

10 ideas clave

Competencias en argumentación y uso de pruebas

10 ideas clave

**Competencias
en argumentación
y uso de pruebas**

María Pilar Jiménez Aleixandre

12  GRAÓ

Colección Ideas Clave

Directores de la colección: Antoni Zabala, Maruja Caruncho

Serie Didáctica / Diseño y desarrollo curricular

Didáctica de las ciencias experimentales

© María Pilar Jiménez Aleixandre

© de esta edición: Editorial GRAÓ, de IRIF, S.L.

C/ Hurtado, 29. 08022 Barcelona

www.grao.com

1.ª edición: febrero 2010

ISBN: 978-84-7827-897-8

D.L.: B-8.684-2010

Diseño: María Tortajada Carenys

Impresión: Imprimeix

Impreso en España

Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquier medio, tanto si es eléctrico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*. Si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra, dirijase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, *www.cedro.org*).

*Para Joaquín Díaz de Bustamante,
que con sus argumentos tanto ha contribuido a este libro.*

*Las personas se aferran a un prejuicio o superstición
con la misma energía que a una verdad, o incluso con más,
ya que el prejuicio es intangible y no puede ser refutado,
mientras que la verdad es un punto de vista y por tanto modificable.
(Atribuida a Hipatia de Alejandría)*

*Me parece que aquellos que sólo se basan en argumentos de autoridad
para mantener sus afirmaciones, sin buscar razones propias
que las apoyen, actúan en forma absurda.
Desearía poder cuestionar libremente y responder
libremente sin adulaciones.
Así se comporta aquel que persigue la verdad.
(Galileo Galilei)*

AGRADECIMIENTOS:

Este trabajo forma parte del proyecto EDU2009-13890-C02-01 (subprograma EDUC) financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España.

Índice

Presentación	11
Diez preguntas sobre la argumentación y diez ideas clave para responderlas	14
1. Argumentar consiste en evaluar los enunciados en base a pruebas	17
¿Qué es la argumentación? Evaluar teorías, enunciados	17
• ¿Qué se considera prueba? Argumentación frente a autoridad	19
• La argumentación como proceso social	21
En resumen	23
En la práctica	25
Para saber más...	30
2. La argumentación contribuye a competencias básicas y objetivos generales de la educación	31
¿Por qué es importante aprender a argumentar?	31
• Competencias científicas y argumentación en PISA y los currículos	32
• Argumentar contribuye a aprender a aprender	37
• ¿Cómo apoya la capacidad de argumentar al pensamiento crítico?	39
• ¿Qué dimensiones del trabajo científico se aprenden argumentando?	43
En resumen	46
En la práctica	48
Para saber más...	51
3. Las pruebas permiten distinguir conclusiones sustentadas en datos de opiniones	53
¿Cuál es el papel de las pruebas?	53
• ¿Cómo sabemos lo que sabemos?	55
• Uso de pruebas en distintos contextos: elegir teorías, confirmar predicciones, evaluar críticamente afirmaciones	58
En resumen	60

En la práctica	62
Para saber más... ..	67
4. Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones	69
¿Qué elementos comprende un argumento? ¿Son todos indispensables?	69
• Conclusiones, hipótesis y explicaciones causales	70
• Pruebas y datos	72
• El papel de las justificaciones	75
• Respaldo teórico, calificadores modales, refutaciones	77
En resumen	79
En la práctica	81
Para saber más... ..	84
5. Los criterios para evaluar pruebas incluyen especificidad, suficiencia, fiabilidad	85
¿Qué criterios se deben utilizar para decidir sobre las pruebas?	85
• ¿Por qué es importante que una prueba sea específica?	87
• Pruebas suficientes, fiabilidad de las pruebas	89
• Examen de las interpretaciones alternativas de las pruebas	91
En resumen	93
En la práctica	94
Para saber más... ..	97
6. Los argumentos sobre modelos pretenden identificar relaciones causa-efecto	99
¿Qué objetivos caracterizan la argumentación sobre modelos explicativos?	99
• Las explicaciones causales en ciencias y en el aprendizaje de ciencias	101
• Evaluación de modelos teóricos y de las pruebas que los sustentan	106
• La construcción y evaluación de modelos en el aula	111
En resumen	112
En la práctica	114
Para saber más... ..	119

7.	La argumentación sociocientífica contribuye al pensamiento crítico	121
	¿Qué caracteriza a la argumentación en cuestiones sociocientíficas?	121
	• Aprender sobre la ciencia en las controversias sociocientíficas	123
	• El carácter interdisciplinario de las cuestiones sociocientíficas	128
	• El pensamiento crítico y la educación para la ciudadanía	131
	En resumen	133
	En la práctica	134
	Para saber más...	137
8.	Aprender a argumentar implica comunicar, persuadir a una audiencia	139
	¿En qué contribuye la argumentación a aprender a comunicar ideas de ciencias?	139
	• Comunicación: enseñar a hablar y a escribir ciencias en clase	141
	• Criterios para valorar la argumentación en un informe: el pan bendito	143
	• La argumentación en diálogos orales: «ganar» o persuadir	146
	En resumen	149
	En la práctica	150
	Para saber más...	154
9.	El alumnado argumenta si su papel en clase lo requiere	155
	¿Cómo diseñar tareas y ambientes de clase que promuevan la argumentación?	155
	• ¿Enseñar a argumentar o proporcionar experiencia?	156
	• Actividades auténticas y prácticas científicas: el currículo	159
	• Los alumnos y alumnas como productores y evaluadores del conocimiento	163
	• El papel del profesorado	165
	En resumen	166
	En la práctica	168
	Para saber más...	171
10.	Un buen argumento tiene en cuenta los argumentos opuestos	173
	¿Cómo enseñar a evaluar argumentos de otros en base a pruebas?	173
	• ¿Qué criterios hay que utilizar para evaluar la calidad de la argumentación?	174
	• ¿Qué condiciones favorecen los diálogos argumentativos?	178
	• ¿Quién es experto? El alumnado como experto	179

