volve máis  
os cura, a pel clara*

### Sesión 4

#### **Actividad *Bingo escaravello***

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



### **POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

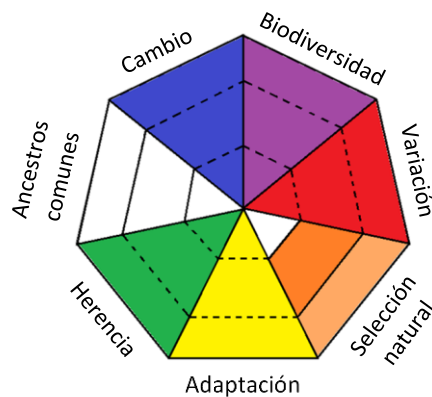
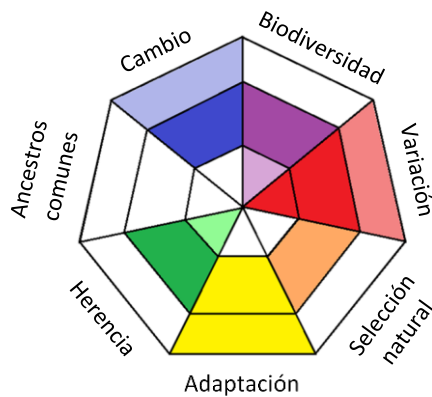
### **Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

- |   |
|---|
| 1.a) Por que en Alemaña fai moito sol.  |
| 1. b) Porque no sur de India fai menos sol que en Alemaña.                                    |
| 2. Porque seu irman ten moita eumelanina e Sakura non.  |
| 3. Porque hai xente con mais melanina, feomelanina ou eumelanina que outra.                   |
| 4. Porque o peixe azul fai os osos mais duros e fortes e a melanina segue na pel ou polo ADN. |

## ANEXO B12. NATALIA



### Preconcepciones

1. a) Que teñen a forma do noso brazo case igual.  
Que teñen unhas formas diferentes.
1. b) -----
2. Polos xenes.
3. Que si que dunhas rosas brancas non podem sair vermellas.
4. Para diferenciar de que lugar somos.
5. a) Dependiendo el lugar onde habita estes ratos a cor da sua pel cambia para protexerse dos depredadores.
5. b) Por a reaccion química que expulsou o volcan que fixo que vários ratos sobrevivieran pero com câmbios.

1) Porque o volcan fixo que os ratos sobrevivieran pero cunha consecuencia cuns cambios.

2) Tamben pode ser por mutacions que produce ao desarrollarse outros ratos dunha especie diferente

## Sesión 1

### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Medianos	Corto	Grande
Cor	Azules	Rubio <del>oscuro</del>	Un poco blanca
Forma	Circulares	Rizo	Redonda

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	32	0	8	40
2	16	4	27	

### Actividad *Cun pouco de melanina*

res que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

La primera. La cuarta. ~~La primera porque tiene más eumelanina y la segunda porque tiene menos~~

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

La primera. La quinta. Porque la tiene oscura

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

La segunda. La cuarta. ~~Porque es morena y otra es~~ Porque tiene la piel más clara

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C?$

- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C?$ :

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...

**Susana:** El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.

**Mónica:** ¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.

**Investigadora:** Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.

**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** El nuestro también salió de piel muy oscura.

**Alba:** Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.

**Óscar:** Quizás es por un familiar lejano.

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** Amarillo.

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...



### Sesión 3








#### **Actividad Un rayo de sol, oh, oh, oh**

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque forón inmigrando a lugares máis frios e as nosas células acestrubranonse a esos lugares

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							

#### **POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

#### **Comentarios:**

En el caso del escarabajo amarillo de G3, se ha marcado en gris porque a pesar de que poseía las características adecuadas para haber pasado a G3, no lo han incluido.

En el caso de los escarabajos verdes de G4, se podrían haber marcado en verde, porque ya aparecen en G3. Sin embargo, los hemos dejado en amarillo porque no deberían aparecer en esta generación, ya que no acumulan todas las características favorecidas por la selección natural a lo largo de las generaciones: son verdes (G4) y con antenas rizadas (G3), pero no con patas pelosas – razón por la que las descartaron correctamente en G2, aunque luego las recuperaran en G3.



### Actividad A vitamina do sol

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

1.a) Porque en Alemania fai moito frío.

1.b) Porque na India fai moito calor e o facer calor colle vitamina D.

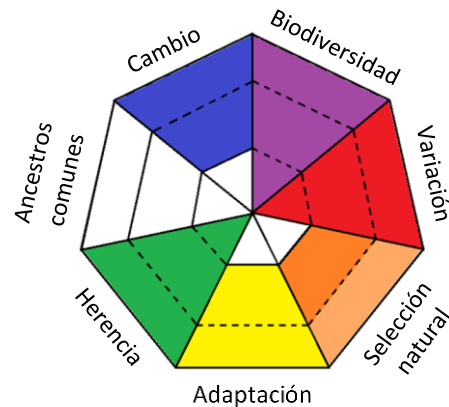
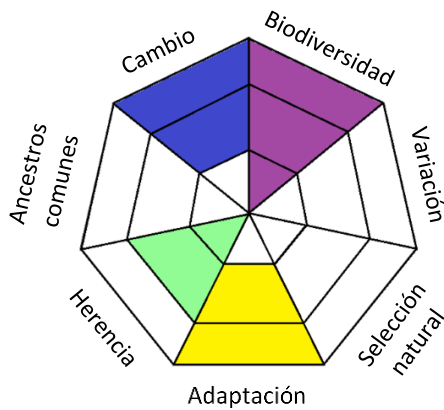
2. Porque Muruthi ten mais eumelanina e cando tes mais eumelanina non deixa pasar tanta luz solar e non se queima.

3.



4. Non porque non fai sol e non collen VD.

## ANEXO B13. ÓSCAR



### Preconcepciones

1. a) Que están compuestas por ósos (común). A su forma e habilidades que pueden hacer (no común).
1. b) Porque aunque seamos de biomas diferentes sin ósos no podríamos movernos.
2. Pues por casualidad.
3. Pues es verdad, por más que no pintemos las rosas de color, las raíces siempre serán iguales. Como el pelo, se teño o pelo negro e o tiño de rubio las raíces siempre serán negras.
4. Por nuestro origen, raza o ADN.
5. a) Todos los ratos mudan de pelaje, por más raza que sea, puede volverse más oscuro o claro.
5. b)

Ratos claros

lava

Son más oscuros también porque se acostumbraron al ambiente.

desierto

para ~~de~~ camuflarse.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame bien!*

	Ojos	Pelo	Cara
Tamaño	grandes	largo	mediana
Color	castaños	castaño	blanca
Forma	ovales	liso	redonda

#### Actividad *Calé a túa cor?*

Diapositiva nº 4:

**Óscar:** La chica rubia en realidad tiene el pelo oscuro, que se le nota la raíz.

**Lorena:** Sí... Entonces todos tienen el pelo oscuro.

**Alba:** Aunque el segundo tiene canas en la barba. Y tiene el pelo rizo. Los demás lo tienen liso.

Diapositiva nº 7:

**Alba:** El color de piel es diferente otra vez. La de la derecha tiene la piel más naranja.

**Carlos:** Y lleva flequillo y el pelo largo.

**Enrique:** La otra tiene el pelo oscuro... y corto... y una frente muy grande.

### Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis bolíñas de cores)? E menos? Por que?

A número 1, porque ten a pel máis oscuras,  
A número 2, porque é a máis clara.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

1, porque é máis escuro  
4, porque é máis claro

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

2, máis amarelo.  
4, máis claro.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	22 20 bolas	0 bolas	0 bolas	10 bolas
2	32 bolas	54 bolas	0 <sup>1</sup> bolas	9 6 bolas
3	6 bolas	3 bolas	0 bolas	6 bolas
4	0 bolas	6 bolas		

### Sesión 2

#### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Presentación del subproblema de la sesión: *¿Qué hace que tengamos más de un tipo de melanina u otro?*

**Algunos alumnos y alumnas al mismo tiempo:** *Por los genes.*

**Óscar:** *Lo heredamos de nuestros padres, somos una mezcla*

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo rojo) con la de su compañera (grupo amarillo):



- Extracto de la puesta en común de A+B+C?:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].*

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*

**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*

**Xiana:** *Amarillo.*

**Alba:** *Rojos.*

**Javier:** *El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...*

**Investigadora:** *¿Y sois del mismo equipo que ellos?*

**Javier:** *Sí.*

**Óscar:** *No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.*

**Investigadora:** *Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...*

### Sesión 3

#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

- Discutiendo sobre lo observado en los mapas de distribución mundial de tonos de piel y de radiación UV:

**Hugo:** *Depende dónde estés vas a tener la piel más clara o más oscura. Porque tu cuerpo produce más melanina si hay más sol. Como cuando nos ponemos morenos en verano.*

**Óscar:** *Pero no puede ser solo por eso. Porque si ahora tú te vas a África y te da el sol, por mucho que te dé el sol, no te vuelves negro.*

- Puesta en común:

**Investigadora:** *Entonces... Teniendo en cuenta todas estas pruebas que acabamos de ver: los mapas, el vídeo, el experimento de las linternas... ¿Qué pensáis? ¿Por qué será que las*

personas que vivían en las zonas con radiación solar más intensa acabaron por tener tonos de piel tan, tan oscuros?

**Óscar:** Porque se adaptaron.

**Javier:** Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...

**Bruno:** ¡Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.

**Javier:** ¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?

**Zeltia:** Porque están adaptados al lugar donde viven, porque la piel oscura tiene más eumelanina y la eumelanina protege mejor de la radiación solar.

**Investigadora:** Entonces era mejor tener la piel oscura que la piel clara, ¿no? [Varios estudiantes asienten] ¿Y cómo llegaron a tener la piel taaaan oscura? Es decir, ¿cómo llegaron a tener taaaanta eumelanina? Porque al principio había personas con la piel más oscura, otras con la piel más clara...








**Zeltia:** Porque había personas que su ADN producía más eumelanina y entonces estas personas se quemaban menos... Entonces estaban más sanas y al tener hijos, esos hijos pues eran ya más oscuros, porque heredaban la eumelanina de sus padres, y cada vez más, hasta que con el paso del tiempo todos acabaron teniendo la piel con tonos muy oscuros.

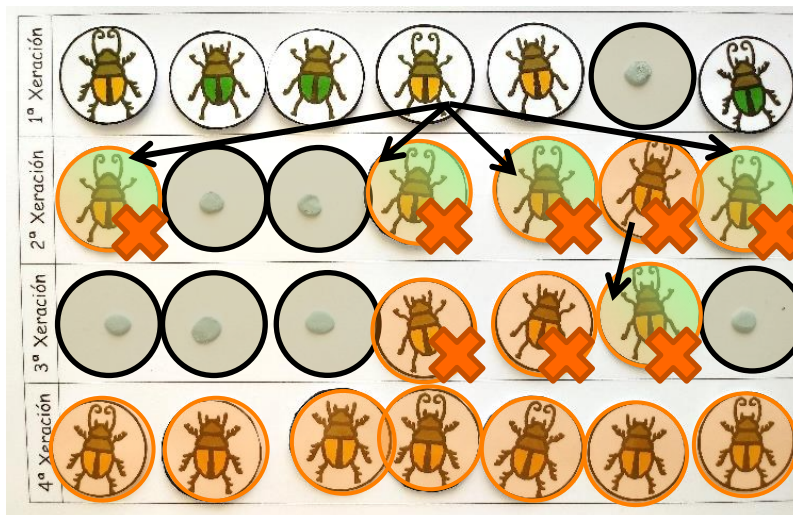
Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque se acostumbra a o seu habitat e forma de vida, entón a nosa corpo fortalece as defensas para que non tengamos problemas nese lugar, a nosa pel cambia automáticamente por a adaptación.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



**POBLACIÓN A**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

**Comentarios:** No completaron la plantilla de anotaciones, por lo que los datos se han extraído de la Plantilla de Generaciones, pero incompleta, puesto que reutilizaron las fichas para las siguientes generaciones. Por ello es muy probable que al menos uno o incluso los dos tipos de escarabajo que conforman G4 ya estuvieran en G3 o incluso antes.

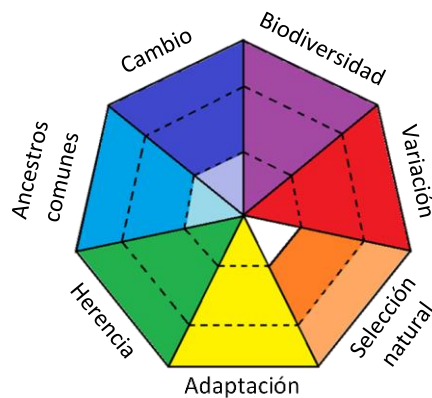
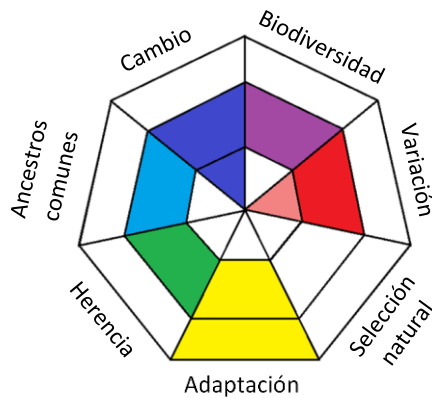
**Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

**Actividad de aplicación**

- |  |
|--|
| 1. a) -----  |
| 1. b) -----  |
| 2. Porque a protección solar nos protexe dos raios ultravioletas. Se non nos poñemo a protección, a nosa epiderme é a perxudicada. |
| 3. A xenética, se os nosos pais son de tez escura, nós saldríamos de pel escura.   |
| 4. Pois porque a súa dieta ten uns compoñentes que lle contribúen na sua epiderme.   |

## ANEXO B14. PEDRO



### Preconcepciones

1. a) O seu esqueleto.

As súas partes, ou sexa, onde ten cada parte do corpo (pernas brazos: etc.) E tamén algúns teñen pelaxe e outros pel.

1. b) Porque como todo o corpo os animais a ido evolucionando e a o mellor se centra en un mesmo espécime e non o alcanzaron será como un humano a catro patas ou así por iso os seus osos se parecen mais a dos humanos.

2. Porque o pelo curto da nai e do pai tería tanto pelo como para ter un fillo con pelo largo.

3. -----

4. -----

5.a) Deben ter un método de camuflaxe e uns son claros (para esconderse na area) e outros son escuros (para esconderse pola noite nas sombras).

5.b) No centro das rocas de lava. Porque cando caeron as rochas volcánicas ou se mancharon de cinzas ou afectou aos seus xenes.

OBSERVACIONES: Además en las pruebas marcó primero b) "Nese mesmo deserto viven moitos animais que se alimentan destes ratos: raposos, serpes, falcóns, curuxas...", pero finalmente lo tachó y marcó d) "Na actualidade, na zona de lava encóntranse moitos ratos de cor escura, pero poucos de cor clara. Pola contra, na zona do deserto segue a haber moitos máis ratos de cor clara que de cor escura."

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Normal	Esto	Pequeno
Cor	Marrón	<span style="border: 2px solid red; padding: 2px;">Castaño escuro</span>	Blanco
Forma	Ovalado	Redondo	Ovalado

Castaño escuro

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

1ª Persoa. Porque é o máis moreno, a cuarta. Porque ten cor máis clara.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

A) 1ª Persoa. Porque ten máis cantidade de eumelanina.  
B) 4ª Persoa. Porque ten máis porque é eumelanina.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

A) 2ª Persoa. Porque non é máis clara né máis escura.  
B) Menos a 5ª persoa. Porque máis escura.

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ ?:

**Natalia:** [Con orgullo] *¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado* [tono muy oscuro].

**Mónica:** *Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño*

**Carlos:** *El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.*

**Gonzalo:** [Con tono burlón] *Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?*

**Hugo:** *Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito* [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... *sí, ese... Y Susana...*

**Susana:** *El mío era este* [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. *Entonces es como mitad de cada.*

**Mónica:** *¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.*

**Investigadora:** *Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.*

**Pedro:** *Como las gemelas de las que habló Lorena.*

**Investigadora:** *Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?*

**Xiana:** *El nuestro también salió de piel muy oscura.*

**Alba:** *Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira... nos salió todo con A.*

**Óscar:** *Quizás es por un familiar lejano.*

**Investigadora:** *¿Y de qué equipos sois vosotras?*

**Xiana:** *Amarillo.*



**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.








**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

## Sesión 3 – SIN DATOS

### Sesión 4

#### Actividad Bingo escaravello

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							

#### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

#### Comentarios:

Los dos escarabajos marcados en gris podrían haberse mantenido en la siguiente generación, lo que sugiere que estaban muy pendientes de ejercer la selección natural (eliminando los que no disponían de las características adecuadas e incorporando aquellos que sí las tuvieran), pero independientemente de si aparecían en la generación anterior o no. Es decir, que no trabajaban tanto con su población, sino con la totalidad de ejemplares de escarabajos disponibles (fichas).

### Actividad A vitamina do sol

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

- Reflexión final sobre el subproblema de la sesión: Si los primeros *Homo sapiens* surgieron en África y la eumelanina protege mejor de la radiación solar, ¿por qué hay tanta diversidad de tonos?

**Hugo:** *Pues fueron perdiendo color según fueron extendiéndose por el mundo... Fueron teniendo cada vez la piel más clara.*

**Pedro:** *Con el paso de las generaciones, según donde vivieran, los hijos irían siendo más claros.*

**Hugo:** *A lo largo de miles de años.*

### Actividad de aplicación

1. a) Porque rumania está mais ao norte. Eso proboca cambios de temperatura para os seus osos e os debilita.

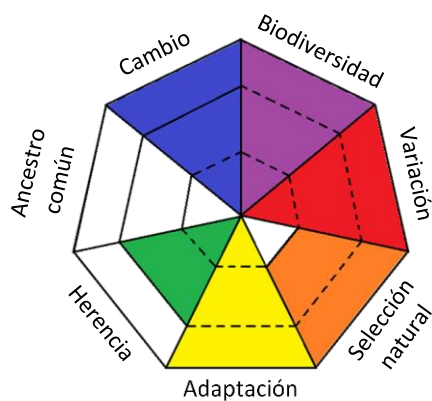
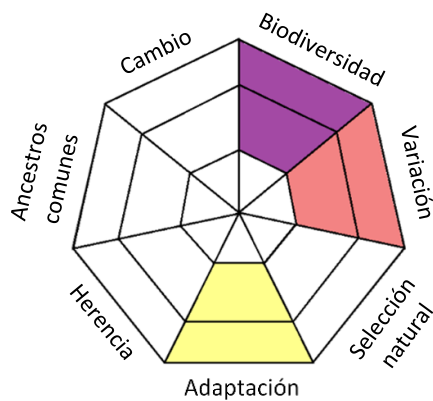
1. b) Porque xa estaba acosumbrado e son os grados e vitamis que dan o sol.

2. Porque o seu curman ten mais melanina que protexe mais do sol e ela ten eumelanina que cubre menos o sol.

3. E porque o color que recibimos cada un según esteamos mais a o ecuador e fai mais calor facendo ca umelanina reacione e a pel sexa mais clara.

4. -----

## ANEXO B15. ROBERTO



### Preconcepciones

1. a) Teñen en común: son seres vivos (animais), poden desprazarse dun sitio a outro, son vertebrados.  
Diferéncianse: os seus ósos non están na mesma posición, 1 nada, 1 voa e 2 camiñan, non se alimentan do mesmo, o humano ten un maior cerebro.
- 1.b) -----
2. -----
3. Opino que seguirán sendo brancas, porque a pintura non pode influir no desenvolvemento das flores plantas, árbores, etc. Terían que comprar novas sementes.
4. Creo que é polo lugar típico onde vivimos, por exemplo, soe haber moitos negros en África porque ali fai moita calor e fai que a pel sexa máis escura
5. a) Porque os machos son brancos e as femias negras, ou viceversa.
- 5.b) -----

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	<del>grande</del> mediano	<del>mediano</del> largo	grande
Cor	<del>verdes</del> negro	castaño	blanca
Forma	<del>achatada</del> redonda	rizado	redonda

#### Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

La primera, la cuarta. La primera porque tiene muy negra, la cuarta porque es muy blanca.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

La primera, la quinta. Porque son muy negras.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

La segunda y la cuarta. Porque son bastante blancas.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	32	0	8	40

## Sesión 2

### Actividades Melanineando y $A+B=C$ ?

4. FABRICANTE DA MELANINA		
Benvid@ ao melanosoma do melanocito!		
A túa misión será cumprir as instrucións que veñan dos tripletes e fabricar o tipo de melanina apropiado, isto é, EUMELANINA, ou FEOMELANINA ou SEN MELANINA. Daquela:		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cada vez que che digan EUMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas ESCURAS.</li> <li>2. Cada vez que che digan FEOMELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas CLARAS.</li> <li>3. Cada vez que che digan SEN MELANINA, terás que meter no vaso 10 boliñas SEN COR.</li> </ol>		
Non esquezas anotar aquí o número de veces que fabricas cada tipo para levar ben as contas!@		
Eumelanina	Feomelanina	Sen melanina
20	30	10

## Sesión 3








### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque o Sol incide moi fortemente nelas, elas necesitan tamén máis eumelanina para protexerse e por iso teñen pel escuro.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2			1	1			
1					1	1	
2ª XERACIÓN							
				3		1	
				1	1		1
3ª XERACIÓN							
						1	1
							2
4ª XERACIÓN							
						4	3

### POBLACIÓN B

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

### Actividad A *vitamina do sol*

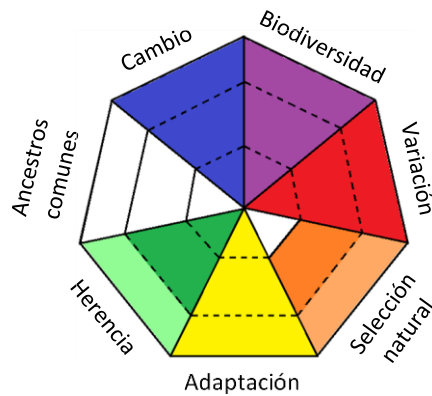
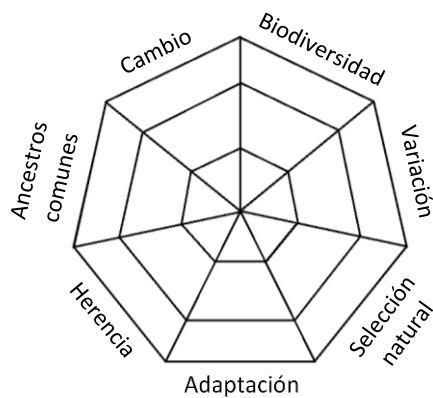
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En

cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

1.a) O peixe azul e rico en vitamina D polo que fai que os teus ollos sexan mais fortes.
1. b) Na India fai máis Sol e os seus ollos eran negros por iso. En Alemaña non fai tanto Sol.
2. O seu curmán vive en Kenia e ten a pel oscura, isto é, ten máis eumelanina que feomelanina. A feomelanina fai que a túa pel sexa clara pero non protexe do Sol tan ben como a eumelanina.
3. Os raios solares que inciden nela, porque faría que tivera a pel máis escura ou clara, os genes e ADN dos seus pais e a vitamina D que dixiere.
4. O peixe azul é rico en vitamina D e fai que sexan de pel escura.

## ANEXO B16. SUSANA



**Preconcepciones: NO ESTABA**

### Sesión 1

**Actividad *Mírame ben!***

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Pequeños	Largo	Mediana
Cor	Azul	Entre castaño y ruivo	Blanco
Forma	Redonda y acaba en punta	liso	Ovalada

**Actividad *Cun pouco de melanina***

Damián, Fernando, Isabel, Javier y Susana discutían si la número 4 era albina o no y, por lo tanto, si debía llevar solo bolas “blancas” o también de las otras.

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

o número 2, porque tiemene máis balsas de tinta  
o número 4, porque es medio albina

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

El 1 porque tiene muchos eumelaninas  
El 4 porque su piel es muy blanca

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

El 2

El 1

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	27	2	1	30
2	3	17	6	26
3	15	12	4	31
4	0	10	20	30
5	20	15	3	38

## Sesión 2

### Actividades Melanineando y $A+B=C$ ?

- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ ?:

**Natalia:** [Con orgullo] ¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].

**Mónica:** Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño

**Carlos:** El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.

**Gonzalo:** [Con tono burlón] Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...

**Investigadora:** ¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?

**Hugo:** Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...

**Susana:** El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.

**Mónica:** ¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.

**Investigadora:** Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.



**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** El nuestro también salió de piel muy oscura.

**Alba:** Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.

**Óscar:** Quizás es por un familiar lejano.

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** Amarillo.

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

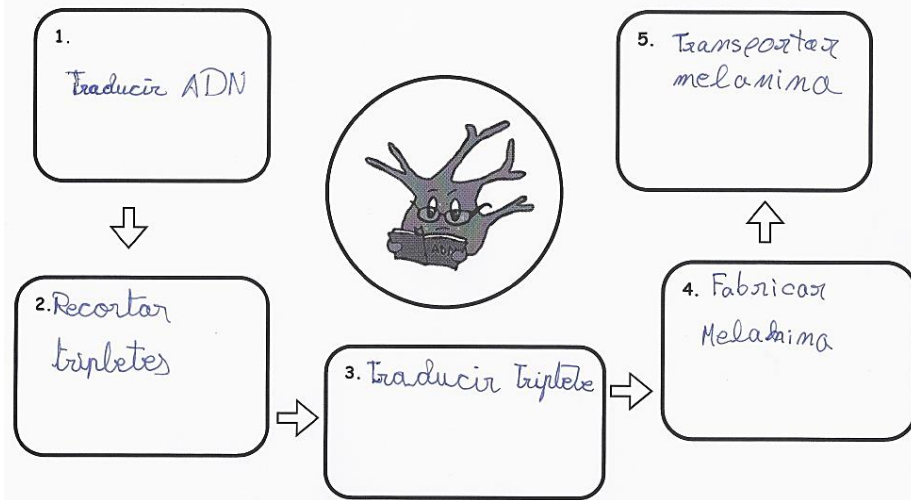
**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

### ¿Cuales son os pasos para producir melanina?



### Sesión 3








#### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque: por los rayos ultra violeta y por os genes. Tamén depende onde vives

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
↑			↑			↑	↑
↑		↑				↑	
2ª XERACIÓN							
		↑		2		3	
3ª XERACIÓN							
↑		4					7
4ª XERACIÓN							
				1B			3

### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

### **Comentarios:**

Los dos escarabajos marcados en gris podrían haberse mantenido en la siguiente generación, lo que sugiere que estaban muy pendientes de ejercer la selección natural (eliminando los que no disponían de las características adecuadas e incorporando aquellos que sí las tuvieran), pero independientemente de si aparecían en la generación anterior o no. Es decir, que no trabajaban tanto con *su* población, sino con la totalidad de ejemplares de escarabajos disponibles (fichas).

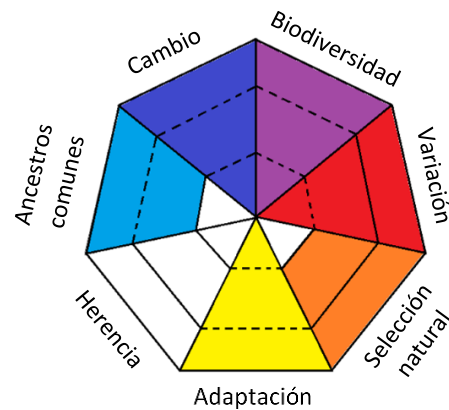
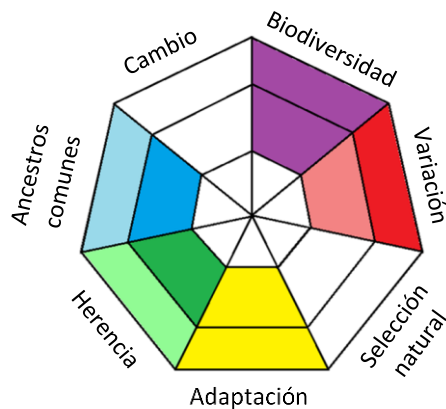
### **Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

1. a) Ten pouco calcio porque ao ter a pel máis escura o calcio ou as vitaminas son máis difícil que entren no seu corpo.
1. b) Porque en India facía mais calor e sol que en alemania.
2. Porque ela ten a pel máis clara que o seu curman e entón ela queimase mais ca el.
3. Pola xenetica e porque algunhas persoas teñen máis eumelanina ou feomelanina.
4. -----

## ANEXO B17. TOMÁS



### Preconcepciones

1. a) Teñen en común as articulacións. En que cada unha tiñan o ombro e as mans ou as patas distintas.
1. b) Porque hai moito tempo todos os animais mamíferos eran algo parecido a unha rata.
2. Porque pode que se pareza a un dos seus avós.
3. -----
4. Por o lugar onde nacemos ou descendemos, e por o clima que fai no seu lugar.
5. a) -----
5. b) Porque pode que os ratos de cor escura se foron alí para vivir mellor, xa que se poden camuflar e os animais non os ven.








**Sesión 1** – NO ESTABA

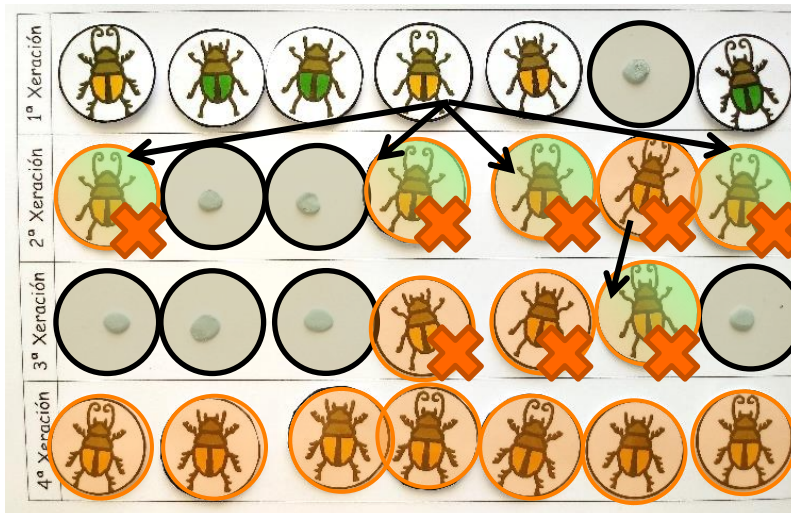
**Sesión 2** – NO ESTABA

**Sesión 3** – SIN DATOS

### Sesión 4

#### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han “seleccionado” entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural “acumulada”.
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



**POBLACIÓN A**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

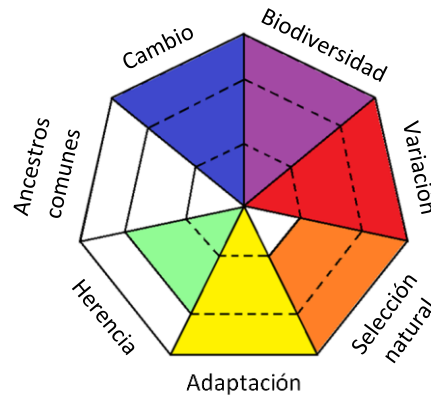
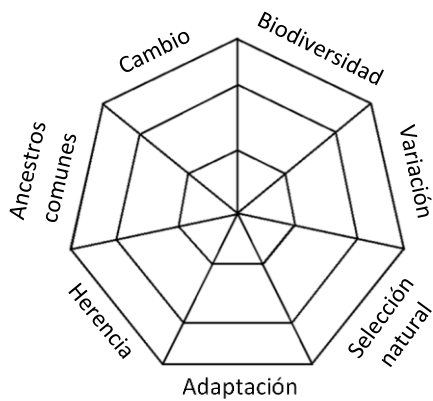
**Comentarios:** No completaron la plantilla de anotaciones, por lo que los datos se han extraído de la Plantilla de Generaciones, pero incompleta, puesto que reutilizaron las fichas para las siguientes generaciones. Por ello es muy probable que al menos uno o incluso los dos tipos de escarabajo que conforman G4 ya estuvieran en G3 o incluso antes.

**Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

1. a) -----
1. b) -----
2. Porque o seu curman ten máis cantidade de eumelanina, así que os raios UV non lle entran en a pel tanto.
3. Porque fai moito tempo atrás os primeiros omes vivían en africa ecuatorial pero unha tribu se marchou, e pasou moito tempo e xa estaban en Europa e Asia. E un tempo despois chegaron a america. O clima e temperatura en todos estos lugares era totalmente diferente, por iso adoptaron novos tons de pel.
4. Porque o peixe azul da mais eumelanina.

## ANEXO B18. UXÍA



**Preconcepciones: NO ESTABA**

### Sesión 1

**Actividad *Mírame ben!***

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Pequeños	Mediana	Pequeña
Cor	Verde claro	Marrón-dorado	Carne-rosita
Forma	Obalada	Lisa	Redondita

**Actividad *Cun pouco de melanina***

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

Número 1º máis. Número 4º menos. Porque teñen máis eumelanina e bolbras e ten menos melanina máis escura ou clara.

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

1º máis. 4º menos. Porque teñen pel máis escura e máis clara.

c) Más feomelanina? E menos? Por que?

2.<sup>o</sup> más porque ten tono amarelo  
4.<sup>o</sup> menos porque ten tono claro








FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	22	4	0	23
2	3	5	1	9
3	6	3	0	9
4	0	6	7	13
5	9	4	0	13

Sesión 2 – NO ESTABA

Sesión 3 – NO ESTABA

Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



**POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

**Actividad A vitamina do sol**

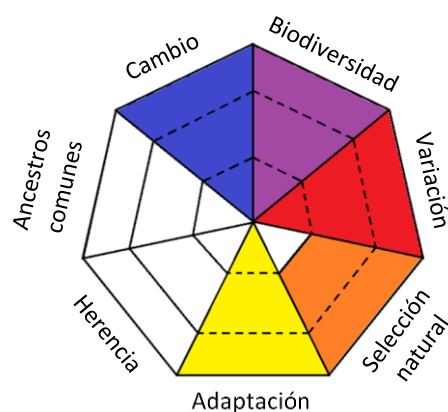
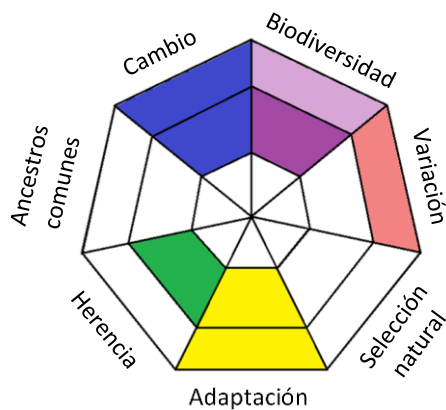
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

**Actividad de aplicación**

- |   |
|---|
| 1.a) Lle falta vitamina D. Porque ao mudarse recibe menos raios de sol.                   |
| 1. b) Porque non lle faltaba sol.   |
| 2. Porque o seu curman ten eumelanina e non lle pasan tantos raios de sol, pero a ela si. |
| 3. A melanina. E o sitio onde viven, a pel se acostumbra, ou a xenetica.                  |
| 4. Porque toman moita vitamina D.   |



## ANEXO B19. VERÓNICA



### Preconcepciones

1. a) Que todos teñen extremidades. O humano non é un animal, e todos teñen a forma das extremidades diferentes.
1. b) Porque todos son seres vivos e teñen os mesmos ósos.
2. -----
3. Que ten razón Cinco de picas, porque aínda que as pinten vermellas as sementes seguen sendo as mesmas e seguen tendo a mesma cor.
4. Porque en cada país hai unha cor concreta de pel: En África: marrón escuro Brasil: Café claro. Etc...
5. a) Porque cada un ten o pelo dunha cor diferente (coma a súa nai ou pai) É igual ca nos.
5. b) Porque pode ser que os ratos estiveran adaptados a súa terra e por iso tiñan cor clara antes da erupción e despois dela adaptáronse á cor escura.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

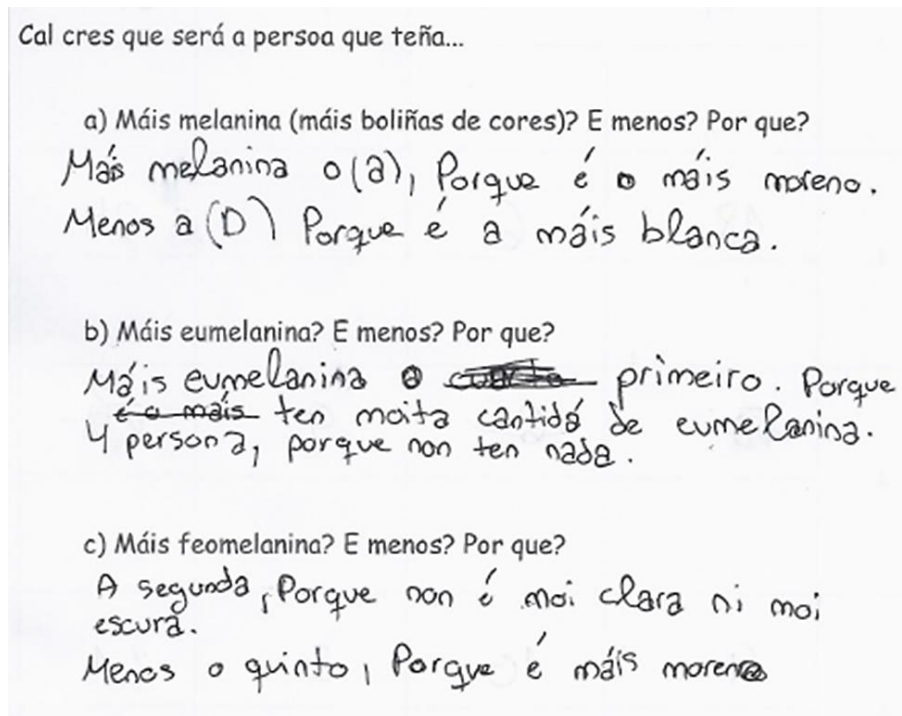
	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Pequenos	Curto	Mediana
Cor	Marrón escuro	Marrón	Branca
Forma	espichados	Liso <del>Normal</del>	redonda

#### Actividad *Cun pouco de melanina*

- Al presentar la melanina como sustancia que da color a la piel, al pelo y a los ojos:

**Verónica:** Si la melanina es lo que da color a nuestra piel, a nuestros ojos y a nuestro pelo, ¿cómo es que hay gente que tiene el pelo rubio, negro, pelirrojo...?

- Hipótesis de partida:



### Sesión 3

#### **Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh***

- Discutiendo sobre lo observado en los mapas de distribución mundial de tonos de piel y de radiación UV:

**Investigadora:** *¿Qué pasa chicos?*

**Gonzalo:** *Nada... Que no están de acuerdo con lo que yo digo. Que dicen que es lo que dice Lorena.*

**Investigadora:** *¿Y qué dice Lorena?*

**Lorena:** *Es que yo creo... A ver... Lo que yo pienso es que... las personas que están en las zonas cerca del Ecuador [apunta al mapa] tienen la piel más oscura porque..., o sea, tienen mucha eumelanina, su ADN produce eumelanina..., entonces la radiación del sol, que aquí es muy fuerte, hace que produzcan más melanina, y como tienen más melanina de la oscura que de la clara, pues hace que tengan la piel muy oscura. En cambio, en otras zonas donde hace menos sol, no se ponen tan morenos, no fabrican tanta melanina y su piel es más clara.*

**Gonzalo:** *Y yo digo que es porque lo necesitan, porque en la zona del Ecuador hace mucho sol y mucho calor, y la piel oscura te protege mejor. Así no se queman.*

**Investigadora:** *¿Y por qué no estáis de acuerdo con lo que dice Gonzalo?*

**Lorena:** *Vale, entonces es lo que dice Gonzalo.*

**Investigadora:** *No, yo no he dicho eso...*

[Se miran unos a otros]

**Verónica:** *Sí. Puede ser que al darles más el sol fabriquen más melanina y así se quemem menos...*








**Lorena:** *Sí, supongo que sí... O sea, que tienen más melanina porque así se protegen mejor, están más adaptados a las altas temperaturas.*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque esas zonas estaban máis ou menos no ecuador e alí dá máis o sol e por que a pel máis escura está máis preparada para esas sitios.