En resumen	183
En la práctica	185
Para saber más... ..	188
Glosario	189
Referencias bibliográficas	193

Presentación

Este libro está dirigido al profesorado que, como yo, no se conforma con que un alumno o alumna le conteste a una pregunta de forma adecuada, sino que requiere además que razone su respuesta, que justifique por qué da esa respuesta. Por ejemplo, en ciencias experimentales, que justifique por qué interpreta un fenómeno natural como puede ser el movimiento aparente del sol en el cielo, la alternancia de estaciones en las regiones templadas, la ebullición del agua o el crecimiento de los árboles, de una forma determinada y no de otra. En educación ambiental, por ejemplo por qué escoge una determinada opción para el tratamiento de basuras, o qué sistema de calefacción tendría menor impacto ambiental, es decir utilizaría menos recursos no renovables (o ninguno) y produciría menos (o ninguna) contaminación. En ciencias sociales, por ejemplo que sea capaz de explicar la relación entre la política neoliberal de disminución de gastos sociales en Estados Unidos en la etapa de Reagan y el aumento de las desigualdades en ingresos.

Aunque hubo un tiempo en que en la enseñanza predominaba la memorización mecánica, cada vez hay más docentes que tienen como objetivo, además de que el alumnado llegue a construir o reconstruir los conocimientos escolares, que desarrolle su capacidad de razonamiento, que sea capaz de relacionar un enunciado, una **explicación***, una opción, con las **pruebas** o datos que la apoyan. Por **argumentación** se conoce esa capacidad de relacionar explicaciones y pruebas, o en otras palabras, de evaluar el conocimiento en base a las pruebas disponibles. La relevancia de las pruebas en la argumentación hace que a veces se identifique la argumentación con el uso de pruebas, una de las tres capacidades que forman parte de la **competencia** científica, tanto en el marco de la evaluación PISA como en los currículos de primaria y secundaria. El uso de pruebas es una dimensión central de la argumentación, aunque no la única, pues también forman parte de ella la **persuasión**, la articulación de un **argumento** convincente, o la respuesta a los argumentos opuestos al propio.

Es importante aclarar desde el comienzo que hablamos de las pruebas disponibles en cada momento porque el conocimiento se ha ido construyendo a lo largo del tiempo, ex-

* Todos los términos que aparecen en **negrita** pueden encontrarse en el glosario del libro (pp. 189-192).

perimentando cambios de acuerdo tanto con nuevos datos y pruebas como con teorías y modelos que permiten una interpretación distinta de los mismos. Por eso hoy en día se entiende que el conocimiento tiene carácter provisional, que las explicaciones e interpretaciones científicas no son definitivas, sino las mejores que tenemos en un momento dado.

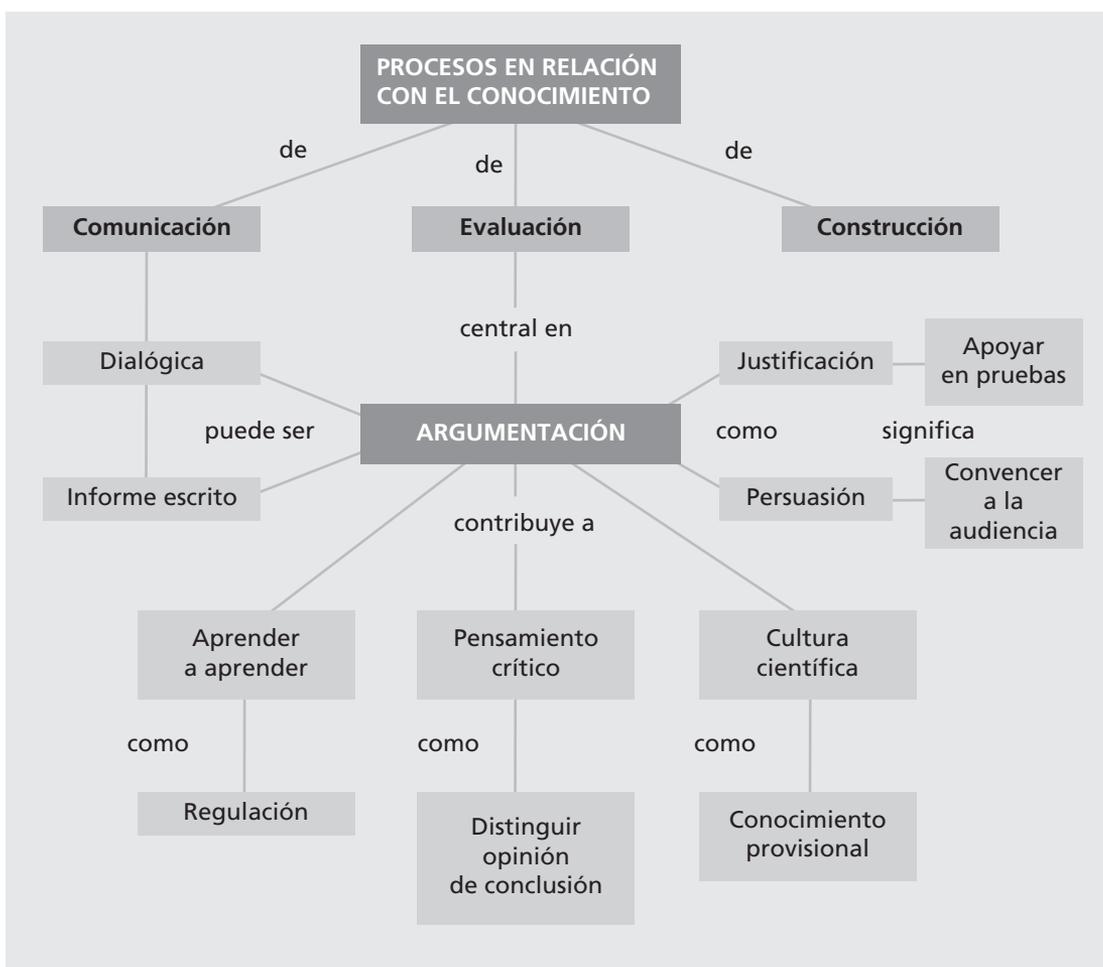
Los objetivos de la educación en sentido amplio van más allá de la enseñanza y el aprendizaje de una materia concreta, y uno que, en mi opinión, reviste gran importancia es el de formar ciudadanas y ciudadanos críticos, capaces de detectar las contradicciones e inconsistencias en el discurso de distintas instancias sociales, por ejemplo en la publicidad de alimentos, cosméticos o suministros energéticos. Ambas cuestiones, la capacidad de evaluar el conocimiento y el desarrollo del **pensamiento crítico**, son parte de las contribuciones de la argumentación a las competencias básicas y a los objetivos de la educación. Esta relevancia de la argumentación, el uso de pruebas y el razonamiento se reflejan, por una parte, en estudios internacionales, por ejemplo las evaluaciones PISA –donde una de las capacidades evaluadas es el uso de pruebas–, o TIMSS, en la que uno de los dominios explorados es el de razonamiento. Por otra parte, los documentos curriculares del Ministerio de Educación y las comunidades autónomas incluyen referencias a la argumentación y al uso de pruebas.