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
	1	1	1	1	1	1	1
2ª XERACIÓN							
				1	3		1
				1	1		1
3ª XERACIÓN							
						2	2
						1	1
4ª XERACIÓN							
						4	3

### POBLACIÓN B

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

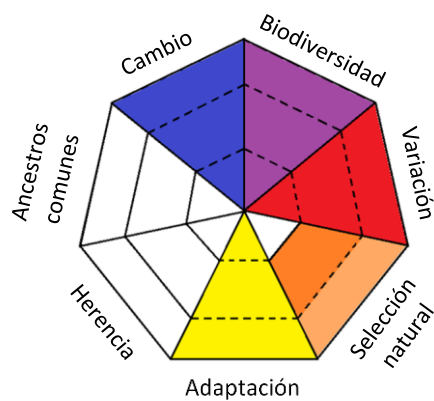
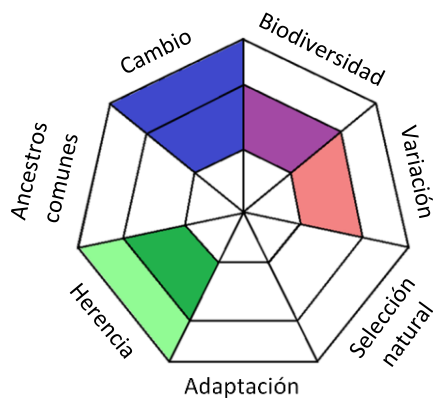
### **Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### **Actividad de aplicación**

- |  |
|--|
| 1. a) Que ela non come moitos alimentos que lle proporcionen vitaminas ou calcio e o peixe ten moita vitamina e porque alí non hay moitos alimentos así.                           |
| 1. b) Porque na India comía máis peixe porque en Alemaña non hay moitos entón alí non come tanto peixe azul.   |
| 2. Porque o seu curman, o ton da súa pel é máis escura e as peles así están mais adaptadas a temperatura e non se queiman en cambio ás peles máis craras se queiman mais.          |
| 3. Porque unhas persoas teñen máis melanina que outras:<br>As que teñen máis eumelanina teñen a pel máis escura as que teñen máis feomelanina teñen a pel máis alaranxada e crara. |
| 4. Porque a súa dieta lle proporciona moito calcio, e vitaminas, e esa dieta conserva máis eumelanina.   |

## ANEXO B20. XIANA



### Preconcepciones

1. a) Que son vertebrados. Que os seus osos no son parecidos.
1. b) Porque cada animal ten o esqueleto diferente..
2. É porque na súa familia poideron ter un gato con pelo longo..
3. Seguiran dando rosas brancas. Pero se quixeran vermellas terían que cambialas.
4. -----
5.a) Que ao mellor cambia a cor.
5.b) Por que cambiaron de zona, de sitio.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	Mediano	Corto	Grande
Cor	Azules	Rubio	blanca
Forma	Circul	Leo	Arabada

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?  
*primera e a quinta, a cuarta porque a primeira é mas escura. Porque tiene la piel mas clara*

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?  
*La primera La quinta Porque tiene la piel escura*

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?  
*La segunda La cuarta Porque tiene la piel mas clara*

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	32	0	8	40
2	2	16	4	22
3	10	5	2	17

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C$ ?

- Reparto de roles al inicio de *Melanineando*:

**Xiana:** Aquí pone que tengo que empezar a recortar en la primera U que encuentre... ¿Pero sirve cualquier U o la primera que aparezca al principio de un triplete? Porque aquí [apuntando al ejemplo de la tarjeta] está al principio y para parar dice que tiene que ser en un triplete que empiece por U.

**Investigadora:** [Cayendo en la cuenta de que la redacción no lo deja claro] La primera que aparezca al principio de un triplete, sí. Siempre al principio de un triplete.

- Extracto de la puesta en común de  $A+B+C$ :

**Natalia:** [Con orgullo] ¿Mira, te gusta? Es nuestro hijo, Cristian; es adoptado [tono muy oscuro].

**Mónica:** Sí, somos una pareja de lesbianas y hemos adoptado un niño

**Carlos:** El nuestro está enfermo: no tiene melanina. Es albino.

**Gonzalo:** [Con tono burlón] Uhh... pues el de Hugo y Susana se parece mucho a su color, ¿eh, Hugo? Podría ser vuestro hijo de verdad...

**Investigadora:** ¿Y de qué equipo erais? ¿Cómo era vuestro tono?

**Hugo:** Yo era del azul y Susana del verde, así que tiene sentido que nos haya salido de tono intermedio, porque... nuestro color, el del equipo azul... era muy clarito [uno de sus compañeros de equipo señala su vaso grande]... sí, ese... Y Susana...

**Susana:** El mío era este [señalando al vaso grande correspondiente, de tono muy oscuro]. Entonces es como mitad de cada.

**Mónica:** ¿Entonces sois azul y verde? Nosotras también... Pero el nuestro es súper oscuro. Salió al padre.

**Investigadora:** Ya veis... Y los dos partisteis de los mismos ADN, pero luego, al pasar solo la mitad de cada uno... Es como si fuerais hermanos... Y aun así... Como en la realidad, que hay hermanos muy diferentes.

**Pedro:** Como las gemelas de las que habló Lorena.

**Investigadora:** Por ejemplo. O el caso de los hermanos que vimos en clase, ¿os acordáis?

**Xiana:** El nuestro también salió de piel muy oscura.

**Alba:** Es que tuvimos que echar muchas bolitas de eumelanina, porque al hacer la tira...nos salió todo con A.

**Óscar:** Quizás es por un familiar lejano.

**Investigadora:** ¿Y de qué equipos sois vosotras?

**Xiana:** Amarillo.

**Alba:** Rojo.

**Javier:** El nuestro también se parece al de Hugo y Susana, aunque un poco más claro...

**Investigadora:** ¿Y sois del mismo equipo que ellos?

**Javier:** Sí.

**Óscar:** No, Javier sí, es del azul, pero yo soy del equipo amarillo.

**Investigadora:** Pues mira, diferente padre... o madre..., y aún así parecidos. Y compartís con Alba y Xiana el padre, o madre, amarillo y tenéis un color mucho más claro...

### Sesión 3








#### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

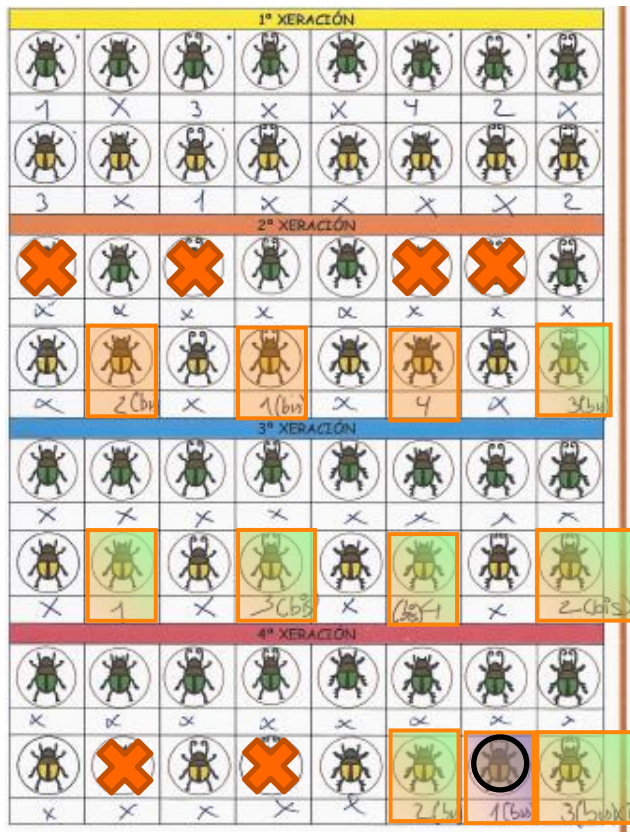
Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Porque non lles daba tanto co te eumela  
nina*

### Sesión 4

#### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios



### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

### Comentarios:

- Téngase en cuenta que, al cubrir la plantilla de trabajo, no solo indicaron qué tipo de escarabajos tenían en cada generación sino además en qué posición aparecen. Por eso aparecen números (del 1 al 4; porque los cuentan por colores: cuentan todos los verdes por un lado, los amarillos por el otro). Y el "bis" indica que hay otro de ese tipo y si necesitan más, indican por cuantos con el signo de multiplicación: 3(bis) x2
- En la G4 añadieron un nuevo tipo de escarabajo, quizás porque ya no quedaban escarabajos adecuados y esas fueron las primeras fichas que consiguieron, que cumplen las características de G2 y G4, aunque no de G3.

### Actividad A vitamina do sol

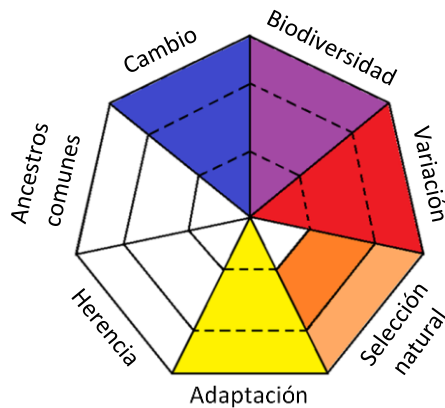
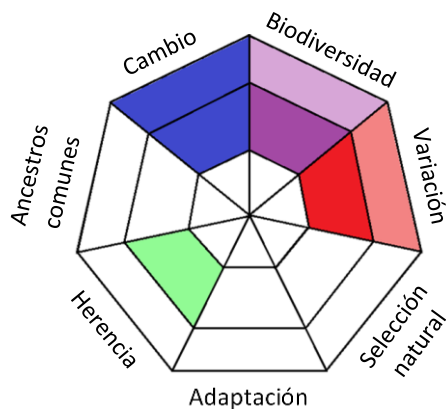
Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque "estaban mejor adaptados", dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

### Actividad de aplicación

1.a) Pois que estando aquí ten que tomar máis vitaminas e o pescado azul te máis vitaminas. 1.b) Porque lle daba o Sol máis.
2. Porque o seu curmán co Sol xa tiña moita eumelanina e Sakura non tanta.
3. Porque hai xente que ten mais ou menos: Melanina: tons máis claros Feomelanina: tons intermedios Eumelanina: tons máis escuros.
4. Porque o peixe azul contén vitamina C e por iso a teñen tan escura.



## ANEXO B21. YOLANDA



### Preconcepciones

1.a) Que todos son seres vivos e teñen ósos.

A diferencia é a forma dos ósos de cada man ou pata, aleta, etc.

1.b) Porque nos ósos a muñeca ten sempre a mesma forma.

2. Porque a medida que crecen os gatiños van perdendo o pelo e algúns acaban con eles cortos como estes dous.

3. Que si porque se equivocaron e compraron brancas e non vermellas.

4. Porque cada un nace cunha cor diferente; tamén a veces de onde sexas podes ter a pel de moitas cores.

5.a) Porque algúns ratos naceron coa cor máis escura porque pode que lle afectou as rochas de lava.

5.b) Porque cando os ratos eran de cor clara aínda non estaba a lava, pero despois da erupción algúns ratos se foron para a lava e lles afectou, e quedaron dunha cor máis escura que os ratos que quedaron no deserto, afastados da lava, que seguen sendo da mesma cor.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	MEDIANOS	CORTO	MEDIANA.
Cor	NEGROS	NEGRO	CHOCOLATE
Forma	ALARGADOS	RIZADO	OVALADA

#### Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis bolitas de cores)? E menos? Por que?

Máis 1º. Menos 4º. Porque ten máis eumelanina  
Porque casi non ten MELANINA

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

Máis 0 1º. Menos 4º.  
↓  
Porque e máis escura. Porque e máis clara.

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

Máis 2º. Menos 4º.  
↓  
Porque ten unha cor amarela.

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	22 bolitas.	0 bolitas.	0 bolitas.	22 bolitas.
2	3 bolitas.	5 bolitas.	1 bolitas.	9 bolitas.
3	6 bolitas.	3 bolitas.	0 bolitas.	9 bolitas.
4	0 bolitas.	5 bolitas.	7 bolitas.	13 bolitas.
5	9 bolitas.	4 bolitas.	0 bolitas.	13 bolitas.

## Sesión 2

### Actividades Melanineando y $A+B=C$ ?

- Durante el reparto de roles al inicio de Melanineando:

**Yolanda:** A ver... Yo voy primera, eso lo tengo claro, pero ¿qué tengo que darle a Fernando? Fernando es el 2, tiene que cortar la tira, pero... ¿la tira que nos has dado o la otra? ¿O las dos?

**Investigadora:** ¿Para qué es la otra tira?

**Yolanda:** Para hacer el ARN mensajero.

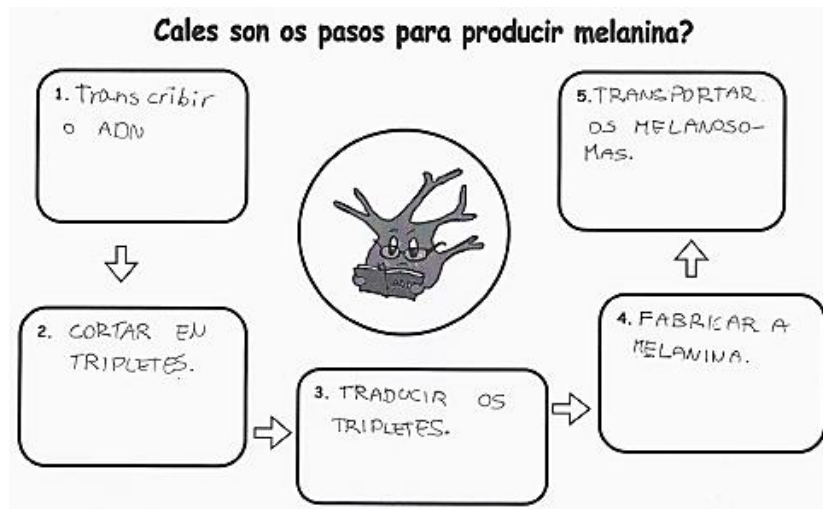
**Investigadora:** ¿Y cuál puede entender la célula? ¿El ADN o el ARN mensajero?

**Yolanda:** Mmm... El ARN mensajero.

**Investigadora:** Por eso es mensajero, ¿no? Porque lleva el mensaje.

**Yolanda:** [Asiente satisfecha] Vale, entonces tengo que darle la nueva. ¡Gracias!

- Modelo del proceso de expresión de los genes:



### Sesión 3

#### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

Porque as persoas que vivían nas zonas con máis radiación solar, teñen a pel máis escura porque necesitan moita eumelanina para protexerse, e entón coa radiación e co sol se lle puseon as peles máis escuras.

### Sesión 4

#### Actividad *Bingo escaravello*

- Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
- Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
- Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
- Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
- Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
- No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
- Ver comentarios



**POBLACIÓN B**

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: patas pelosas

De G2 a G3: antenas rizadas

De G3 a G4: color verde

**Comentarios:**

1. Divergencias entre la ficha de anotaciones y plantilla de generaciones:

- G1: había 3 fichas amarillas, no una sola ni la que indican, sino 2 de las de patas pelosas y antenas rizadas sin mandíbulas, que además reproducen en G2.

- G2: había 3 fichas amarillas, en lugar de 4, y solo de 2 tipos.

2. Los dos que introducen “nuevos” en G2 son exactamente iguales a los G1 salvo en que en G1 tenían las patas lisas y en G2 aparecen con ellas pelosas, que era justo el “criterio” de selección.

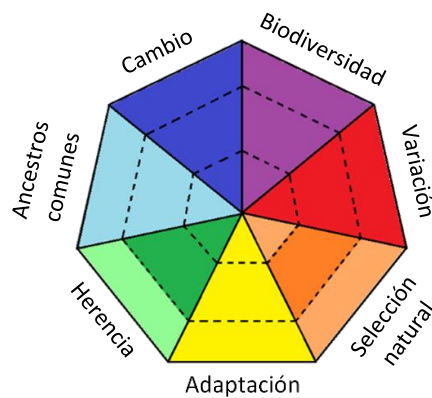
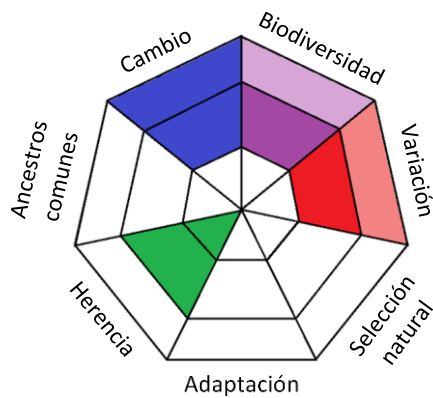
**Actividad A vitamina do sol**

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

**Actividad de aplicación**

- |  |
|--|
| 1. a) Que as persoas que ten a pel máis escura, para, estar millor, por decir, teñen que tomar mais peixes azuis.  |
| 1. b) Porque no sur, tiñan máis calor e non necesitaba nada.   |
| 2. Porque o seu curmán ten a pel máis escura e as persoas con pel máis escura non se queman casi nada porque ten máis melanina.  |
| 3. Porque, por exemplo, as persoas que teñen pel máis escura a ten así porque nel a Africa, por exemplo, teñen que acostumar a calor entón a xente, que ten a pel escura deixa pasar menos sol, pero, as de pel clara deixan pasar mais o sol. |
| 4. -----   |

## ANEXO B22. ZELTIA



### Preconcepciones

1. a) Que son animais vertebrados. Todos son mamíferos menos a ave.
1. b) Aparte de que sexan animais vertebrados son parecidos porque temos funcións en común.
2. Ese gatiño naceu así porque poido estar máis tempo na barriga da súa nai e está máis formado.
3. Eu penso que seguirán dando rosas brancas, porque aínda que as pinten, as rosas seguen sendo rosas brancas.
4. Polo ADN dos nosos pais ou póla luz solar, por iso cando vamos a praia nos poñemos morenos.
5. a) Pola cinza, a estes ratos lles quedou cinza e lle quedou unha cor escura.
5. b) Porque os ratos de cor escura lles afectan a cantidade de cinza das rochas e agora hai máis cantidade.

### Sesión 1

#### Actividad *Mírame ben!*

	Ollos	Pelo	Cara
Tamaño	MEDIANOS	POUR LOS HOMEBROS	NORMAL
Cor	MARRÓN	MARRÓN	NORMAL
Forma	OBALADOS	OBULTOSO	OBALADO

## Actividad *Cun pouco de melanina*

Cal cres que será a persoa que teña...

a) Máis melanina (máis boliñas de cores)? E menos? Por que?

MÁIS - 1º  
 MENOS - 4º  
 PORQUE TEN MÁIS EUMELANINA PORQUE CASI NON TEN ME

b) Máis eumelanina? E menos? Por que?

1º  
 4º  
 PORQUE E MÁIS ESCURA MÁIS CLARA

c) Máis feomelanina? E menos? Por que?

1º  
 2º  
 MÁIS AMARELA

FOTO	EUMELANINA	FEOMELANINA	SEN MELANINA	TOTAL
1	22 BOLITAS	1 BOLITAS	0 BOLITAS	22 BOLITAS
2	3 BOLITAS	5 BOLITAS	-1 BOLITAS	4 BOLITAS
3	6 BOLITAS	3 BOLITAS	0 BOLITAS	9 BOLITAS
4	0 BOLITAS	6 BOLITAS	7 BOLITAS	13 BOLITAS
5	4 BOLITAS	4 BOLITAS	0 BOLITAS	13 BOLITAS

## Sesión 2

### Actividades *Melanineando* y $A+B=C?$

- Su descendiente, combinando la mitad de su información genética (grupo rojo) con la de su compañero (grupo verde):

AGG | TCT | TAA | ATC | TTG | CCG | TAA | ATA

## Sesión 3

### Actividad *Un raio de sol, oh, oh, oh*

- Introducción al subproblema “¿Cómo llegamos a tener tonos de piel tan diferentes?”:

**Gonzalo:** Porque el ser humano viene de África y allí hay más radiación.

**Zeltia:** Por la acción del sol, que en unas zonas es más fuerte que en otras y entonces... hace que la piel... las células fabriquen más o menos melanina.

**Javier:** Porque todos procedemos de una misma pareja inicial...

- Recapitulación antes de iniciar el experimento de las linternas:

**Investigadora:** *Antes habéis visto que, en función de la zona donde vivían, las personas tenían un tono de piel más claro o más oscuro, y ahora acabamos de ver para qué sirve la melanina, ¿verdad?*

[La mayoría asiente]

**Gonzalo:** *Sí, yo tengo [eu]melanina para protegerme de la radiación solar.*

**Bruno:** [A su lado] *Pero yo no soy igual por todo el cuerpo. Mis brazos son más morenos por fuera que por dentro [extiende los brazos y muestra la diferencia]*

**Gonzalo:** *Ni yo. Mis palmas son blancas [al tiempo que las muestra]. Y las plantas de mis pies.*

**Investigadora:** *Cierto. ¿Y por qué será que tenemos todos las palmas [de las manos] y las plantas [de los pies] blancas?*

**Zeltia:** *Porque no les da el sol.*

**Investigadora:** *¿Y?*

**Zeltia:** *Entonces no necesitan tener melanina que los proteja de la radiación.*

- Puesta en común:

**Investigadora:** *Entonces... Teniendo en cuenta todas estas pruebas que acabamos de ver: los mapas, el vídeo, el experimento de las linternas... ¿Qué pensáis? ¿Por qué será que las personas que vivían en las zonas con radiación solar más intensa acabaron por tener tonos de piel tan, tan oscuros?*

**Óscar:** *Porque se adaptaron.*

**Javier:** *Porque al hacer tanto sol, necesitan feomelanina para...*

**Bruno:** *¡Pero qué dices! Es la eumelanina. La eumelanina hace como una capa protectora para que el ADN no sufra mutaciones.*

**Javier:** *¿Eumelanina? ¿La eumelanina es la oscura...?*

**Zeltia:** *Porque están adaptados al lugar donde viven, porque la piel oscura tiene más eumelanina y la eumelanina protege mejor de la radiación solar.*

**Investigadora:** *Entonces era mejor tener la piel oscura que la piel clara, ¿no? [Varios estudiantes asienten] ¿Y cómo llegaron a tener la piel taaaan oscura? Es decir, ¿cómo llegaron a tener taaaanta eumelanina? Porque al principio había personas con la piel más oscura, otras con la piel más clara...*








**Zeltia:** *Porque había personas que su ADN producía más eumelanina y entonces estas personas se quemaban menos... Entonces estaban más sanas y al tener hijos, esos hijos pues eran ya más oscuros, porque heredaban la eumelanina de sus padres, y cada vez más, hasta que con el paso del tiempo todos acabaron teniendo la piel con tonos muy oscuros.*

Tendo en conta todas as probas que acabamos de analizar e o experimento que acabamos de facer... Por que as persoas que vivían nas zonas con radiación solar máis intensa acabaron por ter tons de pel moi escuros?

*Para eumelanina que van ederando  
das seus pais van collendo tonos  
máis escuros.*

## Sesión 4

### Actividad *Bingo escaravello*

-  **Selección natural completa:** el escarabajo no solo presenta los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones, sino que además provienen de la generación anterior.
-  **Selección natural parcial:** el escarabajo es de nueva incorporación (no aparece en generaciones anteriores), pero lo han "seleccionado" entre todos los disponibles de manera que posea todos los rasgos favorecidos por la selección natural entre generaciones.
-  **Selección natural puntual:** el escarabajo es de nueva incorporación y está bien seleccionado, pero solo para el rasgo favorecido en esa generación. Es decir, no hay selección natural "acumulada".
-  **Bien descartado por selección natural:** Presente en la generación anterior, ha sido descartado en la siguiente generación por no verse favorecido por la selección natural.
-  **Mal seleccionado:** aparezca en generaciones anteriores o sea de nueva incorporación, no cumple con los rasgos favorecidos por la selección natural para esa generación.
-  No contabilizado/mal apuntado en plantilla de trabajo
-  Ver comentarios

1ª XERACIÓN							
2ª XERACIÓN							
3ª XERACIÓN							
4ª XERACIÓN							

#### POBLACIÓN A

Rasgos favorecidos por la selección natural de generación en generación:

De G1 a G2: color amarillo

De G2 a G3: mandíbulas fuertes

De G3 a G4: patas pelosas

#### **Comentarios:**

Al menos uno de los escarabajos marcados en gris en la G3 está mal apuntado, porque en total contaban con 7 escarabajos, no 8. Desafortunadamente, no es posible saber cuál(es) a partir de la plantilla de trabajo porque G3 presenta 4 espacios en blanco. Estos huecos se deben a la reutilización de las fichas de las que ya disponían cuando no disponían de suficientes en el montón libre. Probablemente, algunas, o todas, esas cuatro fichas ausentes fueron empleadas para completar su propia G4 (que solo presenta 6 fichas, precisamente debido al número limitado de fichas disponibles).



### Actividad A vitamina do sol

Durante la realización del experimento todos los grupos obtuvieron grandes diferencias en la absorción de radiación UV y, en consecuencia, de vitamina D, en función del tipo de melanina predominante (eumelanina vs feomelanina): 4-16; 3-26; 2-28; 10-26 y 1-24. A partir de estos resultados concluyeron que a medida que nuestros antepasados fueron alejándose del Ecuador evolucionaron hacia tonos de piel más claros porque “estaban mejor adaptados”, dado que podrían producir suficiente vitamina D. En cambio, las personas con piel oscura tendrían poca vitamina D, lo que debilitaría sus huesos y haría que enfermaran. Asimismo, confirmaron que ese cambio había sido gradual, según se habían ido extendiendo por todo el mundo, citando el mapa de migración que habían visto al inicio de la actividad.

- Mientras discutían en gran grupo acerca de los datos mostrados por las gráficas sobre concentración diferencial de vitamina D en distintas poblaciones, Zeltia sugirió que en la producción de dicha vitamina podía estar interviniendo la luz solar.

1.a) Que como fai máis frío no recolle os raios UV que son necesarios para o crecemento dos osos. Por que alemania está mais ao norte.

1.b) Por que a India esta no sur e fai mais calor que lle proporciona máis raios UV.

2. Por que ela ten feomelanina que deixa pasar máis o sol e acabou queimandose, e o seu curman ten eumelanina que protexa dos raios ultravioleta.

3.



4. ?

# **ANEXO C**



## ANEXO C. ENTREVISTA A LA DOCENTE

### La secuencia de contenidos y actividades

1. ¿Te pareció adecuada (progresiva, bien estructurada...) la secuenciación de...

a) ...los contenidos?

**1. La variedad de tonos de piel, melanina como responsable de ese tono y tipos.** Adecuada y bien estructurada. Considero que partiendo de algo tan atractivo como la exposición de fotos “humanae” hizo que los alumn@s reflexionasen sobre cuál es realmente su color.

**2. El tono de piel como una característica heredable.** Adecuada y bien estructurada. Al principio consideré que incluir el tema ADN en un grupo de 5º de primaria sería difícil de entender pero el juego de intentar descifrar un mensaje secreto creo que los puso en situación para poder comprender el “lenguaje propio del ADN”.

**3. El tono de piel como una adaptación al medio.** Adecuada y bien estructurada.

**4. Tonos claros u oscuros en función del medio por acción de la selección natural.** Adecuada. Aunque considero que esta sesión fue la que más les costó comprender. La idea de partir “bingo escaravello” para tratar la selección natural considero que fue acertada. Lo que pienso que no comprendieron muy bien fue la relación con la vitamina D, etc...

b) ...las actividades?

- **Prueba de ideas previas.** Perfecto. Muy motivadoras y atractivas para el grupo-clase y totalmente adaptadas a su edad.

- **Actividades de introducción en cada sesión: Cal é a túa cor? (S1), Descifrar el mensaje (S2), E ti...como te vés adaptando? (S3), Bingo escaravello (S4)** Buenas y acertadas. Estas actividades marcaron sin duda el ritmo de la sesión. Introducir el juego en la metodología del aula es algo básico en estas edades. La relación que guardaban estos juegos con los posteriores contenidos a tratar estaban muy bien pensados.

- **Actividades de desarrollo (experimento coas boliñas de cor para conseguir os tons de pel indicados, lectura do ADN, interpretación de mapas, experimento das lanternas...).** Estas actividades las considero como las centrales de las sesiones, es más, las que cuando hicimos memoria de lo aprendido son de las primeras que recordaban. El trabajo grupal fue un acierto ya que las actividades le invitaban a pensar y tomar conciencia de posibles soluciones de forma ordenada. Sin duda, la parte más creativa y en la que estaban más receptivos.

- **Puesta en común y reflexión al final de cada sesión.** Es probable que por falta de tiempo, esta parte es la que se podría ampliar.

- Prueba de evaluación. L@s alumn@s cubrieron una ficha de evaluación.

### **Las actividades**

2. a) ¿Resultaron motivadoras para el alumnado? ¿Por qué? Ya está contestada.

b) ¿Fueron adecuadas a su edad y sus capacidades? ¿Por qué? Si.

c) ¿Permitieron desarrollar con éxito los contenidos establecidos? ¿Por qué? Si. Porque estaban muy motivados y cuando muestran interés por un tema sin duda el descubrimiento e indagación van unidos.

d) ¿Cuál fue la actividad que más te gustó? ¿Y la que menos? ¿Por qué? La que más me gustó fue la elaboración de la cadena de ADN e interpretar ese código para crear “seres” con las bolitas de colores. Me pareció impresionante el experimento para hablar de genética.

Quizás la que menos me convenció fue la de la vitamina D. Porque creo que l@s alumn@s no entendieron muy bien el experimento de la caja.

### **Metodología y material**

**3. a) ¿Qué opinas de la metodología empleada (ventajas e inconvenientes)? ¿Volverías a emplearla? ¿Por qué?** Metodología acertada. Se consiguió una participación activa del alumnado, y el orden de los contenidos fue progresivo. Destaco las actividades variadas con diferentes técnicas no solo de observación-explicación sino también de manipulación. Tal y como comenté antes, el juego es un elemento indispensable para alcanzar el éxito en las sesiones. Sin lugar a duda, repetiría el trabajo experimental dentro del aula.

**4. ¿Qué opinas del material empleado a lo largo de la propuesta (PPT, Humanae, cartas de animales y ecosistemas, mapas, bolas de gel Orbeez, maqueta de la célula a través de caja de cartón y fichas de goma eva simulando Calcio, UVB, vitamina D y “previtamina D”, etc.)?** Material atractivo, adaptado a las edades del alumnado. Manipulativo.

### **Alumnado**

**5. ¿Cómo valorarías la actuación del alumnado a lo largo de la propuesta? ¿Disfrutaron aprendiendo?** Si y mucho.

**6. ¿Crees que han aprendido, de forma significativa, los contenidos que se pretendían?** Sin dudar. Este trabajo implicó una forma de pensamiento que induce al alumnado a resolver una situación a la que no están acostumbrados y a plantear posibles soluciones bien sea de clasificación, formulación de hipótesis, etc. Por lo tanto, cuando se implican existe el aprendizaje significativo.

**a) ¿En qué tuvieron dificultades? ¿Por qué?** Quizás a la hora de comunicar o predecir resultados. Es posible que por la falta de práctica en este ámbito.

**b) ¿Qué les resultó más fácil? ¿Por qué?** No destacaría nada como “fácil”.

**7. A la vista de los resultados alcanzados, ¿crees que el modelo de evolución biológica puede comenzar a trabajarse en Educación Primaria? ¿Por qué?** Sin duda. Es un tema que puede resultar como “ajeno” a la etapa pero está claro que adaptando materiales y metodología es posible.

### **Temporalización**

**8. a) La propuesta estaba organizada, inicialmente, en cuatro sesiones. Sin embargo, al final fue necesario hacer sesiones “dobles” (lo que equivaldría a 8 sesiones normales). ¿Consideras adecuada esta temporalización, o bien habría que reducirla/aumentarla? ¿Por qué?**

Considero que los temas son bastante amplios para tratar en sesiones de 50 minutos. Además el grupo clase es de 25 alumnos por lo que eso hace que sea algo más lento el reparto de material, juegos, etc.

Pienso que hacer sesiones de dos horas tal y como se llevaron a cabo es la mejor opción porque así no se “parte” explicación-experimento. Aún así, la puesta en común la ampliaría como por ejemplo por escrito en un panel grande donde vamos escribiendo conclusiones.

**b) ¿Cómo deberían distribuirse estas sesiones (una/varias por semana/mes...)?** Una-dos por semana.

### **Colaboración con la investigadora**

#### **9. Durante todo el proceso de puesta en marcha y desarrollo de la propuesta:**

**a) ¿Sentiste que se tuvieron en cuenta tus indicaciones (peticiones para cambiar algo, sugerencias de mejora, recomendaciones, observaciones...) y tus tiempos (adaptación a tus horarios y agenda; horas de dedicación al proyecto)? ¿Por qué?**

SIEMPRE. Se adaptó a horarios, agendas y todo lo necesario para llevarlo a cabo. Trato impecable.

**b) ¿Consideras que se te proporcionó toda la información que necesitabas para poner en marcha cada una de las sesiones, de modo que sabías con certeza qué tocaba hacer en cada momento, así como qué contenido se estaba trabajando? ¿O bien echaste algo en falta?** Todo lo contrario. Siempre pendiente.

### **A futuro**

**10. a) En general, ¿qué es lo que más/menos valoras de esta propuesta didáctica? ¿Por qué?**

-----

**b) ¿Crees que sería posible/recomendable aplicar esta propuesta didáctica de nuevo (en otro centro, con otro grupo de alumnos..., aplicando las mejoras que has ido señalando en apartados anteriores)?**

Por supuesto que sí.

Muchas gracias.



# **ANEXO D**





## ANEXO D. TRANSCRIPCIÓN GRUPO DE DISCUSIÓN

Para realizar la transcripción se usó el programa F4 (versión demo gratuita) y se siguió el formato de transcripción propuesto por Kvale (2011).

### Leyenda:

- **DOC 1:** Docente 1. Maestra-tutora de Educación Primaria
- **DOC 2:** Docente 2. Profesor de Biología de Educación Secundaria
- **DOC 3:** Docente 3. Profesora de Biología de Educación Secundaria

**Moderadora:** Bueno... Ehm::... Entonces... Yo quería preguntaros... Eh... precisamente, comentar... el hecho de que muchos estudiantes, al llegar a la educación secundaria obligatoria, tienen dificultades para trabajar el tema de la evolución. ¿Creéis que sería posible trabajarlo... en la educación primaria? #00:00:25-0#

**DOC1:** Vamos a ver... Como te comenté antes, yo estuve revisando el curriculum de primaria. No se... No se nombra::: en ningún momento: ni en el primer ciclo, ni en el segundo ni en el tercero. En el tercer ciclo, en quinto, se::... se comienza la historia desde la Prehistoria ((Moderadora asiente)) pero no::: comenta nada del concepto de::: evolución. Sí:: habla del Neolítico, de nuestros antepasados y tal... pero no menciona... ya te digo. #00:00:53-9# Yo que doy quinto y sexto, sí me veo en la necesidad de mencionarlo. Porque claro, los niños... oyen campanas, ¿no? Han oído que::... descendemos del mono... Entonces... empiezas a introducir el tema en el aula y sí que surgen preguntas. Y hay que... Bueno, yo por lo menos me veo en la necesidad de::: de comenzar un poquito el asunto, ¿no?. #00:01:18-1# Y me resulta difícil porque no hay materiales. No hay material. Por lo menos, accesibles fácilmente que yo haya podido encontrar... No los::: no... no los encuentro. Me tengo que::... Me tengo que::: ir a materiales de::: de la ESO, ¿no? (.) Pero, bueno, para hacer una introducción... Nos puede valer. Les interesa mucho el tema, ¿eh? Les interesa mu:::cho el tema. Pero les interesa mucho ese tema como les pueden interesar otros muchos... NUEVOS. Pero como siempre estamos::: tocando::: E::n primero..., lo mismo, o sea, el cuerpo; en segundo..., nuestro cuerpo, en tercero..., nuestro cuerpo un poco más, nuestro cuerpo y... Sí... ((Ríe)) ¡Cuando les metes algo nuevo...! #00:02:02-0#

**Moderadora:** Sí, quizás se va... #00:02:02-2#

**DOC1:** Les motiva mucho. #00:02:04-3#

**Moderadora:** ...trabajando todos los cursos lo mismo... La novedad... [siempre es muy:::...] #00:02:08-1#

**DOC1:** [Les gusta, es un tema que les gusta muchísimo...] #00:02:09-7#

**Moderadora:** Sí, por ejemplo, lo del tema de los::: dinosaurios... [Sí que les... les atrae muchísimo... Saben...] #00:02:14-8#

**DOC1:** [Los vuelve locos. Los vuelve locos.] Y tiene... Además es que... Bueno, estoy hablando yo sola... No sé... ((Sonríe)) #00:02:17-7#

**DOC3:** No, no, no te preocupes. Da tiempo a [todos... #00:02:18-7#

**DOC1:** Tienen...] confusión. Tienen una confusión muy grande... por lo que les dice la religión... y luego:... se encuentran con algunos conceptos científicos, ¿no?, que la evolución... Claro. Entonces, ¿qué pasa? E::h... "¿Y Adán y Eva eran:... o... ? ¿Qu...Qué eran? Nad.. Da igual lo que rayos sean estos!" Y:... Es una confusión. Chocan y:... Y tienen un cacao grande, ¿no? #00:02:47-0#

**Moderadora:** Sí, precisamente una de las razones que::: sugieren los autores de... didáctica de las ciencias experimentales que trabajan sobre esto es que entran en conflicto después... esas ideas... previas, es decir, esas narraciones::: mítico-religiosas que van desarrollando mientras son pequeños... y que luego al llegar... ((DOC1: Y pesan)) a la etapa de secundaria pues sí que:::... ((DOC3: Claro)), chocan con todo lo que se les dice... ¿Con qué nos quedamos? ((Moderadora coge aire)) (.) Bien, entonces... eh:::... ¿Qué se podría, o sea, qué contenidos creéis que se podrían introducir dentro de la educación primaria para facilitar después... el::: la labor en la educación secundaria? Es decir, ¿qué... qué ideas tienen que quedar muy, muy claras para que después... se... fuera más fácil para los alumnos de::: la educación secundaria? #00:03:38-6#

**DOC2:** ... Bufff. ((Ríe)) Buf. Yo es que creo que... que lo que hay... No sé exactamente qué contenidos tiene que haber, o cuáles son los mejores, los peores... Lo que yo creo es que tiene que haber un cambio... y que::: ese cambio... va más allá de lo que::: de lo que::: de las opiniones que tengan los niños o del interés que les suscite a los niños. A... A mí me parece que hay que cambiar el enfoque que se le da a la evolución, ¿no?. #00:04:06-9# No tan descriptivo... y tirar hacia algo más conceptual, es decir..., el cambio. El cambio que::: vienen corriendo desde que existen los seres vivos hasta este mismo momento y que seguirán corriendo. Y creo que tiene que cambiar porque... - también en secundaria - porque::: porque lo que estamos... eh::: impartiendo no está dando respuesta a los::: problemas cotidianos con los que nos encontramos y con los que se encuentran las familias de los... de los niños, es decir, con el entorno de los niños. #00:04:39-2# Problemas de todo tipo: problemas relacionados con la reproducción (.) humana... pero... a nivel familiar; problemas relacionados con la salud... eh::: problema de los antibióticos..., de los cambios de los virus... de todas estas cosas. Es decir, al final está muy distanciado lo que estamos explicando... de las realidades y no les estamos dando respuesta. = #00:05:02-5#

= Problema ((tose)): que nos encontramos que incluso los adultos (.) - también nosotros, los profesores - tenemos errores que son mu::y básicos, y no entendemos... pues lo que nos dicen a veces los médicos, que a su vez, incurren muchas veces en este tipo::: en este tipo de problemas. #00:05:19-1#

Entonces para mí, el... #00:05:19-9# el cambio tiene que darse... de enfoque, a lo largo de todas las etapas. #00:05:25-0# Y desde luego hay que introducirlo antes. ¿El cómo...? (.) Yo no sé cómo tiene que entrar en el *currículum*. #00:05:32-7# Lo que es evidente es que la evolución la tienen los niños presente desde::: desde que empiezan a hablar: los dibujos animados, los cómics... es decir, está presente en todos los ámbitos del niño salvo, si es que no se imparte en la escuela... salvo en la escuela. Que yo creo que en la escuela también... #00:05:46-5#

**DOC1:** Pasa en todas los campos, yo creo. #00:05:47-4#

**DOC2:** Sí, sí. Seguramente. #00:05:49-2#

**DOC1:** Yo hace poco les pregunté:::... eh:::... qué venían... a qué venían al colegio... (.) Y me llamó muchísimo la atención porque venían a todo menos a aprender. (.) O sea, el verbo aprender no salió. A jugar, a hacer amigos... a:::... ¡un montón! Pero lo que es aprender... Me llamó muchísimo la atención. Porque tú aprendes en el colegio... #00:06:10-7#

**DOC2:** Bueno, la verdad es que si vienen felices a todas esas cosas... ¡Ya hemos andado [el 80% del camino! #00:06:16-8#