Sin embargo, a pesar de estas aportaciones, la argumentación recibe poca atención en la mayor parte de las clases. El objetivo de este libro es proporcionar herramientas al profesorado interesado en introducir la argumentación y el uso de pruebas como parte de las competencias que hay que desarrollar en sus clases.

Algunas dimensiones de la argumentación tratadas en el libro se resumen en el cuadro 1. En primer lugar, la situación de la argumentación respecto al conocimiento; de los tres procesos relevantes en relación con el conocimiento: construcción, evaluación y comunicación de éste, la argumentación se identifica con el segundo, ya que la definimos como evaluación de conocimientos, lo que se aborda en la primera idea clave. Esto no significa que no tenga relación con los otros dos, pues la construcción del conocimiento implica interpretar fenómenos mediante modelos, y para poder decidir qué **modelo** es el más adecuado es necesario contrastarlos con las pruebas disponibles, como se discute en la idea clave 6. La argumentación también está conectada con la comunicación, pues se trata de un proceso social en el que se pretende convencer a una

audiencia, **persuadir**. Argumentamos en debate o diálogo con otras personas, o escribiendo informes y artículos para exponer qué conclusiones extraemos de unas pruebas, lo que se aborda en la idea clave 8. La argumentación contribuye al desarrollo de la competencia científica y a algunos objetivos generales de la educación como **aprender a aprender**, desarrollar el pensamiento crítico o una cultura científica, contribuciones que se discuten en la idea clave 2.

Cuadro 1. La argumentación, resumen de sus significados y contribuciones



Este libro es fruto tanto de mi experiencia como profesora de secundaria y universidad, como del programa de investigación RODA (Razonamiento, Discurso, Argumentación) sobre argumentación y competencias científicas llevado a cabo en la Universidad de Santiago de Compostela a través de sucesivos proyectos de investigación (financiados por el Ministerio de Ciencia e Innovación) centrados en estudios del aprendizaje de las ciencias en la situación real de las aulas. Muchas de las ideas que aparecen en él han sido discutidas con los compañeros y compañeras participantes en estos proyectos, especialmente aquellos que han realizado sus tesis conmigo, como se refleja en la bibliografía comentada al final de cada idea clave y en algunas de las actividades propuestas. A todos ellos, Beatriz Bravo, Ánxela Bugallo, Joaquín Díaz, Fins Eirexas, Marta Federico, Luis Fernández, Juan Ramón Gallástegui, Ramón López, Cristina Pereiro, Blanca Puig, Carlos Reigosa, mi agradecimiento por el conocimiento que hemos compartido durante este tiempo. Las cinco primeras ideas clave abordan la caracterización y elementos de los argumentos y el uso de pruebas, enmarcándolos en las competencias, y las cinco últimas, la argumentación en distintos contextos: explicaciones causales, cuestiones sociocientíficas, argumentación oral y escrita y cómo promoverla y evaluarla en el aula.

10 preguntas sobre la argumentación y 10 ideas clave para responderlas

1. ¿Qué es la argumentación?

Idea clave 1: «Argumentar consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a pruebas», reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, es decir sustentados en pruebas.

2. ¿Por qué es importante aprender a argumentar? ¿En qué forma contribuye la argumentación a los objetivos de la educación? ¿Qué dimensiones del trabajo científico se aprenden argumentando?

Idea clave 2: «La argumentación contribuye a competencias básicas y objetivos generales de la educación», como aprender a aprender y desarrollar el pensamiento crítico y la cultura científica.

3. ¿Cuál es el papel de las pruebas? ¿Cómo sabemos lo que sabemos?

Idea clave 3: «Las pruebas permiten distinguir conclusiones sustentadas en datos de opiniones», así como elegir entre teorías alternativas, entre diversas opciones, confirmar predicciones o evaluar afirmaciones de distintas fuentes.

4. ¿Qué elementos comprende un argumento? ¿Son todos indispensables?

Idea clave 4: «Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones». Éstas establecen la conexión entre datos y conclusiones. Los argumentos pueden incluir otros elementos auxiliares.

5. ¿Qué criterios deben ser utilizados para decidir sobre las pruebas?

Idea clave 5: «Los criterios para evaluar pruebas incluyen especificidad, suficiencia, fiabilidad» y en qué medida la prueba puede interpretarse como apoyando un enunciado más que otro alternativo.

6. ¿Qué objetivos caracterizan la argumentación sobre modelos explicativos?