**DOC3:** Cuanto más... (...) Sí. #00:06:16-5#

**DOC1:** Sí, sí, pero lo que es aprender, ELLOS... no se dan cuent... Vamos a ver, la pregunta era diferente: ¿Dónde aprendes tú las cosas para vivir? ¿Para...? En el colegio no. (.) Y me llamó muchísimo la atención. #00:06:30-7#

**DOC3:** ((Tajante)) Pues en casa tampoco, digo yo (.) ((Sonríe)) Yo apunto eso: en casa tampoco. Porque... eh:::... en secundaria... sobre todo, en los primeros cursos, te tienes que pasar la mitad de la clase::: diciendo "Siéntate bien", "No hables", "Hay que levantarse", "Hay que... " O sea, que... en casa tampoco lo aprenden. Así que aquí por lo menos una... un mínimo de contenidos sí que lo [tienen que aprender. #00:06:50-4#

**DOC1:** Vamos a ver... Sí, pero... Yo... Lo que... A lo yo me refería es la consciencia que tienen ellos de lo que vienen al colegio. Y no lo que aprenden en el colegio... - según ellos - no les vale para vivir. #00:07:00-4#

**DOC3:** Eso... Eso es una... un cuestionamiento que se tiene [y eso es en bachillerato, ¿eh?] #00:07:03-6#

**DOC1:** [Es muy triste]. Es muy triste. #00:07:05-3#

**DOC2:** [Sí] Pero que tiene una buena parte de... #00:07:06-6#

**DOC3:** ...tiene una buena parte de razón. #00:07:07-1#

**DOC1:** Sí, claro. #00:07:08-6#

**DOC2:** Hay una parte muy importante... Y... Pero todo esto que os he dicho yo antes es eso. Al final, nos vamos a un montón de contenidos, muchas veces inconexos... #00:07:15-9#

**DOC3:** [inconexos...] #00:07:16-3#

**DOC2:** ...estamos compartimentados al máximo... el profesor de ciencias... [va de ciencias...], el otro tal... #00:07:20-9#

**DOC3:** [Muy teórico...] #00:07:20-6#

**DOC2:** ...Súper teórico... #00:07:22-2#

**DOC3:** Sí. El enfoque es [totalmente... pero...] [Teórico...] #00:07:25-4#

**DOC2:** [Entonces evidentemente...] Eso es así. [Sí, sí]. [Totalmente teórico] #00:07:27-2#

**DOC3:** [Entonces...] #00:07:28-3#

**DOC2:** Y ya::: [que hablamos de evolución...] #00:07:29-3#

**DOC3:** [Yo:...] Yo encontré un mecanismo... de explicar evolución. (.) Yo me especialicé:... Estoy muy especializada, por decirlo de alguna manera, y seguiré por esa línea, en::: en nutrición. La salud a través de la nutrición. Entonces, debato con muchos médicos, precisamente, sus carencias en nutrición... Y sus carencias en nutrición, muchas veces, es: primero, porque no lo dan en la carrera, no se estudia nunca, y segundo, porque... no estudian evolución, ni genética... Nada más que un algo... una parte de un ay. #00:07:59-4#

**DOC1:** ¿Los médicos? #00:07:59-7#

**DOC3:** Sí. (.) Entonces, si vais a los curriculums de ellos podéis comprobar eso. Con lo cual, basándote en eso, yo explico evolución... con la nutrición. Y es... PRECIOSÍSIMA. Es decir, ¿por qué tenemos niveles altos de ácido úrico? Vas a la evolución. Porque en la evolución el nivel de ácido úrico tuvo que estar elevado porque el hombre se hizo bípedo, y al hacerse bípedo, el corazón quedaba por encima de::: de::: de la altura que estaba:: en posición ventral, entonces había que tener un sistema para subir el::: el::: el - el nivel del ritmo cardíaco. Bueno, pues, ellos aprenden montón de cosas... ¿Qué hago yo? Les mando apuntar... al final de la libreta... para cuando van en el tema de evolución propiamente dicho, ellos ya tienen un dossier hecho de todos los mecanismos que actuaron a lo largo de::: de la vida en la evolución y que se mantienen - que tienen una relación con la genética. Entonces ellos ven que ahora no somos los de África, y que no somos negros... Entonces justo somos negros..., venimos de África... y somos iguales que los de allí pero puestos con una nevera y con un::: un::: un... sofá, la cama, y todos cómodos. Entonces... Es un mecanismo, es un juego precioso, y que se aprende un montón. Y luego hay lecturas... que son tremendamente amenas..., por capítulos, de gente, pues, muy buena, como el... la lectura de Darwin en el supermercado, que tiene un montón de capítulos independientes... Ellos averiguan... Los q... los que quieran leer ese libro... van buscando argumentos para por qué dice ese psicobiólogo esas cosas..., en qué se basa... Entonces tiene que andar indagando la estructura anatómica de alguna especie, la estructura fisiológica, la respuesta fisiológica... #00:09:40-3# Entonces, es una manera indirecta, de cuando tú llegas a la parte teórica, resulta que ellos ya saben evolución. Y les preguntas:... #00:09:47-6#

**DOC2:** Y eso vende además porque no... no solo vienes desde el pasado hasta aquí... sino que ahora con el epigenoma y todo eso... #00:09:53-2#

**DOC3:** Ahí está. #00:09:54-3#

**DOC2:** ...con el mismo enlace... te sirve [hacia el futuro] #00:09:57-2#

**DOC3:** [Ahí está]. Entonces el tema de Lamarck... Po ejemplo, yo entro en controversia con ellos... Por el tema de pigenética... Y dicen: "Ah, pero mira, es que existen unos ratones e hicieron este experimento..." A ver qué pod... Hicieron este experimento: amamantando a los ratones con determinada susta... una determinada sustancia, pues entonces vieron que esos ratones al tener crías les aparecía un color del pelaje que no tenían... los... los anteriores... Y es en una generación inmediata. Entonces... Claro, ¡eso no es Darwin! ((Sonríe)). ¡Eso es Lamarck! ¡El propio individuo! Entonces, claro... Entrás en un juego... con unos mecanismos de trabajo que crea, bueno, pues, equipos en el aula... Quién está a favor de esto... Quién... Y te estoy hablando de los pequeños, ¿eh? Te estoy hablando de primero de la ESO, ¿vale?. #00:00:45-4#

Entonces... Sí que hay mecanismos muy buenos para aprender evolución de manera indirecta y de, sobre todo, de... buscar creatividad en el aula..., de irrumpir con diálogos y... (.) interés por averiguar, por buscar aquí y allí... Y a mí me está dando muy buen resultado. En primero y en cuarto de la ESO.

¿Qué noto? Que en Bachillerato, hay una dejadez. (.) Les importa todo muy poco. #00:01:09-0#

**DOC2:** Eh... Hm... En... [Bachillerato] volvemos a lo mismo, ¿no?. #00:01:11-9#

**DOC3:** [De primero].

**DOC2:** Yo creo que eso - esa dejadez hay que enmarcarla también, es decir... #00:01:15-1#  
Tenemos buena:: parte, como colectivo, de culpa; como colectivo o::: el sistema, de cómo funciona. Si uno lo ve desde la parte del padre... también... hm... te das cuenta de que hay carencias. ((DOC3: "Sí...También")) Una carencia grande es que de repente te encuentras con un profesor que hace... usa este tipo de metodología... que estudia... o que te hace aprender evolución utilizando indirectamente... #00:01:36-2# Una cosa innovadora, distinta, que no se basa en el contenido y en la memoria. #00:01:41-0#

**DOC3:** [No, por eso te digo que no...]

**DOC2:** [Pero de repente te encuentras] con otros cuatro... (.) que van chapados a la antigua... ((DOC3: "Sí")) (.) por decirlo claro... ((DOC3: Sí, sí, sí"))y que... como yo mismo he oído... YO HE OÍDO de un profesor de segundo de Bachillerato...: "¿Para qué tiene que ver vídeos o leer libros si con mis apuntes le llega?" Esto lo he oído yo hace dos años. #00:01:59-2#

**DOC3:** Sí... yo también... Yo también vivo eso. Sí, en ese sentido también... #00:02:00-8#

**DOC2:** Claro... Eh... Pongámonos en el sitio del niño...: "¿Qué hago?" Y ponlo en Bachillerato: "Yo::: el año que viene, o al final de este curso..., tengo un examen. (.) "¿Có...? ¿Qué hago? ¿Cómo me preparo? (.) ¿Le hago caso a este o voy por el otro camino, que es mucho más sencillo - hay que decirlo así -...? Yo sé que si esto lo chapo, esto lo pongo". Los exámenes de Selectividad siguen siendo memorísticos... #00:02:23-6#

**DOC3:** Siguen siendo... #00:02:24-4#

**DOC2:** ...en muy pocas ocasiones se aplica... otro tipo de metodología... O... o están evaluando otros tipos de metodología. NO. La memoria pura y dura. Entonces, claro... (.) Yo me pongo en el sitio de un chaval que llega a Bachillerato... y es que... a mí no me innoves. Es así de sencillo. #00:02:39-0#

**DOC3:** No. Pues es así... es así de principio. O sea, ellos también se basan en que te tienen que conocer. #00:02:43-5#

Yo aquí veo dos problemas: hm... bueno... Veo... veo la necesidad imperiosa de que para hacer ciencia y ciencia de la vida, evidentemente hay que dar evolución. Es que n... No tiene sentido empezar por estudiar las esponjas... Aparecieron así, ¿no? Pues... #00:02:58-7# Es que no tiene sentido. Y::: un poco, pues, como un cuento, probablemente. Incluso que ellos puedan redactar ese cuento, ¿sabes? A lo mejor en primaria. Es decir... Sabiendo... ¿D... de dónde viene el oxígeno? A ver, ¿cómo se formó el oxígeno?... No sé. Partiendo de preguntas. Y que e:l niño lo que... los niños lo que hagan es empezar a dar respuestas. Entonces de esas respuestas se va construyendo un poco la realidad (.) hasta hoy. Es decir, nadie puede decir que el oxígeno no

era importante. Pues sí es importante... Y hoy en día... ¿De dónde viene el oxígeno? (.) ¿Vale? Cuando les... les hablan... pues... de la mitocondria... de lo que hace la mitocondria... Resulta que no saben... #00:03:31-4# ¡Es que no lo saben! ¿por qué lo van a estudiar en primaria? Que se esperen a lo mejor esos conceptos que son más... COMPLEJOS... a secundaria. #00:03:38-2# Porque hay un tiempo... Entonces al marcar contenidos sería... un mínimo, pero con TO:::DO, hmm... todo íntegro. (.) ...en primaria. Y ya luego ir a más conocimiento, basándose en... en más contenido ya científico, hacia secundaria y Bachillerato. #00:03:54-2#

**DOC2:** Sí:::.. Es:::.. es darle más tarde sentido a lo que ya saben. #00:03:57-9#

**DOC3:** A lo que ya... Al punto de partida, ¿vale? #00:03:58-8#

**DOC2:** [Sí]. #00:03:59-9#

**DOC3:** Entonces... A mí me parece que eso es fundamental. Y:::.. Y luego... eh... lo que dice:::.. lo que dice e:::..l compañero: que efectivamente:::.. eh:::.. a lo sumo también hay que ver qué contenidos científicos se imparten en el aula. Porque... ¿qué? Porque... Vale... sí todos tenemos compañeros y hay que estar a un nivel científico y #00:04:20-1# no aprobar las oposiciones y olvidarte de todo. Que suele pasar en la mayoría de los casos. Entonces, no. #00:04:26-3# Estar al día en ciencia, es MUY trabajoso. (.) ¿Vale? Y dar las clases con una metodología que no es la pautada de dar el contenido del libro de texto... Es muy trabajoso. #00:04:36-9#

**DOC2:** Sí, eso da muchísimo trabajo. #00:04:38-0#

**DOC3:** Muchísimo trabajo. Y NO EVALUAR... por exámenes... o que el examen sea una prueba a mayores... #00:04:43-0#

**DOC2:** Eso es complejo además. Y... Y:::.. #00:04:45-2#

**DOC3:** Yo:::.. Yo hago eso. Y os puedo asegurar que da muchísimo trabajo. #00:04:48-4#

**Moderadora:** Da mucho trabajo, sí... #00:04:48-9#

**DOC2:** Sí, sí, sí. No y yo... #00:04:49-4#

**DOC3:** Muchísimo trabajo. #00:04:50-3#

**DOC2:** No, yo llevo muchos años sin hacer exámenes... como tales... Si juegos, si cuestionarios, si autoevaluaciones, si... obligar de algún modo a que ellos lean... #00:04:58-7#

**DOC3:** Trabajos, exposiciones... Sí... Maquetas... #00:05:00-3#

**DOC2:** Eso da muchísimo trabajo. #00:05:02-3#

**DOC3:** MUCHÍSIMO trabajo. #00:05:04-3#

**DOC2:** Muchísimo. Pero hay que cambiar la metodología [de:::.. de evaluación]. #00:05:07-7#

**DOC3:** [¡Pero por qué me habré metido yo por este...!] ¡Si es mucho más fácil poner examen, corregir y vía! #00:05:11-6#

**DOC1:** Es que... [Además...] #00:05:12-9#

**DOC2:** [...Perdón... Perdón] Es que también descubres después que hay niños que en otras asignaturas van muy mal (.) y en la tuya..., en la que están trabajando..., salen arriba. Y::... y la gente te dice: "Pero este niño... pero si este niño es un desastre..." No, no, mire. #00:05:23-8# En realidad no es un desastre, es que... está sometido a un sistema que no le ayuda. =

**Moderadora:** = El problema está siendo el enfoque, sí. Mar. #00:05:29-3#

**DOC1:** Ehm... (.) Una de las formas por las que yo introduzco un poquito::... eh::... la evolución es... #00:05:35-6# cuando::: vemos el origen del lenguaje. El lenguaje... Qué es el lenguaje, cómo surgió el lenguaje... Pues la... O sea... La salida del aire, ¿no?... Fue necesario::... ponerse de pie. Entonces... lo metes un poquito... #00:05:48-9# pero no viene en los libros, no viene en el curriculum. O sea, lo tienes que dar tú::: pues::... #00:05:53-9# porque ves la necesidad. Eh::...Otro::... otro detalle es que::... cuando trabajamos de esta forma, que hacemos las... las clases más prácticas... y abandonamos un poquito el libro de texto..., #00:06:06-3# que a mí me parece necesario pero... tenerlo como un apoyo... YO... Allí, a cada colegio que voy, me encuentro con enfrentamientos con mis compañeros porque... O porque yo soy quien juego en el aula, que no estudio... porque::... perdemos el tiempo... Y lo que estamos haciendo es... #00:06:25-2#

**Moderadora:** Enseñar. #00:06:26-5#

**DOC1:** Trabajar. O sea... Prácticas, más que nada. Y::... Y sí que da mucho trabajo pero (.) quizá lo peor sea el enfrentamiento que las direcciones y los compañeros... pues, como que se ven... y como que se comparan... Y en vez de entrar en la metodología::... lo que hacen es, pues::... Perjudicarte. Otro detalle que::... Bueno, yo ha... #00:06:50-6#

**DOC2 y DOC3:** Sí, sí, sí. #00:06:51-9#

**DOC1:** ((Riendo)) Es que como lo apunté aquí... ((Refiriéndose a un folio que tiene sobre la mesa frente a ella donde ha hecho varias anotaciones según comentaban los compañeros del grupo de discusión)) Eh... A veces en los libros... Yo ya he visto::... Yo no soy ninguna especialista en ciencias, evidentemente, ¿no?... Yo soy de primaria... Estudié Magisterio. Y luego si quieres hablamos un poquito de la formación que nos da Magisterio... #00:07:04-0#

**Moderadora:** Sí... Es un aspecto [que también quiero abordar... #00:07:06-5#

**DOC1:** ...que de eso hay mucho también]. Eh::... A veces... E:::n... en los libros de texto aparece... un lenguaje... una forma de decir las cosas... que a mí me parece muy confuso. Por ejemplo, cuando::: estamos hablando:::..., ya no sé el tema que trata, pero cuando..., sí, evolución... Cuando te habla de que las jirafas... comen las... hm... las hojas de arriba de los árboles, te dice: "La jirafa tiene el cuello largo pa:::ra:::". #00:07:39-6# Ese pa:::ra:::, (.) a mí me parece un error... ENORME. Porque no las tiene... No hay voluntad en la jirafa para que le crezca el cuello. Y eso... Ese... Eso crea un concepto, yo creo, que es confuso... Y eso viene en el libro de primaria. O sea, la editorial te lo expresa así. #00:08:01-0#

**DOC2:** Es que eso es algo... Bueno... Es trágico que pase en el libro. Pero es que ese es el problema... Es que::... Y... Y tú vas a... Incluso nosotros mismos, en un momento dado puedes dec... hablar de la adaptación... correctamente y que el receptor reciba el mensaje de que::... eso se puede hacer. O sea, el cambio genético es consecuencia de "...". Hmmm... #00:08:21-7# Es el modo de hablar, ese... ese... es la posición de que se habla... Es difícil..., eh::... desde el



emisor, a veces... colocarse - es difícil, habría que hacer un esfuerzo extra por saber en qué posición está el... el receptor, ¿no? #00:08:36-9#

**DOC1:** Es que para mí el lenguaje es fundamental. [A mí me parece...] Esa preposición ahí de para... Me parece... Bufff... Terrorífica. #00:08:43-7#

**DOC2:** [Totalmente. Totalmente de acuerdo.]

**Moderadora:** No, si muchas dificultades vienen precisamente por::... el tema del lenguaje de::... Conceptos como adaptación, mutación... - que yo estoy segura de que en secundaria, los veis, los problemas que tienen para trabajarlos ((DOC3 asiente)) - precisamente porque están acostumbrados a oírlos en otros contextos..., y como... con otro significado que cambia con respecto al científico. #00:09:02-9#

**DOC1:** Un detalle muy importante... que::... lo voy a confesara::r... ¿no? Y la verdad es que no me gusta nada que esto sea así, pero es la verdad. Eh... Los maestros... - y no me gusta nada reconocerlo, ni decirlo... -, los maestros carecemos de base científica para... dar biología. #00:09:21-5#

**DOC3:** Bueno, yo tengo que decirte al respecto una cosa: de base científica, sí; pero care... care... Hmm... pero tenéis más método pedagógico, probablemente ((DOC1: "Eso sí. Eso es verdad")), muchísimo mejor que secundaria. Y luego... no solo es saber científico... Es saber transmitir ese conocimiento. #00:09:39-4#

**DOC1:** Por eso yo veo tan importante el lenguaje. Eso sí que... Es que eso... #00:09:41-7#

**DOC3:** No solo es cuánto sabes. Es: ¿cómo lo transmites?

**DOC1:** Sí, sí. Eso es verdad. Pero... La base científica que nos da Magisterio::... (.) es (.) escasísima. Luego el apoyo que tienes en todos los centros... yo no he estado, he estado en algunos... #00:00:09-9# Y::... en primaria... el apoyo, para impartir las clases de ciencias, es... escasísimo. O sea, todo es a letras, todo es a:: gallego, todo es... a teatro... #00:00:23-9# El trabajo de las ciencias... es::... es como que tienes un muro... que nadie lo valora, que nadie... Yo no sé si es porque no tenemos preparación y entonces no nos gustan... bueno, generalizo por educación, porque a mí sí que me gustan ((sonríe)) y sí intento hacerlo... Pero es como un muro que tienes ahí que (.) que luego cuando lo haces, sí, a la gente le gusta, pero no te apoyan... y::... #00:00:47-8# Y te sientes solo, te sientes muy solo. En primaria dando ciencias te sientes muy solo. Si quieres hacer un poco... #00:00:54-9#

**Moderadora:** ((Asiente)) Sí, en relación con eso de::... bueno, digamos la formación inicial que se recibe en la::... en las facultades de ciencias de la educación, eh::... Al dar, por ejemplo, la:: asignatura de Biología y geología, en cuarto de la ESO es optativa. Entonces... Digamos, que por ejemplo, aunque en primero de la ESO trabajen un poco la evolución... digamos que lo... todos los que llegan a la universidad... la carrera de::... Grado en educación primaria es abierta a::... a todas la::s:: eh... , creo..., ((DOC3: "Sí, sí")), creo que todas las opciones de Bachillerato. Entonces, todo ese alumnado que llega, a lo mejor, pues..., de:: letras, de:: ciencias mixtas... hm... llega sin haber... a lo mejor, solo haberlo trabajado primeramente en: primero de la ESO y no volver a trabajarlo nunca más. #00:01:39-2#