Idea clave 6: «Los argumentos sobre modelos pretenden identificar relaciones causa-efecto» en las explicaciones e interpretaciones sobre fenómenos físicos y naturales.

7. ¿Qué caracteriza a la argumentación en cuestiones sociocientíficas? ¿En qué contribuyen las cuestiones sociocientíficas a los objetivos de la educación?

Idea clave 7: «La argumentación en cuestiones sociocientíficas contribuye al pensamiento crítico» y a aprender sobre la ciencia, y presenta algunas características como su carácter interdisciplinario, su relación con la vida diaria o los campos de valores sociales o éticos que hay que tener en cuenta.

8. ¿En qué contribuye la argumentación a aprender a comunicar ideas de ciencias?

Idea clave 8: «Aprender a argumentar implica comunicar, persuadir a una audiencia», tiene relación con aprender a comunicar en ciencias, hablar y escribir ciencias en clase; también se aprende a articular y construir una explicación que resulte convincente para otras personas.

9. ¿Cómo diseñar tareas y ambientes de clase que promuevan la argumentación? ¿Es necesario enseñar a argumentar formalmente o es mejor que el alumnado practique la argumentación? ¿Es igual el diseño de una clase que favorece la argumentación e indagación al de una clase constructivista?

Idea clave 9: «El alumnado argumenta si su papel en clase lo requiere». Esto ocurre si el diseño de tareas y del ambiente, clima o cultura del aula, lo favorece. Una clase que favorece la argumentación es un tipo de clase constructivista, con énfasis en la evaluación del conocimiento.

10. ¿Cómo enseñar a evaluar argumentos de otros en base a pruebas? ¿Qué criterios podemos utilizar para evaluar la calidad de la argumentación?

Idea clave 10: «Un buen argumento tiene en cuenta los argumentos opuestos», además de apoyarse en las pruebas pertinentes, debe considerar las hipótesis alternativas, sean explícitas (conclusiones opuestas) o potenciales. El pensamiento crítico implica la evaluación de argumentos de otros.

Idea clave

Argumentar consiste en evaluar los enunciados en base a pruebas



Argumentar consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a pruebas, reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, es decir sustentados en pruebas.

¿De dónde viene, entonces, ese bulo a menudo repetido: «La evolución es sólo una teoría»? Tal vez de un malentendido de la afirmación filosófica de que la ciencia no puede demostrar que algo es cierto. Lo único que puede es refutar una hipótesis. La evolución es una hipótesis no falsada, que fue vulnerable a la falsación, pero ha sobrevivido hasta ahora. Si la evolución es una hipótesis no falsada, lo mismo ocurre con todos los hechos del mundo real; incluso con la propia existencia de un mundo real.

(Dawkins, 2009a)

¿Qué es la argumentación? Evaluar teorías, enunciados

Ninguna persona escolarizada pone hoy día en duda que la Tierra gira en torno al Sol y no al revés. A pesar de que seguimos diciendo que «el Sol sale por el Este» y que «el Sol se pone por el Oeste», sabemos que es una simplificación, relacionada con las observaciones de movimientos aparentes, que no responde al modelo aceptado de movimientos de los astros y planetas. Sin embargo, du-

rante muchos siglos se creyó que el Sol y todas las estrellas giraban en torno a la Tierra, lo que se conoce como modelo geocéntrico. ¿Cómo puede un modelo erróneo mantenerse durante tanto tiempo? En primer lugar porque las observaciones o los datos, las pruebas, en contra de lo que alguna gente cree, no «hablan por sí mismos»: dos personas que miran al cielo, observando el movimiento aparente del Sol, lo interpretarán de formas opuestas según desde qué teoría lo hagan. Si una de ellas utiliza el modelo geocéntrico (la Tierra en el centro), dirá que es una prueba de que el Sol gira en torno a la Tierra. Si la otra utiliza el modelo heliocéntrico (el Sol en el centro), lo interpretará como una prueba de que la Tierra se mueve. Nuestros modelos teóricos pueden compararse a gafas de distintos colores y aumentos que condicionan la forma en que «vemos» e interpretamos los datos. Es necesario un modelo heliocéntrico claro para observar el movimiento aparente del Sol e interpretar que es la Tierra la que se mueve, igual que cuando viajamos en coche o en tren nos parece que los árboles corren en sentido contrario al nuestro.

En segundo lugar, el conocimiento científico no se construye en el vacío, sino en un contexto social determinado y en relación con las ideas dominantes en él. La idea de que la Tierra es un planeta más, y no el centro del universo, y el Sol una estrella más, no la luminaria más importante del firmamento; la de que existen innumerables estrellas y la de que el universo se extiende a distancias insospechadas chocaban no sólo con el modelo de la Tierra como centro del universo, sino también con la visión del mundo que dominaba hasta el siglo xvi. Esa visión estaba muy condicionada por las creencias religiosas que situaban al ser humano en el centro del mundo (lo que se conoce como antropocentrismo) y, por tanto, al lugar en que vivía, el planeta Tierra, como el más importante del universo, ocupando el centro y permaneciendo fijo en él, con todos los planetas y estrellas girando en torno a la Tierra. Quienes llevaban la contraria a esas creencias eran considerados herejes y se arriesgaban a ser juzgados o incluso condenados a muerte.