**DOC3:** O no haberlo trabajado nunca. #00:01:40-5#

**Moderadora:** O no haberlo trabajado nunca, porque... yo, por ejemplo, por mi... propia experiencia, yo no recuerdo en primero de:... de la ESO, eh:... y tengo una hermana que está en tercero de la ESO, y aún no ha trabajado nada de evolución, salvo a propósito de:... un parrafito así ((Señala con los dedos)) que viene por el tema del:... las... el movimiento de la tectónica de placas y tal... de cómo se formó el suelo... de que, claro, que en ciertas capas aparecen... ((Moderadora y DOC3 al unísono: "fósiles")). O sea, sacando eso y un poco de tal, no:... #00:02:07-6#

**DOC1:** Pero lo peor... es que no lo echa de menos, ¿eh? (.) Estoy hablando de Magisterio. (.) Lo peor es que no lo echa de menos. Esa base científica a lo largo después de... Por lo menos, claro, yo estoy hablando... antes del grado. Ahora ya no sé cómo está el curriculum. Pero cuando era... diplomatura... ((Suspira)) Bueno, yo estudié Magisterio, con el mismo curriculum que estudió mi hija. Acabó hace tres años. Y no echa de menos... Ella estudió ciencias. Y la base científica que tiene, es por el Bachillerato de Ciencias, no por lo que le dieron en Magisterio. Y a mí me pasó parecido. (.) Pero no vamos a echar la culpa. Luego cada uno es responsable de su formación y:... #00:02:54-0#

**DOC2:** El problema es que la formación científica en general... Puff... Pues... de la población... Está donde está. Deja muchísimo que desear. #00:03:06-0# Es decir, nadie debería llegar, vaya por letras o por ciencias, sin tener unos conceptos básicos y... Precisamente de ahí viene la importancia de que, pues, por ejemplo, la evolución, que es un pilar fundamental, pues..., en primaria también. No necesariamente... de forma conceptual, en el sentido de mencionar conceptos, términos... aprenderse t... No. Se trata de... al revés, de tener el concepto de lo que es la evolución, de que eso está ahí, y va a seguir estando... Y:: y los seres vivos... Es decir es algo... y... q-qu-que formamos parte de la evolución, vamos. #00:03:41-3# La cuestión es que... separar lo que es evolución, de las poblaciones, de lo del individuo, que es lo inmediato, para un ciudadano, para un niño, para:: un jovencito... Es decir, cuando tú hablas de adaptación, él está pensando en individuos y no en poblaciones. Y ese... eso es algo que realmente se piensa... que:... #00:03:56-7#

**DOC3:** Y como mucho en el hombre... [Como población en el hombre]. #00:04:00-0#

**DOC2:** [Y:... ] Efectivamente: y centrado la mayor parte de las veces en el hombre. Entonces, si ese concepto quedase claro... aunque no... fíjate, aunque no supiesen que están hablando de la evolución, [que es casi imposible... #00:04:08-9#

**DOC3:** Claro... No, no, no... No tienen por qué saberlo...

**DOC1:** Es que a lo mejor...]

**DOC2:** Sería suficiente. #00:04:11-2#

**DOC3:** ...pero tienen... La idea práctica la tienen clarísima. Entonces cuando... tú luego apoyas en conceptos... es "¡Ah!, pero es que eso viene de..." ¡Claro! Es justo al revés. #00:04:20-0#

**DOC2:** O sea... Claro, es:: es... es al revés. #00:04:21-4#

**DOC1:** A lo mejor se podría fomentar la intuición del concepto. (.) Igual eso sí se podría hacer ya desde... [Desde el principio... #00:04:29-9#

**DOC2:** Sí, pero casi mejor a posteriori]. #00:04:31-4#

**DOC1:** Pero la intuición. Me refiero... Pues esto... O sea, que::... No dar... No dar la evolución, pero sí... crearles la duda de que a lo mejor... ¡oye!, pues algo debió pasar aquí con este cambio... Haciendo prácticas, a lo mejor con peces... (.) Digo yo. #00:04:47-1#

**DOC3:** Es que es algo muy memorístico el tipo de enseñanza en general. El problema es que si no pones el término... aunque sepan realmente el concepto... No:: no te lo califican. Hablo en general. ¿Vale? Y es justo al revés. Si:: sabes la... la idea del concepto, aunque no sepas el nombre, no pasa nada. Ya le pondrás el nombre. ((DOC2: "Sí")) ¿Vale? Entonces, Fulanito de tal... Pues eso... como cualquiera de los otros, ¿no?... "Fulanito de tal, me dio clase en... tal... ¡Ah, sí! Explicaba así..." #00:05:10-7# ¿No sabe tu nombre? ¡No pasa nada! O sea, tuvo un profesor... Y aquí es al revés: es, ¿qué nombre tiene? Y luego todo lo demás. No. Pues yo creo que es... hm... un poco... Ahí es a lo mejor donde tenemos que poner los profesores un poco de orden y de equilibrio en todo esto. ¿Que no estamos todos por la labor? ¿y que nos cansamos? Pues puede que sí, porque los años suman... #00:05:31-3#

**DOC2:** No, y que el sistema::... #00:05:33-5# El sistema tiene una inercia::... tremenda. Es decir, pelear contra eso [es::... #00:05:36-8#

**DOC3:** Sí...

**DOC2:** ...Muy duro]. #00:05:37-9#

**DOC3:** Hay que luchar con compañeros... (.) de to::das las áreas..., ¿vale? Es muy difícil... Por ejemplo, con filosofía... Podríamos contrastar perfectamente el tema de la evolución: Tú tocas esto rápido, yo toco esto... sincro... lo damos en tal punto... eh... del curso y... Genial. #00:05:55-3# Pero no hay ese entendimiento entre departamentos. Entonces los niños ven las asignaturas como... como - como nos ven a nosotros: me duele el brazo, es del brazo; no puede ser del... del intestino, ¿me explico?. Pues... compartimentado. #00:06:06-0#

**DOC2:** Total... totalmente compartimentado. #00:06:08-3#

**DOC3:** Es que la sociedad está así. #00:06:09-5#

**DOC1:** En primaria eso se hace más. A veces se hacen::... Se trabajan temas... de manera globalizada, todos juntos. Además, como es el tutor el que da... matemáticas, coñecemento:: y lingua, pues ya::... puede hacer un popurrí ahí... Eso... Eso es muy interesante. Pero eso requiere... Abandonar un poco el texto, el libro de texto... #00:06:30-6#

**DOC2:** [Sí].

**DOC1:** Y entonces, el profesor, que no da el libro de texto... #00:06:34-5#

**DOC2:** Está como estigmatizado. #00:06:36-7#

**DOC1:** [Sí]. #00:06:37-7#

**DOC3:** [Mira, yo recuerdo] como anécdota este año... Y con el... En cuarto de la ESO... Cuando... Era... Estábamos dando clase en cuarto varios compañeros en distintos grupos, un día llegaron mis alumnos y me dicen ((poniendo tono de preocupación)): "DOC3, es que nosotros... no dimos todavía un tema y los del otro grupo ya dieron tres". Y les dije yo, toda llena de razón ((con voz serena y rotunda)): "No os preocupéis. Vamos a llegar al final igual, pero los caminos son diferentes". Ya se quedaron tranquilos. #00:07:02-4# No es ni mejor ni peor que el

compañero. No es ni va más... No. Es que utilizamos las estrategias metodológicas para enseñar distintas, de forma distinta. Y ahora les digo, ¿llegamos al final? Pues sí... Llegamos al final, ¿me explico?

Pero tampoco es enfrentarte con compañeros. Porque claro, ellos entre ellos hablan. Y claro, no vamos a la par. ¿Qué pasa? Que o utilizas el libro de texto o al final les dices: "Mirad, tema tal, ¿está dado?" Y, quedan asombrados. Porque... está dado. Pero no está dado... #00:07:30-9#

**DOC1:** Claro... Pero dado ese y la mitad de aquel. #00:07:32-8#

**DOC2:** Yo:... Yo recuerdo siempre una anécdota que no es de primaria sino de la facultad. Yo:... me fui de la facultad... Y yo tenía la percepción de que en:... la asignatura de genética, n:... no nos habían enseñado nada. (.) Después llegaron las oposiciones, llegó dar clase y tal... Y a mí me iban viniendo todas las cosas. Digo yo: Pues entonces este hombre... al que le oí hablar sobre románico... sobre un montón de cosas... ((Dirigiéndose a DOC3: "Emilio")) Le oí a hablar sobre un montón de cosas y yo tenía la percepción que de genética muy poquito... No, no. N... Nos lo había metido todo. ((DOC3, asintiendo: "Todo")) Y no nos habíamos enter... Es decir, nos había confundido. Habíamos pensado que no nos había enseñado genética y nos lo había enseñado todo. #00:08:14-2#

**DOC3:** Tal cual. Es así. #00:08:16-1#

**DOC2:** Entonces... Pero es un ejemp... Y es... #00:08:18-0#

**DOC3:** Es un ejemplo, evidentemente, de universidad. #00:08:20-3#

**DOC2:** Se puede enseñar un montón de cosas sin seguir ese caminito marcado [de... #00:08:24-6#

**Moderadora:** Sin dar el etiquetado]. Quizás... En... En la educación primaria hay mucha obsesión por esa clasific... Ya solo hay que ver, pues eso, siempre, de ponerle nombre a todo... de:... Quizás eso. No... #00:08:33-9#

**DOC1:** Es que las inspecciones... (.) Yo es q... Yo es que lo sufro. ((Sonríe)) O sea, es que lo sufro mucho, por eso, cuando hablo, a veces soy un poco vehemente. Eh... Las... #00:08:43-2# La inspección no favorece nada tampoco. Vamos a ver... La dirección no lo apoya. Pero es que la inspección... tampoco. Porque cuando haces trabajos... como los que yo puedo hacer de vez en cuando en el cole... No lo quieren. Porque... o todos o nadie. Entonces, cuando te dicen: "O todos o nadie"... Ya te están rompiendo todo. Porque... ya sabes que todos no vas a ser. Porque siempre va a haber uno... ¡No, uno no! De cinco, cuatro, o de cinco, tres, no van a querer. Como compañera ya no puedes hacerlo. Es que te cortan las alas. #00:09:18-7# A aquellos que tienen iniciativas, que pueden ser... No puedes. No puedes... #00:09:24-1#

**DOC2:** Voy a... Voy a romper una lanza por inspección. Dios me perdone ((Todos ríen)). Pero... La Inspección... Estoy de acuerdo, ¿eh? Y estamos haciendo muchas generalizaciones... entiendo que:... exponemos un montón de cosas... Hay... Yo conozco a algún inspector que, la verdad..., sí da margen. Pero a veces la Inspección:... tiene presiones insospechadas. (.) Y una de las presiones insospechadas, por poner otra carta en la mesa... que... que impone... que - que le da fuerza a esa inercia de la que hablamos... Son los padres. #00:09:53-2#

**DOC1:** Sí que lo son.

**DOC2:** Pero ese profesor, ¿qué tipo de cosas hace? ((DOC1: "Lo sé")) ¿Pero es que no dais temas de no sé qué? ¿Pero por qué tema vais? #00:00:13-1#

**DOC3:** ¿Disteis el libro? #00:00:14-2#

**DOC1:** Sí. #00:00:15-4#

**DOC2:** ¿Disteis el libro? O, ¿cuánto disteis del libro?... #00:00:17-7#

**DOC3:** ((Asintiendo)) ...¿Cuánto disteis del libro?... #00:00:18-6#

**DOC2:** ...¿Cómo que no tenéis libro? #00:00:20-0#

**DOC1:** Pero si ejercieran la autoridad... como... se supone que lo deberían hacer... Justificarían a ese profesor... #00:00:28-4#

**DOC2:** Sin duda... #00:00:29-5#

**DOC1:** ¡Pero claro...! [El sistema tiene muchas voces...] #00:00:32-3#

**DOC2:** [Sin duda, pero después...] Es que por un lado ataca la familia y por otro atacan los poderes políticos, es decir... Yo, desde luego, en mi vida querría ser inspector. ((DOC3: Yo tampoco Y he... he visto cosas de los inspectores que no hay por donde cogerlas... Pero yo no me metería ahí, ¿eh? [No me metería en la vida de inspector...] #00:00:46-5#

**DOC1:** [Yo quiero ser... Yo quiero ser maestra...] #00:00:55-6#

**DOC3:** ((Dirigiéndose a DOC2, riendo)) Te gusta el aula... No creo [que quieras ser inspector...] #00:00:50-0#

**DOC2:** ((Siguiendo la broma de DOC3)) [No, bueno, eso...] Exactamente... Yo es que soy de infantería... No me gusta la dirección, siquiera. #00:00:54-1#

**DOC1:** Yo soy maestra y es lo que quiero, con todos los inconvenientes, pero... pero sí que no te dejan trabajar. #00:01:03-1#

**DOC3:** Bueno, yo también rompo una lanza por la Inspección. #00:01:05-5#

**DOC1:** Qué suerte. [Igual la Inspección de primaria no es como la de secundaria...] #00:01:07-4#

**DOC3:** [Yo:... Me costó:... Me costó llegar a:...] llegar a lo que llegué. Me costó mucho trabajo:... Veinte años estuve en Carballo... y:... e inicié un proyecto educativo que llegó... puedo decir, porque ahora evidentemente llegó, llegó... llegó al máximo. Al máximo. O sea, llegó de principio a fin... Padres, integración padres, alumnos, profes... y generaciones que venían, desde abajo hasta Bachillerato. Ahora entonces... Me costó. Digo me costó porque fui yo la que::: metió... a mis compañeros en el ajo. ((Sonríe)) Yo sola no podría hacer nada, ¿eh? Pero bueno... Fui yo la que empezó... peleando, luchando y rompien... Y:... hubo varios inspectores... Uno de ellos, cuando llegó allí, y yo le expliqué... Le expliqué claramente lo que se hacía y vio lo que se hacía y lo entendió... también era de la rama de ciencias, no de biología, pero... Dijo: "A esta chica mientras esté en este centro, dos horas de su horario, son dedicadas a esto". Y eso es de Inspección. Entonces claro, fue la primera vez, también tengo que decirlo. O sea, hay gente que si nos paramos... pues a lo mejor a explicar lo que se hace, cómo se hace...

pues sí que te dan juego. Me costó. De todos los que pasaron allí, no, pero alguno así. #00:02:15-2#

**DOC2:** Ahí hay que hablar... hay que hablar de varios planetas, ¿eh? Es decir... ((DOC3 ríe)) El inspectorese que acepta es el grupo de personas que se dejan llevar, porque hay otras que son más reacias... ((DOC3 asiente)) Ahí... Confluyeron un montón de cosas... #00:02:27-0#

**DOC3:** Sí... A favor. #00:02:28-1#

**DOC2:** ...Pero que puede... Quiero decir... Esto. Es decir, esto puede ocurrir, se puede... se puede conseguir. #00:02:31-8#

**DOC3:** Claro, pero... Casi... Casi le tienes que dar tú la idea de "los padres lo apoyan..." (.) "Los padres nos ayudan". "Los padres... colaboran". "Los hijos también...". Y ahora los profes... Pues no es el cien por cien, pero casi llegamos al cien por cien. O sea, todo aquello que se tenía que aprender en el aula... pues no, pues se consiguieron muchísimas cosas. #00:02:50-8#

**DOC1:** Pues enhorabuena porque esto que has hecho... Es difícil. #00:02:53-4#

**DOC3:** No, no, pero te estoy hablando en veinte años, ¿eh? O sea, es casi... mi:::..... mi:::.... mi carrera profesional... #00:02:57-7#

**DOC2:** Mi legado. #00:02:58-9# ((Ríen todos)).

**DOC3:** Mi vida profesional. (.) Me costó. Lo acabé bien, pues sí. Pero es muy costoso... No sé si merecerá la pena. Por los alumnos sí, por el trabajo diario te digo que... lo que decía... lo que decía DOC1 hace un rato, que... que vamos, chocas contra todo. Y dices... sales de allí diciendo: "Pero para qué me meteré en este follón. Pero que más me dará. Por qué no seré una profesora normal..." #00:03:21-9#

**DOC2:** Y con los alumnos... pues... No es el sistema convencional. #00:03:25-3#

**DOC3:** No... Con los alumnos fue lo más fácil. #00:03:27-0#

**DOC2:** ¿sí? #00:03:27-6#

**DOC1:** A mí también. #00:03:27-6#

**DOC3:** Pero muy... Pero muy fácil. Te lo puedo decir. Pero todo es por la metodología. Es decir, el libro está de apoyo... El libro ya vamos a dar por hecho que el libro os lo sabéis... Entonces, claro, es partir... Y luego: "Coge el libro. ¿Qué temas vimos?" Claro... Lo ven. O sea... Les demuestras que lo vieron todo. #00:03:45-7#

**DOC1:** No, no, en primaria, los niños como te salgas un poquito de la metodología básica... Bueno... es una revolución... Están encantadísimos... Presumen... Bueno... #00:03:56-3#

**DOC2:** Bueno, yo ahí... tengo muy buenas experiencias y alguna muy mala. Con alumnos que:... Quiero decir: para un alumno... es lo que decimos, esto que mencionábamos antes de que esto... da mucho trabajo. #00:04:08-9# Da mucho trabajo a los profesores, y los alumnos trabajan más. Es decir, trabajan más que un alumno que se dedica a coger...escuchar o anotar y estudiar. Trabajan muchísimo más. Entonces hay algunos alumnos que eso no lo llevan bien. Es decir, les resulta... Incluso, alumnos que con la metodología tradicional, no tienen problemas

porque les resulta facilísimo memorizar... Otras destrezas no las manejan muy bien. Entonces, no lo llevan bien. Un alumno... que es de muy buenas notas en todas las asignaturas, de repente llega a una en la que se trabaja y le bajan la nota..., no lo lleva nada bien. Y sus padres mucho menos. #00:04:40-7#

**DOC3:** Sí... No... No lo lleva bien... #00:04:41-0#

**DOC1:** En primaria sí... Porque:: lo que pierde:: la nota... lo gana en:: diversión, o en ameno, o en... #00:04:48-9#

**DOC2:** En primaria puede ser. En secundaria yo te digo que no... #00:04:51-5#

**DOC1:** Por lo menos en mi experiencia, siempre ha sido muy buena. Es decir... #00:04:55-9#

**Moderadora:** ...que dentro del alumnado... va en función de:: su propia habilidad, para trabajar. Es decir, que ponga más reticiencias a esa metodología o no. #00:05:03-7# Vale, entonces... Hm::... Un momento con lo del... Ya que sacamos el tema de las familias... Con respecto a la evolución, el tema... porque claro... entran en juego también creencias..., el propio conocimiento que tengan las familias..., quizá también un poco el tema de... a veces, que hay esa dependencia de las familias de... que se de en el colegio lo que puedo ayudar también a::... con los deberes a mis hijos. Entonces, ¿cómo creéis vosotros que el tema este de la evolución podrían... o sea, cuáles serían las sensaciones..., si se opondrían, si estarían de acuerdo..., las familias al respecto? #00:05:35-9#

**DOC1:** Como el tema de la evolución, no se da en primaria..., no tengo... esa experiencia concreta. Pero si puedo tener en otros campos. Por ejemplo, hicimos una investigación de qué pone verdes las patatas, si la luz de la luna, por la creencia que es la luz de la luna... Hicimos una investigación y al final la conclusión era que todas las luces ponían verdes las patatas. Bueno, pues hubo una señora... que le decía a su nieta, que no hiciera caso, que eso era una tontería... porque era la luna... la luna... la que ponía... Entonces... Sí que habría, seguramente, sí habría mucho que... #00:06:15-5#

**DOC2:** Yo estoy convencido [que hay choque... #00:06:18-0#

**DOC1:** ...En la zona rural sí que habría...] #00:06:19-2#

**DOC2:** No, yo estoy convencido de que hay choque por... por creencias religiosas. Es decir, si te coincide que tienes... eh... niños de::... de determinados credos... Va a haber problemas con la evolución. Seguro. Con lo cual... cuando en realidad... es decir, desde la parte científica, no hay conflicto, porque... no se trata de decir... no existe Dios o... Sencillamente, ese tema no hay por qué tocarlo. #00:06:50-5#

**DOC1:** Es que como haya una creencia... Yo creo que una creencia, sea popular... Una creencia... está por encima de la... de un hecho científico. Yo creo. #00:07:01-8#

**DOC3:** Curiosamente... en primero de Bachill... No me pasó nunca, pero este año, en primero de Bachillerato, una... chica... Les dije yo que indagasen, bueno, pues, sobre las teorías... eh... sobre las hipótesis sobre el origen de la vida... Que cada uno indagase sobre la que le parecía

más efectiva y que... que ellos apoyarían... Entonces una chica me explicó la hipótesis de Miller..., todo bien argumentado y tal... y al final, ella puso: Yo creo en Dios. ((DOC1 ríe))