En el caso de las relaciones entre la Tierra y el Sol, Nicolás Copérnico, en su trabajo publicado póstumamente en 1543, mostró con cálculos de las órbitas de los planetas que la mejor **hipótesis** para explicarlas era que todos ellos giraban en torno al Sol. Copérnico fue criticado por Lutero, quien recurrió a la Biblia, recordando que en ella se dice que el Sol se detuvo por mandato divino ante las murallas de Jericó. Naturalmente, no podría detenerse si no estuviese en movimiento. Algunos teólogos propusieron que se prohibiese la publicación de las obras de Copérnico. Una consecuencia de estas controversias fue el juicio a Giordano Bruno, quemado en Roma en 1600 por haber realizado afirmaciones contrarias a los dogmas cristianos, por ejemplo, que el universo

es infinito, que el Sol es una estrella más y que puede haber otras Tierras habitadas. Cuando, unos años más tarde, Galileo Galilei publicó sus observaciones astronómicas, que apoyaban las teorías de Copérnico, fue sometido a juicio por la Inquisición, primero en 1610 y después en 1616. Se le prohibió enseñar que la Tierra giraba en torno al sol y la obra de Copérnico fue incluida en el *Índice* o lista de libros prohibidos. Teniendo en cuenta los antecedentes de Giordano Bruno, no es extraño que Galileo optara por retractarse, aunque se dice que abandonó el tribunal murmurando «Y sin embargo se mueve». En resumen, en muchas ocasiones hay dos (o más) teorías opuestas que explican un fenómeno, y la comunidad científica debe elegir una de ellas. En el pasado esa elección se vio forzada a veces por la intolerancia, prohibiendo una en favor de otra. Pero la forma de trabajar más aceptada es recoger pruebas y evaluar las teorías a la luz de las mismas, argumentar. En el siguiente apartado veremos qué se considera prueba, siguiendo con el ejemplo de los modelos sobre la Tierra en el universo.

¿Qué se considera prueba? Argumentación frente a autoridad

Decíamos anteriormente que ninguna persona escolarizada pone en duda que la Tierra gira en torno al Sol. Sin embargo, esa misma persona –a no ser que sea especialista en astronomía o física– tendría serias dificultades para citar alguna prueba de que es la Tierra la que gira en torno al Sol y no al revés. La razón por la que la mayoría de las personas se adhieren al modelo heliocéntrico es por haberlo estudiado así en la escuela y en los libros de texto, es decir por lo que llamamos un **argumento de autoridad** o un argumento de persona experta. En este tipo de evaluación, podemos decir que las pruebas son sustituidas por la confianza en la persona o institución que avala ese conocimiento. No hay que confundir autoridad, esa capacidad de generar confianza por parte de la persona experta, con autoritarismo, una forma de ejercer la autoridad por la coacción o la fuerza.

Muchos conocimientos científicos, igual que el modelo de universo, suelen enseñarse en la escuela sin referencia a las pruebas que los sus-

Muchos conocimientos científicos suelen enseñarse en la escuela sin referencia a las pruebas que los sustentan.

El proceso de evaluación de conocimientos en base a pruebas es un rasgo central del trabajo científico y es importante hacerlo explícito, al menos en algunos casos.

tentan. En algunos casos la discusión de estas pruebas puede ser demasiado compleja para determinados niveles educativos; en todos lleva más tiempo que la mera explicación del conocimiento consensuado. Sin embargo, lo que proponemos en este libro es que es necesaria la discusión del proceso de argumentación, de evaluación, que ha llevado a escoger determinados modelos y no otros. La evaluación de conocimientos en base a pruebas es un rasgo central del trabajo científico y es importante hacerlo explícito este proceso de evaluación en la clase en algunos casos (pues sería muy largo hacerlo en todos). Decíamos que muchas personas admiten que la Tierra gira en torno al sol porque lo han estudiado así en un libro de ciencias, es decir por un argumento de autoridad. La apelación de Lutero a la Biblia es también un argumento de este tipo. Sin embargo, si alguien quiere conocer las pruebas por las que en los libros de ciencias se explica el modelo heliocéntrico, no el geocéntrico, o por las que consideramos que la evolución explica la variedad de especies de seres vivos de forma más adecuada que la creación, puede localizarlas, mostrando que el proceso por el que se llegó a aceptarlo fue mediante evaluación de pruebas. Por el contrario, las apelaciones a la Biblia o a sabios de otras épocas como Galeno o Aristóteles, reposan únicamente en la autoridad. En el apartado «En la práctica» de esta idea clave se propone una actividad de evaluación de pruebas en relación con los modelos Tierra–Sol.

Las pruebas son las observaciones, hechos, experimentos, señales, muestras o razones con las que se pretende mostrar que un enunciado es cierto o es falso.

¿Qué se entiende por pruebas? Podríamos definirlas como las observaciones, hechos, experimentos, señales, muestras o razones con las que se pretende mostrar que un enunciado es cierto o falso. En este libro estamos tratando en particular de las pruebas que sustentan o refutan, no un enunciado cualquiera, sino los relacionados con el conocimiento, sea del campo que sea. Por ejemplo, en lingüística, las semejanzas entre cuatro lenguas clásicas: sánscrito, persa, latín y griego, permitieron en el siglo XVIII proponer que tenían un origen común, que hoy expresamos diciendo que pertenecen a la familia de lenguas indo-

europeas (entre las que no pertenecen a esta familia se encuentra, por ejemplo, el euskera), frente a su origen mítico en la Torre de Babel. Aunque a veces se habla de las observaciones como si se tratase simplemente de percibir algo que está a la vista, ejemplos como éste muestran que el proceso de evaluar pruebas puede incluir la realización de comparaciones, lo que a su vez suele llevarse a cabo porque existe una pregunta o una hipótesis, en este caso que el sánscrito (lengua en la que están escritos textos clásicos de la cultura hindú) tenía rasgos comunes con el latín y el griego. También puede tratarse de realizar observaciones mediante determinados instrumentos, por ejemplo Galileo con el telescopio, como se discute en el apartado «En la práctica» (pp. 25-29). En otros casos para comprobar o **refutar** una hipótesis o teoría se diseña y se lleva a cabo un experimento, por ejemplo los experimentos de Lavoisier sobre la combustión que se analizan en otra idea clave. Señalemos que entre los ejemplos de pruebas citados en la definición se incluyen en algunos casos las razones, por ejemplo de tipo lógico o discursivo.