Me quedé muerta. Nunca me había pasado. Porque claro... Podías decir: "Bueno, ya no argumento nada, ya no miro nada, y poner "Creo en Dios". Claro... Podrías... Pero no. Me puso todo eso y al final... Me quedé... Digo: ¿y esto? Es como si estuviera desubicada, ¿no? Como si su cerebro funcionase por una parte como... con el método científico y otra parte la... la parte religiosa. Claro... #00:07:51-8#

**DOC1:** Claro... Eso sí que va a ( ) un conflicto. #00:07:53-9#

**DOC2:** Es un conflicto... Per realmente es un conflicto porque se sitúan en el mismo plano dos cosas que son distintas y que no se pueden mezclar. Es decir, hay una cuestión que son las creencias religiosas, y otra cosa, que es la ciencia. La CIENCIA con mayúscula. Entonces la religión... no es ciencia. #00:08:10-6#

**DOC1:** Claro, pero [la creación del mundo... #00:08:12-2#

**DOC2:** Entonces...] Hay grandes científicos que son religiosos y creyentes ((DOC3 y DOC1 asienten con rotundidad)). Grandísimos. Premios nobel, de todo... Y no tienen ningún problema. Pero yo me imagino que esa es una cuestión que se alcanza, no sé si más adelante, con madurez... #00:08:24-2#

**DOC3:** Sí, con madurez... Sí, algo adelante. #00:08:24-7#

**DOC2:** El saber situar... esas dos cosas y que vayan en paralelo. #00:08:28-0#

**DOC1:** Claro, pero... #00:08:28-9#

**DOC2:** Claro. El conflicto surge cuando tú tratas de dar una explicación científica... a Dios. (.) No hay. No hay. #00:08:37-9#

**Moderadora:** Cuando se intenta explicar las dos cosas... O sea... El mismo tema por los dos... #00:08:41-8#

**DOC3:** No, yo... yo me llevo muy bien con los profes de religión, pero bueno... Yo muchas veces juego a eso, ¿no? Entonces les digo: ¿qué es la paternogénesis? Una manera de no olvidarse lo que es la paternogénesis es decir: "Si la Virgen María... eh... concibió tal... Tendría que ser una niña". #00:08:56-3#

**DOC1:** ¡Claro! #00:08:57-6#

**DOC3:** "¡Claro!" Y ya no se olvidan lo que es la paternogénesis. Y yo lo uso para ver la paternogénesis, pero claro, ellos ya van al campo religioso... Entonces, apostillan como: "¡Es mentira! ¡Nos engañan!", ¿no? Entonces es también abrir caminos y luces para que cada uno cree su propio pensamiento. Es decir, no tienes que... No tienen que ir por un lado... Hm::... ver un montón de caminos y que ellos decidan cuál van a elegir. #00:09:22-6#

**Moderadora:** Sí, claro. El problema quizá venga de que... desde pequeños... la religión sí que está en el:: colegio... Sí que está. Además desde las primeras etapas y está... todos los años. #00:09:35-6#



**DOC1:** Hombre, yo... Creo que en infantil tienen religión de algo... #00:09:38-4#

**DOC3:** Sí... Si la tienen en secundaria. También tienen religión... Y se sigue cogiendo, ¿eh? #00:09:43-8#

**DOC1:** Sí, sí. Sí, sí, sí, sí. Mira en primaria... Yo este año tengo:::.... Cinco alumnos de alternativa. El año pasado tuve seis. Sí... sí, sí, eso sí. #00:09:55-6#

**Moderadora:** Quizá... ¿veis alguna diferencia entre primaria y secundaria con respecto a lo que cogen... al número de alumnos que coge religión? #00:00:16-7#

**DOC3:** Es que no tengo ni idea de lo que coge es alumnado... #00:00:19-0#

**DOC2:** Yo, sí..., yo no sabría decir. (.) Sí, en secundaria, desde luego... yo creo que ha habido una caída grande y ahora se ha recuperado parte del asunto, ¿no? Pues hace veinte años para aquí. Que hubo un momento en que la gente ¡Plum! Escapó de golpe. Y después se fue recuperando un poco... No desde luego para todo el mundo pero... hay ahí un... más o menos un par de grupos en cada centro que se suele mantener... #00:00:42-0#

**DOC3:** Sí, sobre todo en primero y segundo. Luego ya no. Luego ya:: cae. Cae bastante en picado. Pero en primero y segundo de la ESO sí. #00:00:49-0#

**Moderadora:** Lo digo porque podría ser... Puede ser interesante para ver... a lo mejor el... el alumnado... No sé... que no la curse... quizá lo tenga más fácil para trabajar... #00:00:59-3#

**DOC2:** No... No creo. #00:01:00-2#

**DOC3:** No... Es lo que dice DOC2. Un poco el conflicto... De los conflictos se sacan ventajas, siempre. A mí me parece que el conflicto resuelve o soluciona algunas de las dudas que tienes que tú en la cabeza muchas veces. Posicionar las cosas y luego... argumentar pero con bases para cada cosa. Sin más. No... No tendría por qué hacer conflicto. #00:01:19-9#

**DOC1:** Yo creo que en ese aspecto es importante:::.... las áreas rurales y las urbanas. En los colegios de ciudad parece que se coge más alternativa. (.) Es decir, yo antes estaba en Claraveira y allí tenía doble de alumnos de alternativa. (.) Y aquí en Carral::: un cuarto... un cuarto de la clase coge alternativa. Antes era la mitad. (.) Me parece que puede haber... alguna... alguna diferencia. #00:01:45-8#

**Moderadora:** O sea... que influyera también... #00:01:49-6#

**DOC3:** ... El medio... el medio en dónde se vive. Pero influye todo, ¿eh? Tipos de padres... No es lo mismo el padre de ciudad que el padre del pueblo. #00:01:56-7#

**DOC1:** Y el niño de ciudad de ciudad y el niño de pueblo. #00:01:58-4#

**DOC3:** Y el niño de ciudad y el niño de pueblo. Tampoco. A no ser que esos cambios ya van inherentes a toda la sociedad en la que vive. El medio... El medio más... en que habita. #00:02:07-3#

**Moderadora:** Sí... Vale... Comentamos antes que:::.... que::: el tema de que en primero de la ESO sí que da evolución pero otra cosa es los profesores que no la den. que se salten ese tema... #00:02:20-5#

**DOC3:** O que no::: lo indaguen, más, ¿sabes? Porque tú:::... te dan unos esquemas para poder dar pero tú:::... No sé. Pues yo de alimentación... No viene en los cursos, yo la...la nutrición la tengo en todos los cursos pero por una razón: porque tengo estimado lo que va aprendiendo el niño y:::... para llegar al final. En primero de ESO hablo de moléculas... A veces, hablo de lo mismo, a distinta escala. Entonces... #00:02:43-6# Eso es el profesor, el que tiene que decir qué parte toca más y qué menos. Por ejemplo, es que mira... la evolución es que ya está implícita incluso en animales. Dan animales y plantas... Si dan animales y plantas... ahí normalmente ya se tocan cosas de anatomía comparada: ¿cómo es el corazón de un reptil? ¿Cómo es el humano? Entonces sí que está implícita en... en la evolución. Pasa que... Claro... ¿Y el cocodrilo... sale del agua...? ¿Sabes? Y no se toca el porqué... Dar se da. Se... se debería dar. Pero los profes no. #00:03:16-1#

**Moderadora:** ¿Pero por qué no? #00:03:17-6#

**DOC3:** Ffff:::... Siendo biólogos, pues que... A lo mejor no... no cogieron esa rama... A lo mejor no le gusta la evolución... o a lo mejor sus propias creencias. O es un tema conflictivo... #00:03:30-4#

**DOC2:** Y complejo. #00:03:31-1#

**DOC3:** También complejo, es decir, a nivel científico. Te:::... te posicionas a lo mejor en el libro y lo que da realmente es lo que viene allí, que es lo que estamos diciendo que es puramente teórico... Si... Si no haces cuestiones... La evolución es feísima. Charparla así... Tal y como viene en los libros... Eso es... #00:03:51-7#

**DOC2:** Claro, tal y como viene en los libros sí. #00:03:53-4#

**DOC3:** Es horrible. #00:03:53-4#

**DOC2:** Hm:::... De repente el tema de la jirafa y tal... Y dice "¡Ah, qué curioso!" Pero nos quedamos en que estiró mucho. Y:::... Y para... Y después es eso. Si se profundiza puede llegar incluso a ser árido. #00:04:05-5#

**DOC3:** Claro, es que... #00:04:07-0#

**DOC2:** Y es complejo. Yo creo que es complejo. Es una de las cosas principales... Entonces la gente tiende a escapar pues de... eso. Genera conflictos... Bueno, hay:::... distintas razones... para escapar. Sin embargo, es que es:::... #00:04:21-8#

**DOC3:** Y luego es integrativo. Y surgen muchas preguntas. Y para esas preguntas hay que estar preparado. Que yo me encontré que aquí, de epigenética, ellos dicen... No lo sé... Lo voy a comprobar al final de curso... Que solo me oyeron hablar de mí. Y yo creo que eso no, porque tengo unos compañeros maravillosos, ¿entiendes? Entonces... Probablemente no, peor yo sé que en muchísimos centros no se habla de epigenética. Entonces... yo hablo de epigenética casi como si fuera una ciencia. Casi como si fuera una ciencia que está escrita en los libros, como dicen ellos, ¿no? Pero es que es una parte ahora de la genética que hay que intergrarla. Claro, para eso hay que leer mucho, estudiar mucho..., ¿eh? Que no es:::... Viene ahí epigenética y qué es epigenética... No, no me vale la definición. ¿Y eso que es en el día? Entonces... A ver... Hay

que estar muy al día en ciencia. Pero no solo los que damos clase, ¿eh? Los señores médicos también... que tienen más capacidad de convencimiento que nosotros... pero... #00:05:18-4#

**DOC2:** Ssss:... Los señores médicos:... son un pequeño lastre además, porque desde el aula... tú no rebates algo que le haya dicho un médico. Un médico está:... en un nivel muy superior al profesor. Y:... Pues desgraciadamente, evolución genética... los médicos tienen... #00:05:39-3#

**DOC3:** Están muy carentes. Y en nutrición... Te lo puedo asegurar. ¿Vale? Entonces... #00:05:44-0#

**Moderadora:** Es... es un poco preocupante... #00:05:46-4#

**DOC2:** Eso... No, a ver... #00:05:48-4#

**DOC3:** No, es que es así. Ellos mismos... cuando... los bajas a la Tierra... ¿vale? Yo les doy clase en el máster... en Medicina en Santiago. Y cuando llego allí les digo: "Vosotros sabéis mucho de medicina, pero yo sé mucho de nutrición". Entonces... Es... Primero te posicionas. Fíjate hasta qué punto tienes que hacerte con el aula de principio, como diciendo: "No vengo a invadir vuestro terreno, pero escuchadme lo que yo vengo a exponer", ¿sabes? Porque... invades su terreno. Ellos lo saben todo. Entonces si tú te puedes permitir decir: "Hasta aquí llegas y hasta aquí sabes", eso ya te posiciona a ti... Tienes... En todos los sitios tienes que justificar que no eres médico, pero sabes de salud. En todos los sitios. Que cuando me preguntan a mí: "¿Y con qué problema te encuentras?" Y yo les digo: "Estoy hasta las narices de que... de que me pregunten si soy médico... ¡Pero por qué voy a tener que ser médico para saber de salud!" Entonces... La gente se cree que... es eso... que la salud es... Entonces, los ponen en el pedestal. Y no es así, ¿vale?. Saben muy poco de evolución, saben muy poco de nutrición, y tienen una mala formación al día en ciencia. Y lo digo... y que quede ahí. También que lo pongas, ¿vale? #00:06:56-3#

**Moderadora:** Muy bien, queda, queda... #00:06:59-7#

**DOC2:** Pero no pasa nada... Es decir, tampoco hay que tener miedo. Es decir... Muchas veces hablamos de los médicos que están en la parte clínica. Y yo voy a un médico a la parte clínica y te digo de verdad que a lo mejor sé que no sabe nada de genética porque ha hecho un comentario... pero yo estoy en sus manos y me pongo en sus manos... pero completa... con una seguridad total. Porque él está en su terreno. Y su terreno es la clínica. Y yo sé que él va a coger las pruebas diagnósticas y las va a leer perfectamente para darme una solución. Igual que si me meto en un quirófano... No tengo ningún problema. Que no sabe de evolución o tiene unas bases de genética ter... No me importa. Y no creo que sea grave. El problema es que a nosotros nos genera un pequeño conflicto porque... se dicen cosas... que no... no es que... es que están mal, vamos. Entonces, generan un conflicto para ti, que estás enseñando. Y es lo que digo... Si un médico le ha dicho: "No, es que ese virus se ha adaptado", pues se ha adaptado y punto. Al tío ya le puedes decir lo que quieras... #00:08:00-0#

**DOC3:** No... O cuando les... cuando les comentas simplemente los virus y bacterias, es decir... Enfermedades víricas y bacterianas. A ver, empezad a nombrar... Qué tenéis... ahí... de enfermedad... y... vamos a ponerlas en... Vamos a clasificarlas. ¿Y por qué...? Y tal. Entonces, cuando les dices: "Entonces para la gripe, tengo que tomar antibióticos". "¡No:::, no:::!"

Entonces sale siempre alguien. SIEMPRE sale alguien, que le dieron antibióticos. Claro. #00:08:19-9#

**DOC2:** Sí... "Álguienes". Siempre salen "álguienes". #00:08:23-4#

**DOC3:** ((Asintiendo)) "Álguienes". Entonces el... claro... Entonces, quién sabe más: ¿tú o el médico? Ya entramos en el conflicto. #00:08:29-0#

**DOC2:** Sobre todo porque además le resolvió. #00:08:30-3#

**DOC3:** ¡Claro! #00:08:31-3#

**DOC2:** Es lo que te digo. El problema lo resolvió. No sabemos si... si no hubiese tomado antibióticos se habría resuelto y en el mismo plazo... (.) Pero el caso es que se lo tomó y se lo resolvió. #00:08:40-2#

**DOC3:** Claro. Entonces, bueno... Pues eso, que::... Tenemos cada uno su parte pero:::... sí que hay cosas que... No son dioses, ¿vale? Y chocamos con ellos, evidentemente. #00:08:48-3#

**DOC2:** Lo que nos estamos metiendo con los médicos, en realidad nos estamos metiendo con... [con la forma... con lo que tiene que saber cualquier ciudadano sobre ciencias. #00:08:56-4#

**DOC3:** Claro, lo mínimo para cuidarse y para estar sano y::, en este caso, pues para... saber un poquito del origen de todo. ¿Por qué tenemos treinta y seis grados y medio... de temperatura? Cuando preguntas eso, no se lo habían... no se lo hab... no se les había ocurrido. Entonces, ¡claro! ¡Menudo follón! ¿No? ((Ríe))

¿Por qué la merluza le sienta bien a todo el mundo? Son cosas... CURIOSAS que... ya abren debate. Ya empieza el tema de evolución. #00:09:18-3#

**DOC1:** Claro... pero es muy difícil. ¡Y abarca tanto...! #00:09:22-1#

**DOC3:** Abarca todo. Por eso... #00:09:23-9#

**Moderadora:** Entonces quizá el::... #00:09:25-0#

**DOC2:** Precisamente. Ese es el... #00:09:26-2#

**Moderadora:** ...sea tan importante de:::... de desarrollarlo. [Porque está en todo]. #00:09:29-8#

**DOC3:** [Pero por eso que no tiene que estar] en un tema... Es en toda... la... la conexión en toda la ciencia, ¿sabes? Es un tema que... que une todo. #00:09:36-0#

**Moderadora:** Vale, entonces... Ahora vamos con lo de:::... mantenerse actualizado... lo de la formación continua... O sea, un poco... O sea, por ejemplo, pues al lado de la formación inicial, que deja:::... que desear, quizá... Por un lado, los de:::... secundaria sí tenéis la formación científica, no tanto la:: metodológica, la didáctica...; los de:::... eh:::... Magisterio, los de:::..., bueno... primaria, infantil... tienen más la metodológica, la didáctica, y no tienen la formación científica. Entonces... la formación continua... ¿que podría hacer...? Es decir, la universidad..., ¿que creéis que tendría que hacer para:::... mejorar esas lagunas? #00:00:05-1#

**DOC1:** ¿La universidad? #00:00:05-9#

**Moderadora:** Sí. La universidad y el resto de programas de formación continua que se:::... gestionen... #00:00:10-7#

**DOC1:** El curriculum tendría que:::.... que mejorarse. Si es que no se p... Bueno, yo hablo... En realidad estoy obsoleta en cuestiones... del curriculum de lo que::: de lo que sería Magisterio y Ciencias de la Educación. No lo sé... Antes era completamente::: escaso. #00:00:30-6# Antes no te formaban. Ahora no lo sé. Pero me temo que es parecido... #00:00:34-5#

**Moderadora:** Sí... Sup... Más o menos... Hombre, yo lo que sé es que, por ejemplo, cuando nosotros entramos... Que yo hice el grado... fui la primera promoción... Lo primero que me dijeron nada más entrar por la puerta, fue: "Bueno, que sepáis que tenéis cuatro años pero que yo creo que salís peor preparados". #00:00:49-8#

**DOC1:** Estupendo. #00:00:51-0#

**Moderadora:** Así que... Me refiero. Las cosas... supongo que según para qué profesor... Habrán mejorado o no. #00:00:57-0#

Y mira... En cuanto a la formación continua... Eso queda muy bonito en el papel de las programaciones. Que es continua, flexible, personalizada... Eso queda fenomenal. Pero eso no se lleva a cabo. #00:01:14-0#

**DOC3:** Sí, pero eso puede ser así... Pero lo que hay que impartir son contenidos. En nuestro caso, científicos. ¿Y quién imparte los contenidos científicos si no tiene una formación científica? Entonces yo entiendo que en Magisterio hay que estudiar mucha pedagogía, mucha psicología... Hay que saber programar... Me parece estupendo. Pero, para hacer todo eso, eso es secundario, lo primero es la base científica. Hablando de ciencia. La base social, hablando de geografía e historia... La base científica. Y FALLA. #00:01:40-1#

**Moderadora:** Hay que tener las dos cosas. #00:01:42-4#

**DOC3:** Primero... Primero... es mejor... tener los conceptos claros a nivel científico y luego aprender a programar, la pedagogía aplicada a todo eso... Creo yo, ¿eh?. La psicología del aula... Entonces, todo eso... #00:01:55-3# No se puede empezar por pedagogía... y estar todos los años pedagogía, psicología, didáctica... ¡Si es que eso no es lo que... lo que vas a enseñar! ¡Tú vas a enseñar un contenido! ¿Y dónde está el contenido? (.) Sabes programar, ¿pero qué programas? Entonces, a mí me parece fundamental que se tendría que estudiar Biología, mucha más Biología, muchísima más, incluso con partes - Anatomía, Fisiología... -, más de eso... Y luego... a lo mejor un año... dedicárselo a... O el:::.... obligar el máster de educación y que fuese ya solo de didáctica, de programación... pero con un contenido. A mí me... A mí me parece que fallan rotundamente todos los contenidos. #00:02:35-5#

**DOC1:** Pero si últimamente está fallando... #00:02:37-1# Va a fallar más todavía... Porque ahora... el lenguaje que se quiere meter en todo es el inglés... Se está dando Coñecemento do Medio en inglés. Entonces no importa que tú tengas mala información en Coñe... Lo importante es que lo digas en inglés. Entonces, ya... Ahí ya... #00:02:55-4#

**DOC2:** Bueno, pero... ahí tenéis el razonamiento... Falla una cosa: yo realmente no -no... no estoy ni en contra ni a favor del inglés, ¿no? Seguramente estaré más a favor de que se aprenda

inglés. Yo de:... De lo que estoy en contra es de cómo se está dando ahora. Porque está pasando esto que estás diciendo tú. Pero... no necesariamente debería ser así. Es decir... #00:03:15-5#  
Lo que no puede ser es que un profesor imparta en inglés después de haber dado tres cursos de la escuela de idiomas... (.) Es decir, eso no le capacita para dar una asignatura en inglés. Pero... Es decir, tampoco quiere decir... Pues... A ver si me explico: primero va el conocimiento de la ciencia, los con... lo que... el conocimiento que tiene... y después que lo imparta en inglés, si está capacitado. Son dos tem... SON DOS TEMAS APARTE. #00:03:40-5#

**DOC1:** Pero es que se está haciendo al revés. Los colegios... [que se están haciendo bilingües... Trilingües...]

**DOC2:** [Sí, sí, sí.] #00:03:42-3#

**DOC3:** [Los dos tenéis razón]. #00:03:45-6#

**DOC2:** Sí, sí, si no lo quito... Por eso... El problema es... #00:03:49-1#

**DOC1:** Entonces... Ni inglés... #00:03:50-6# Lo malo es que ni inglés, ni ciencias. #00:03:52-8#

**DOC2:** Pues... Lo que - Lo que no puede ocurrir es que diga... Porque... Porque lo que está ocurriendo es que se está impartiendo MAL, porque falla la base científica y MAL, porque... no hay... dominio del inglés. #00:04:04-4# Se están haciendo mal las dos partes. Yo creo que tiene ir primero bien una, y luego viene la otra. #00:04:09-4#

**DOC1:** Voy a ser generosa: supongo... o sea, imaginando que el inglés se da bien. El inglés se da bien. Sí, ¿pero para qué te vale una lengua si no sabes lo que tienes que expresar? #00:04:17-2#

**DOC3:** No, no es que lo primero es expre... LO PRIMERO ES EL CONTENIDO DE LO QUE SE QUIERE EXPRESAR. #00:04:21-9#

**DOC1:** O sea... en los colegios que se están hac... que se llaman bili... trilingües aquí en Galicia, quieren dar el inglés de manera transversal en Coñe, en Artística... Es que no por... Es que vienes de la especialidad de inglés y te meten a tutor de primaria. Con lo cual... Lo... La formación que tienes en Coñe, ya no la tienes, porque la tienes en inglés. O sea, se ha especializado pero los especialistas... Van a dar inglés. O sea... van a... #00:04:52-8# Y se pierde más todavía. Y el inglés es fundamental, ¿eh? #00:04:55-7#

**DOC2:** Sí::... Sí, sí, sí. [No digo que no... si no digo que no... #00:04:59-0#

**DOC1:** ...que no estoy en contra del inglés, ¿eh? #00:04:59-2#

**DOC3:** Sí... Lo mismo con el gallego. Pero yo también siempre estuve en contra. De hecho, yo cuando empezaron a obligar a dar... a dar la asignatura en gallego, yo no la daba. ¿POR QUÉ? NO LA DABA. Y además, mi argumento seguía siendo el mismo y fui fiel a eso: y es que... YO me expreso perfectamente en castellano Y YO PIERDO... Cuando... les expliqué un día en gallego... Dije: "Voy a dar una clase de química en gallego". Los niños... me dijeron: Ay... No... Ti, explica en castelán. ¡Claro! Porque... Porque pierdes... #00:05:28-6# Y entonces... lo importante de... la lengua es la comunicación. ¡Si una lengua no comunica, no vale para nada! Con lo cual, hay que comunicar. Comunicar bien, ¡pero primero tienes que tener la base científica! ¡ES QUE SINO ES IMPOSIBLE! #00:05:40-0#

**DOC2:** Ahí vamos. Ahí vamos. A mí me parece estupendo que se enseñe en inglés, pero si los profesores están... preparados para eso. Si saben los contenidos perfectamente y si hablan fluidamente en inglés. No me vale que sepa de inglés. A mí eso no me vale. #00:05:54-9#

**DOC3:** Y lo de la... Y lo que se está haciendo aquí de la Escuela de Idiomas... Eso... En ningún sitio te preguntan "¿qué título tiene oficial de la Escuela...?" No, te preguntan: "Hábleme en inglés. Va a desempeñar este puesto. Hábleme usted en inglés". ¡ESO ES LO QUE VALE! #00:06:06-7#

**DOC1:** Pero mira... No. Es que eso son los políticos... Las - las directrices vienen... vienen de arriba... vienen de los políticos. Ahora hay que hacer colegios bilingües. Venga, la lista de inglés: la vamos a agotar... #00:06:16-9#

**DOC3:** Y trilingües... y pluril... ((Ríe)). #00:06:18-1#

**DOC1:** Y mira... Y mira... En la oposición... Madrid es la que lleva... la... la directriz esta así de los... Lo sé porque mi hija entró ahora:: en Madrid, dando clase en un cole... Y la lista de inglés, el último, tenía 0.5. Pues está haciendo una interinidad... de primaria. ¡Con un 0.5 de inglés! #00:06:38-4# O sea, que no sabe ni inglés... ni primaria. ¡Pero ese está trabajando! ¡Dando primaria! Eso.. Eso... ¿quién da esas directrices? Los políticos. (.) Ahora, el título de bilingüe ya lo tenemos. ((Con ironía)) Somos bilingües. #00:06:53-7#

**DOC2:** Yo creo que en la formación... Volviendo al:: al tema ese... Hay un parte:: muy importante, que depende directamente del:: del individuo, del profesor. Es decir, evidentemente habrá que hacer esfuerzos por parte de las administraciones, pero... pero los esfuerzos... por parte de las administraciones y de los cursos de formación al final se llenan de gente que quiere puntos para los sexenios, pero que después no:: no utilizan eso para nada. En cambio... Hay un montón de gente que te encuentras en esos cursos que va a buscar los puntos y que ya sabe todo lo que se imparte en esos cursos. Esa ya se ha formado. Solo va allí porque... necesita el certificado. Habría que a lo mejor... buscar mecanismos para certificar a los que forman... por sí mismos. Es decir, ahora mismo, las posibilidades de autoformación son extraordinarias. Solo hace falta tener cierta capacidad..., que... se va ganando además con el tiempo... Y:::...Y querer. Que es lo fundamental. [Querer hacer]. #00:07:51-5#

**DOC3:** [Y mantener la ilusión]. #00:07:52-7#

**DOC2:** Exactamente. #00:07:53-5#

**DOC1:** Claro, pero mantener la ilusión cuando recibes todos los años un palo por tu forma de trabajar... Es difícil. #00:08:00-5#

**DOC3:** Es constancia. #00:08:01-6#

**DOC1:** Es constancia... [Sí...] #00:08:03-5#

**DOC3:** [Seguir...] [Seguir luchando contra el mundo...] ((Ríe)) #00:08:05-1#

**DOC1:** [Sí... Pero es duro, ¿eh?] #00:08:06-1#

**DOC2:** Sí, pero... Cuando:: al día siguiente sales a la calle y te cruzas con un alumno que [te sonrío y tal...] y ya si el día que te dicen no se qué, [de los doscientos que tuviste...], y uno se te acerca... [Pues:::...] Pues ahí tienes el pago. #00:08:18-0#

**DOC1:** [Esa es la recompensa... Esa es la recompensa... Esa es la recompensa.] [Sí, y los padres...] #00:08:19-3#

**DOC3:** O que te vienen a ver, después de tantas generaciones y te dicen: "Mira, es que... era el único de la facultad que sabía cómo se manejaba el microscopio..." Y digo: "¡Pues sirvió de algo!" #00:08:27-9#

**DOC1:** Claro:... #00:08:28-1#

**DOC2:** Efectivamente. #00:08:29-4#

**DOC3:** O sea... Una chorrada... De decir... es una chorrada... Pues... Es que dices tú: "Bueno, pues fíjate tú: ya se acordó de mí, ya se acordó de la clase de Biología..." #00:08:37-0#

**DOC1:** A mí hay madres que me vienen: "Estudió Biología, y eso tuvo que ser por ti, porque yo no le metí nada de... ((Ríe)) de ciencias" #00:08:41-5#

**DOC3:** Pues sí, sí, que es algo bueno... #00:08:44-5#

**DOC2:** Pues ahí... Pues ahí... Y además ese pago tienes que mantenerlo y ahorrarlo porque te va a hacer falta los años siguientes. Tenlo por seguro. #00:08:50-9#

**DOC1:** No, sí, de verdad... Los padres vienen y te lo dicen: "¡Las ciencias le encantan y tal...!" Y eso es por ti. #00:08:55-4#

**DOC3:** Pero es lo que estás diciendo tú. Eso es personal... #00:08:58-1# ¡Hasta eso es personal también! #00:09:01-0# Es muchas veces la empatía que haces con los alumnos..., ¿sabes? Eso es importante... Y luego la formación... Ahora mismo, es personal. Si haces algún tipo de formación, con... alguna idea clave para ir por ahí y decir "Mira, pues mis compañeros saben de esto..., te pongo en contacto con ellos. Yo sé de otra cosa, si te sirv..." ¿sabes? Esa fluidez de decir "Yo soy de esto, pero no de aquello..." Eso tampoco lo tiene todo el mundo, ¿sabes? Y formarte en ese lado y dejar el otro y... Mira, sab... #00:09:27-1#

**DOC2:** Pero mantener la actualización científica al día... Es que en realidad... Eso vale muchísimo. Solo leyendo titulares... de::: blogs... Vas a aprender muchísimo más que en un curso de treinta horas. Pero muchísimo más. Y vas a estar más al día. #00:09:42-2#

**DOC1:** En cuanto a los cursos... Yo le veo otro problema: ¿qué cursos se están valorando hoy en día más? #00:09:47-7#

**DOC2:** Es que eso va... #00:09:50-1#

**DOC1:** MÁS... O CASI (.) ÚNICO. El inglés y las nuevas tecnologías. Si tú haces algo de ciencias... Eso no se valora, no se tiene en cuenta. #00:00:52-3#

**DOC2:** Pero esa es una razón para formarte por tu cuenta... #00:00:54-8#

**DOC3:** ... por tu cuenta #00:00:56-1#

**DOC1:** ¡Ah, claro! #00:00:56-5#

**DOC2:** Si no hay cursos que te interesen o que te... cubran las necesidades... pues los tienes que buscar por otro lado. #00:01:00-0#



**DOC1:** Pero no te van a regalar con... con puntos de sexenios... #00:01:02-6#

**DOC2:** Bueno... pero después te apuntas a otro curso para conseguir los puntos, que... los que te hagan falta... y ya está. #00:01:07-5#

**DOC1:** Pero es que los puntos son necesarios. Para...

**DOC2:** No... Si no digo que no... #00:01:10-1#

**DOC3:** Claro... Pero tú haz lo que te dice DOC2. Tú pasa de los... Tú pasa de los puntos... Fórmate para ti... Evidentemente... Luego, si no llegas a tener los créditos para ese sexenio... tal... Dices tú: Tengo que hacer... tres cursos de esto. [Pues voy... voy allí y punto". #00:01:26-0#

**DOC1:** Sí, claro... #00:01:26-3#

**DOC2:** Claro, te haces los cursos que quieras]. Es más, yo te pongo un ejemplo: yo el año pasado hice un curso que me interesaba muchísimo, tuve que esperar a la lista de espera, porque no era de mi especialidad. Pero es que ese me interesaba muchísimo más que los que eran de mi especialidad. Entonces cogí... me puse a la lista de espera, tuve suerte, y entré en él. Después, aunque no sea de mi especialidad, los puntos me valen exactamente igual. Y es que yo he aprendido muchísimo más porque... es algo en lo que no trabajo pero que me complementa. En este caso era un curso de::: de producción audiovisual. Y yo es que he aprendido muchísimo más y es que... es que lo estoy aplicando en MI... EN MI EJERCICIO... #00:01:56-8#

**DOC1:** ¡Y claro que necesitamos otras áreas! ¿Pero no te parece triste que las ciencias, las ciencias en general, NO SE VALOREN en ningún sitio? #00:02:04-0#

**DOC2:** Hombre, tristísimo. Tristísimo. Bueno, luego... #00:02:06-6#

**DOC1:** Y que las ferias... Por ejemplo, el Día de la Ciencia... El Día de la Ciencia... #00:02:11-8# Un MONTÓN de profesores no lo conocen. (.) Pues hombre, es algo que está ahí... que puedes... aunque no::: vayas tú pues... #00:02:20-0#

**DOC2:** No sé si a los profesores que van al Día de la Ciencia se les::: otorga algún tipo de:::... #00:02:25-3#

**DOC1:** No... No se les otorga nada. #00:02:26-4#

**DOC2:** Pues esto::... Esta es otra de las cosas. A lo mejor igual que en las universidades ahora se:::... hay créditos de::... ¿cómo se llaman? De libre::... #00:02:35-6#

**Moderadora:** Configuración. [Bueno sí, que ahora desaparecieron ya pero::...] #00:02:37-9#

**DOC2:** De configuración. [...] Pues a lo mejor a nosotros nos deberían configurar puntos por determinadas cosas que no se valoran? #00:02:41-9#

**DOC1:** Pues yo creo que sí. #00:02:43-6#

**DOC2:** Pues a lo mejor hay que tirar por ese lado. (.) Pero yo lo que tengo claro es que (.) la actualización científica, es igual que sea evolución, que sea lo que sea, si estoy esperando a los cursos..., vamos, sigo en el Pleistoceno. #00:02:56-5#

**DOC1:** No, no, no. #00:02:58-4#

**DOC2:** Entre otras cosas porque a veces las... las cosas hasta que... desde que se introducen en ciencia un descubrimiento, hasta que llegan a un curso... ¡Dios mío! Puede pasar muchísimo tiempo. #00:03:10-8#

**DOC1:** Ya, bueno, sí... #00:03:12-0#

**DOC2:** Y, claro, antes las cosas iban del libro a los alum... del libro al profesor a los alumnos. Es que ahora a los alumnos les llega directamente de fuera, así que tú:... tienes que estar preparado. #00:03:22-4#

**DOC3:** Muy preparado... porque... #00:03:24-3#

**DOC2:** Por lo menos al día. #00:03:25-2#

**DOC3:** De cualquier cosa. (.) Bueno, yo, de hecho... yo aconsejo... siempre eso... Ciencia al día... Es la parte práctica que yo la tengo introducida en todas las asignaturas, en todos los grupos. Hay un día, que es dedicado... una hora... siempre a la semana, todos los grupos. #00:03:41-0# Es una práctica... semanal. Y constante hasta final de curso. Todos. Y es... abrir las páginas de prensa de didáctica... de::: de::: de didáctica, no, perdón. De:::.... los periódicos, El Mundo Salud, El País Salud... Ahí tenéis mogollón... Bueno, supongo que los conoceréis. Pero fáciles... Los niños... O sea, que dan...depende de la edad... saben... O les marcas algunas... Algunas las cojo y se las marco, pues... Pues mira con temas de evolución precisamente ahora los de cuarto están... los viernes con eso: leyendo todo lo que salió de evolución desde enero hasta ahora, que fue mucho además. Y::: lo están leyendo... para que vean que lo que están estudiando, está al día. #00:04:20-1# ¡PERO NO ESTÁ AL DÍA EN EL LIBRO! ¡Es que tienen que estar al día moviéndose... con documentación! #00:04:26-1#

**DOC2:** Eh::... Hablábamos antes de los médicos... Lo que podríamos decir de los periodistas... #00:04:31-1#

**DOC1:** Bueno, claro... #00:04:31-8#

**DOC3:** Bueno, hay una cosa buena también... Que menos mal... que sale algo en prensa sobre ciencia. Porque antes no salía nada. #00:04:40-9#

**DOC2:** Sí, pero esto que dices tú... de coger la prensa... Eso da mucho juego... #00:04:44-5#

**DOC3:** MUCHO. #00:04:45-0#

**DOC2:** ...Por lo que se aprende que viene bien, y por lo que rebates que viene mal... #00:04:48-2#

**DOC3:** Y por lo que rebates que está mal. Claro... #00:04:49-0#

**DOC2:** Eso es... #00:04:50-0#

**DOC1:** Eso lo podréis hacer vosotros... ((Ríe)). #00:04:51-5#

**DOC3:** ¡La bacteria de la gripe...por ejemplo! #00:04:53-0#

**DOC2:** Bueno... y el cromosoma este... Lo que se ha escrito con el cromosoma este que:: el artificial este que han hecho ahora... #00:04:59-4#

**DOC3:** Sí, sí... #00:05:00-0#

**DOC2:** ¡Dios mío querido! #00:05:00-6#

**DOC3:** La interpretación... #00:05:01-1#

**DOC2:** La interpretación... Lo que va a promover... Que ya hace n:... no sé cuántos miles de años que se hace... Bueno... #00:05:07-9#

**DOC3:** La vida sintética sí... #00:05:09-2#

**DOC1:** Es que es muy complicado... #00:05:09-9#

**DOC2:** Una cosa... #00:05:10-6#

**DOC3:** No, pero es muy bueno... #00:05:12-0#

**DOC2:** [Pero sí es bueno, sí. #00:05:13-1#

**DOC3:** Ese ejercicio es muy bueno...] Porque... por ejemplo, esto::..., en segundo de Bachillerato les das el artículo y les dices: "¿Qué sacáis de ahí?" Y, bueno, te sacan un artículo científico ellos que empiezan a poner peros en todo... GENIAL. Si no es nada malo. ¡ES PERFECTO! Porque::... "Fijaros... Os da pie para...buscar y salir d... y salir de aquí diciendo "¡Cuánto sé!" #00:05:33-0#

**DOC1:** Sí::: #00:05:34-0#

**DOC3:** Es la parte buena #00:05:34-6#

**DOC1:** Sí, claro. #00:05:35-4#

**Moderadora:** Claro, quizás el problema sea que en:... el tema a lo mejor de la educación primaria, que es donde tiene que empezar ya todo... Quizá el profesorado no se encuentra con las habilidades... o la formación necesaria para apoyar eso al:: al alumnado. #00:05:48-4#

**DOC2:** Siempre hay... S... Siempre hay... formas y siempre hay material... para ajustar a los distintos niveles niveles. Y si no hay... o sino sirve el que hay... Pues se trata de buscar otro que sí se::... esté más adecuado. Hay en inglés. Los recursos se multiplican por un factor muy elevado. #00:06:07-1#

**DOC3:** Cla::ro. Porque la ciencia es inglés. La ciencia se escribe en inglés. #00:06:09-6#

**DOC2:** Pero material, digo, para niños... para infantil y para primaria... de ciencia, lo hay. Y muy bueno. En inglés, muchísimo. En castellano, menos, mucho menos. En gallego, muchísimo menos. #00:06:20-6#

**DOC1:** Muchísimo menos, sí. #00:06:22-1#

**DOC2:** Pero ha... sí lo hay. #00:06:24-5#

**Moderadora:** Bien. Bueno, pues entonces, ya... para resumir..., digamos, eh:: el tema de:: eh la evolución en educación primaria, digamos que, sí podría s... sí que es recomendable trabajarlo aunque de forma más intuitiva::... y, claro, por supuesto, va muy relacionado con que sea una metodología más innovadora, más de trabajo, de argumentación, de::... hacerlo más ameno con el alumnado, no el papel memorístico que ha tenido hasta ahora...y::... más... Bueno, eso, que sí que es posible::: trabajarlo con ellos. #00:07:02-1#

**DOC2:** Es posible, [es recomendable...] #00:07:04-4#

**DOC3:** [Sí, muy posible...] Son [muy creativos...] #00:07:05-6#

**DOC2:** [Favo...] Favorecería mucho después el trabajo en secundaria... sin duda... Así que... #00:07:13-4#

**DOC3:** ¡Ánimo! #00:07:14-3#

**DOC1:** Sí. #00:07:14-8#

**DOC2:** Evolución en primaria, sí. ((Ríen todos)) #00:07:16-2#

**Moderadora:** Vale, pues, entonces, muchas gracias. Si queréis añadir algo más... Sugerencias, comentarios... #00:07:22-9#

**DOC2:** Nada... Que hemos estado aquí charlando muy an... #00:07:25-0#

**DOC3 y DOC2 al unísono:** ...muy agradablemente... #00:07:26-7#

**Moderadora:** Me alegro. #00:07:27-9#

**DOC1:** Ojalá consigas algo... #00:07:30-2#

**DOC2:** Eso. (.) Te queremos ver en la prensa para::... #00:07:33-6#

**Moderadora:** ((Riendo)) Sí... #00:07:34-2#

**DOC1:** ((Riendo)) De inspectora de educación. #00:07:35-9#

**DOC3:** No sé a quién tenemos que llamar para que salga... para que salga en las noticias... Estaría muy bien, sería muy agradable. Que tengas mucho:: mucho éxito... #00:07:46-6#

**Moderadora:** Gracias. #00:07:47-6#

**DOC1:** Suerte. #00:07:48-7#

**Moderadora:** Muchas gracias. #00:07:49-5#

**DOC2:** Seguro que sí, cuando se trabaja... #00:07:50-8#