La argumentación como proceso social

El proceso de evaluar pruebas no es algo instantáneo ni obvio para cualquier persona, sino que supone una interpretación acerca de lo que significan, en términos de apoyar o refutar una idea. Como se indicaba en páginas anteriores, dos personas observando el amanecer o el atardecer pueden interpretarlo de distinta forma en cuanto a las relaciones entre Tierra y Sol. No todas las personas consideran pruebas las mismas cosas o creen que una determinada observación prueba lo mismo.

Los trabajos de Copérnico, por ejemplo, fueron criticados no sólo por la Iglesia, sino también por la mayoría de los astrónomos de su época. Éstos argumentaban que si la Tierra se moviera alrededor del Sol, debería observarse claramente que las estrellas cambiaban su posición relativa, puesto que el ángulo de visión de la persona que observa sería diferente según en qué punto de su órbita se encontrase la

El proceso de evaluar pruebas supone una interpretación acerca de lo que significan, interpretación condicionada por las teorías que mantiene cada persona.

Tierra. Esta imposibilidad de los observadores para determinar el cambio en la posición relativa de las estrellas fue usada por los defensores del geocentrismo como prueba de que la Tierra estaba inmóvil. La explicación a que estos cambios no se observen tiene relación con la distancia entre la Tierra y las estrellas, que es tan grande que las diferencias en las posiciones relativas son difíciles de apreciar. Puede parecer que una constelación dada, por ejemplo la Osa Mayor u Orión, está cada día en el mismo sitio que el día anterior.

Cada comunidad científica ha ido elaborando criterios que permiten elegir la interpretación más adecuada. Este proceso social está influido por las ideas e instancias de poder en cada contexto.

Las interpretaciones que una u otra persona o unos u otros científicos realicen de unas observaciones o experimentos acerca de un fenómeno determinado están condicionadas por sus teorías acerca de ese fenómeno. ¿Significa esto que no es posible escoger la explicación o interpretación más adecuada entre varias posibles? Sí es posible realizar esta elección porque cada comunidad científica, cada campo de conocimiento, ha ido desarrollando (y modificando) criterios que permiten juzgar si una explicación es más adecuada que otra. En las ideas clave 3 y 5 se abordan algunos de estos criterios con más detalle. El proceso de debatir las pruebas a favor de uno u otro modelo o teoría tiene carácter social, ya que se trata de comparar de forma pública, sea por escrito o cara a cara en reuniones, los méritos relativos de una u otra explicación. El consenso sobre los criterios para evaluar las pruebas también tiene lugar en el seno de un grupo. La argumentación como proceso social está también relacionada con la persuasión, convencer a otros de que una determinada interpretación es adecuada. Incluso puede decirse que la argumentación de cada persona, la articulación de las pruebas con las teorías, se construye para convencer a otros, es decir como una herramienta social. Con el tiempo pueden aparecer nuevas pruebas, que llevan a interpretaciones diferentes y a la modificación de las teorías, por ello los modelos en ciencias tienen carácter provisional.

Al ser la argumentación, la evaluación de pruebas, un proceso social, está influida tanto por las ideas y prejuicios dominantes en una época

o sociedad dadas como por las instancias de poder. Un ejemplo puede ser la forma en que la Iglesia prohibió el debate sobre el geocentrismo o más adelante sobre la evolución, cuya enseñanza aún está prohibida o sujeta a fuertes restricciones en Estados donde los fundamentalistas religiosos detentan el poder. Los prejuicios que llevaban a considerar a las mujeres menos capacitadas para estudiar que los varones (o a los negros menos que los blancos), a pesar de no haber pruebas de ello, se trasladaron a numerosos textos presuntamente científicos, utilizándose para justificar que las universidades negaran la entrada a las mujeres hasta principios del siglo xx.

En resumen

Argumentar consiste en ser capaz de evaluar los enunciados en base a pruebas, es decir reconocer que las conclusiones y los enunciados científicos deben estar justificados, en otras palabras, sustentados en pruebas. La argumentación es una herramienta de las que disponemos para evaluar el conocimiento.

Pero la evaluación de pruebas, la elección de modelos o teorías en función de experimentos u observaciones, está condicionada por las propias teorías que cada persona mantiene. Esos modelos actúan como lentes que sólo nos permiten contemplar el mundo a través de ellos, por eso a veces ha resultado tan difícil descartar una teoría errónea como la que mantenía que la Tierra era el centro del universo y que el Sol giraba en torno a ella. Desde el punto de vista educativo, no podemos considerar triviales las dificultades del alumnado para sustituir sus ideas alternativas por otras más acordes con los modelos científicos si tenemos en cuenta las dificultades experimentadas en la comunidad científica. Discutir en clase el proceso de evaluación de algunos modelos es importante para que el alumnado aprenda cómo se construye el conocimiento científico y desarrolle la competencia de usar pruebas y juzgar la fiabilidad de enunciados que se encuentran en múltiples situaciones de la vida cotidiana.

La argumentación nos permite valorar los conocimientos a la luz de las pruebas disponibles, superando los argumentos basados en la autoridad de otros, sean libros u otras personas. No es

válido, desde esta perspectiva, afirmar que algo es cierto porque está escrito en la Biblia o porque lo dijo Galeno: es necesario aportar pruebas. La evaluación, al ser un proceso social, está sometida a la influencia de las ideas y poderes dominantes en cada sociedad. Estos condicionantes hacen aún más importante desarrollar criterios que permitan evaluar las pruebas de la mejor forma posible.

Evaluación de teorías a la luz de pruebas: modelos heliocéntrico y geocéntrico

En este ejemplo se discute una actividad de evaluación de dos modelos opuestos sobre las relaciones entre la Tierra y el Sol por parte del alumnado.

Para evaluar ambas teorías o, en otras palabras, para elegir entre el modelo geocéntrico y el heliocéntrico, se les pide que trabajen con algunas de las pruebas aportadas a lo largo del proceso de elección que, como otros de este tipo, no fue instantáneo, sino que se extendió a lo largo de muchos años.

Antes es necesario preguntarles lo que consideran que es una prueba y pedirles ejemplos, con el objetivo de llegar a una definición semejante a la que proponemos: por prueba entendemos las observaciones, los hechos, experimentos, señales, muestras o razones con las que se pretende mostrar que un enunciado es cierto o falso.

La pregunta central de la actividad, para realizar en grupo, es:

Durante muchos años se supuso que el Sol giraba alrededor de la Tierra. A partir del siglo XVI Copérnico y otros astrónomos propusieron que era la Tierra la

que giraba en torno al Sol. Analizad los siguientes datos y decid si constituyen una prueba a favor de que el Sol gira alrededor de la Tierra o de que la Tierra gira alrededor del Sol, razonando las respuestas.

Las órbitas de los planetas según Copérnico

Desde la antigüedad se conocían siete cuerpos celestes, visibles a simple vista y que describen movimientos diferentes a los de las estrellas: el Sol, la Luna y cinco planetas, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus y Saturno. Cada uno de ellos dio nombre a un día de la semana, ya que lunes, martes, miércoles, jueves y viernes corresponden respectivamente a día de la Luna, día de Marte y así sucesivamente. En inglés sábado (*Saturday*) y domingo (*Sunday*) conservan el nombre de origen latino, día de Saturno y del Sol, que en español fue sustituido por un término de origen religioso.

En 1543 Copérnico, en su obra *Las revoluciones de las órbitas celestes*, estudió de forma sistemática los movimientos del Sol y los cinco planetas citados. Calculó los tiempos que tardaba cada uno de los pla-

netas en completar su órbita, es decir volver al mismo punto, lo que hemos resumido en el cuadro 2. Copérnico interpretó que esa órbita giraba alrededor del Sol, y no alrededor de la Tierra, como se mantenía hasta ese momento, explicando los desplazamientos observados en relación con los movimientos de rotación (en torno a sí misma) y traslación (en torno al Sol) de la Tierra.

En el cuadro 2 los planetas figuran en el orden de los días de la semana (faltan los del Sol y la Luna), con la Tierra, a la que no corresponde ningún día, al final:

1. ¿Cuáles estarían más lejos y cuáles más cerca del cuerpo alrededor del que giran? Colocadlos del más próximo al más distante en el cuadro en blanco que figura abajo. ¿Qué criterio habéis utilizado para decidir cuál está más cerca?

2. ¿Estos datos suponen más apoyo a la teoría de que el Sol gira alrededor de la Tierra o de que la Tierra gira alrededor del Sol? Razonadlo.

COMENTARIO: el alumnado suele iniciar la actividad colocando en la fila superior los nombres de los planetas, cuyo orden conoce de memoria. Las indicaciones del docente deben sugerir que, valorando que movilicen conocimientos anteriores, se trata de justificar por qué se sabe que el orden es éste y no otro. Aun cuando los hubieran ordenado simplemente apelando a la memoria, el tener que rellenar la fila inferior facilita que lleguen a la **conclusión** de que los que tar-

Cuadro 2. Cálculos de Copérnico para los períodos de traslación de los planetas

PLANETA	Marte	Mercurio	Júpiter	Venus	Saturno	Tierra
PERÍODO TRASLACIÓN	2 años	80 días	12 años	9 meses	30 años	1 año
Ordenad los planetas según su distancia al cuerpo en torno al cual giran:						
PLANETA						
PERÍODO TRASLACIÓN						

dan menos en recorrer la órbita, es decir los que tienen órbitas menores, deben ser los más próximos al cuerpo en torno al cual giran, y que el criterio utilizado es el tiempo que se tarda en completar la órbita.

La segunda pregunta ofrece una dificultad algo mayor. Puede ser interesante introducir aquí otro tipo de criterio: la explicación más simple es la mejor, por lo que esta serie de datos, en la que la Tierra resulta situada en el medio, se explica de forma más simple suponiendo que el cuerpo en torno al que giran –no sólo la Tierra, sino todos ellos– es el Sol. Ésa fue la conclusión a la que llegó Copérnico: «Y en el centro de todos reposa el Sol».

3. Hay otros dos planetas, no estudiados por Copérnico, que tardan en completar su órbita 165 años (Neptuno) y 84 años (Urano). ¿En qué lugar de la tabla deberían situarse?

COMENTARIO: después de la reflexión sobre el ejercicio anterior, no resulta difícil para el alumnado situar correctamente a Urano y Neptuno a continuación de Saturno. Esta pregunta sirve para introducir otro de los criterios para elegir una teoría: su capacidad para interpretar no sólo los datos conocidos antes de su construcción, sino también los que aparecen después. La teoría heliocéntrica puede acomodar estos datos de forma coherente.

4. Las distancias medias al Sol de los ocho planetas citados (al ser sus órbitas elípticas no siempre es la misma), en millones de kilómetros, son: 58, 108, 150, 228, 780, 1430, 2870 y 4500. Completad el cuadro 3 que ordena los planetas según su distancia al sol.

COMENTARIO: esta pregunta no ofrece dificultad y de nuevo apunta al criterio de co-

Cuadro 3. Relaciones entre el período de traslación y la distancia de los planetas al Sol

PLANETA						
PERÍODO TRASLACIÓN						
DISTANCIA AL SOL						

herencia. Los cálculos de distancias planetarias, posteriores a Copérnico, son coherentes con la teoría heliocéntrica.

Los satélites según Galileo

Antes de Copérnico la Luna era considerada como otro planeta. Copérnico fue el primero que la consideró como un satélite de la Tierra, que describe una órbita en torno a ella. A partir de 1609 Galileo, que utilizaba un nuevo instrumento para sus observaciones astronómicas, el telescopio, pudo observar cuatro puntos brillantes cerca de Júpiter. Aunque al principio creyó que se trataba de estrellas, después observó que cambiaban de posición respecto a Júpiter, por lo que concluyó que debían de ser satélites girando en torno a él.

5. Teniendo en cuenta que la Luna tarda 28 días en completar su órbita, ¿dónde debería estar situada si fuese un planeta que girase en torno al Sol? ¿Cuál de los dos modelos, heliocéntrico o geocéntrico, explica mejor sus movimientos?

COMENTARIO: comparando esta duración con los datos de los anteriores cuadros 2

y 3, el alumnado indica que si girase alrededor del Sol tendría que estar situada más cerca de él que Mercurio. En ese caso no veríamos los movimientos y fases que conocemos, por lo que la explicación más simple es que gira en torno a la Tierra.

Consideramos las actividades anteriores adecuadas para primero de ESO, que es cuando se aborda el tema del universo, y también pueden utilizarse en el último ciclo de primaria, mientras que la siguiente sería adecuada para segundo curso de ESO:

La Vía Láctea

Antes de Galileo, la Vía Láctea se consideraba una banda de brillo lechoso (Galaxia procede del griego *gálaktos*, «leche») en un área del cielo que fue llamada camino o río, pues algunos la consideraban una sustancia fluida. Utilizando el telescopio Galileo pudo ver que no era una franja uniforme, sino «un conglomerado de innumerables estrellas».

6. El que la Vía Láctea sea un conjunto de estrellas y no una banda continua no constituye una prueba a favor de que la Tierra gira en torno al Sol, pero contribuye a hacer más difícil de admitir el modelo geocén-

trico. ¿Por qué? ¿Es la noción actual de la Vía Láctea compatible con el modelo que sitúa al Sol en el centro del universo? Explícalo.

7. El descubrimiento de que la Vía Láctea es un conjunto de estrellas depende de observaciones realizadas mediante un instrumento: el telescopio, siendo un ejemplo de la interacción entre ciencia y técnica. ¿Puedes poner algún otro ejemplo de instrumentos que han jugado un papel importante en la construcción del conocimiento?

COMENTARIO: el alumnado puede necesitar ayuda del profesor para la reflexión sobre ambas cuestiones.

Para el modelo geocéntrico, que sitúa a la Tierra en el centro del universo, es más difícil de acomodar una galaxia compuesta por millones de estrellas. El alumnado, recordando que el Sol no está ni siquiera en el centro de la Vía Láctea, puede encontrar más fácil dar una respuesta negativa a la segunda parte. En cuanto a la cuestión del instrumento, el papel del microscopio en las teorías sobre la célula es el más citado.



Para saber más...

ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.) (2008): *Argumentation in science education. Perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer.

Este libro sobre la argumentación en el contexto real de las clases de ciencias recoge estudios de una veintena de investigadoras e investigadores que han trabajado distintos aspectos, teóricos o prácticos, de la argumentación en el aula de ciencias.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M. P. Y DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. (2003): «Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 21(3), pp. 359–378.

Este artículo constituye una reflexión sobre la contribución de los estudios sobre argumentación y discurso del aula al conocimiento de los procesos de aprendizaje de las ciencias. Se discuten ejemplos de unidades didácticas del proyecto RODA (Razonamiento, Debate, Argumentación), e instrumentos para el análisis de los argumentos.

TOULMIN, S. (2007): *Los usos de la argumentación*. Barcelona. Península.

Este libro es la traducción del original, publicado en 1958. Es uno de los trabajos más influyentes sobre la argumentación en situaciones naturales, que Toulmin opone a la argumentación en el marco de la lógica. Aunque no coincidimos con la traducción de algunos términos cruciales (*warrant* debería traducirse por **justificación**, no por «garantía»), es una lectura esencial para quienes se interesan por la argumentación.

La argumentación contribuye a competencias básicas y objetivos generales de la educación



«La argumentación contribuye a competencias básicas y objetivos generales de la educación», como aprender a aprender y desarrollar el pensamiento crítico y la cultura científica.

Galileo: ¿Has comprendido entre tanto lo que te expliqué ayer?

Andrea: No. ¿Por qué se empeña en que lo comprenda?

Es muy difícil y hasta octubre no cumpliré once años.

Galileo: Precisamente por eso es por lo que quiero que lo comprendas.

(Brecht, 1956)

¿Por qué es importante aprender a argumentar?

Si en la primera idea clave se ha discutido la argumentación desde el punto de vista de su relevancia para la construcción del conocimiento científico, en esta se abordan algunas de las razones por las que se considera importante el aprendizaje de la argumentación por parte del alumnado. El debate sobre si la mejor forma de aprender a argumentar es enseñándolo formalmente o si es favoreciéndolo por las estrategias de instrucción será analizado en la idea clave 9. Las justificaciones que han llevado en los últimos quince años a que autoras como Kuhn (1992) propongan que se

preste atención a promover la argumentación en el aula son de distinto tipo, pues están relacionadas con las contribuciones de la argumentación a distintos objetivos educativos y, por tanto, a diferentes competencias. Algunos de estos objetivos son de carácter transversal mientras que otros están relacionados específicamente con el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias; es decir hay algunos que son importantes para todas las áreas, aun cuando los estudios sobre argumentación hayan sido más numerosos en el ámbito de la didáctica de las ciencias. En otro trabajo (Jiménez Aleixandre y Erduran, 2008), hemos indicado contribuciones de la argumentación a cinco campos, y aquí proponemos agrupar esas contribuciones en cuanto a tres tipos de objetivos:

- Objetivos relacionados con la mejora de los procesos de aprendizaje, en otras palabras con aprender a aprender.
- Objetivos relacionados con la formación de una ciudadanía responsable, capaz de participar en las decisiones sociales ejerciendo el pensamiento crítico.
- Objetivos sobre el desarrollo de competencias relacionadas con las formas de trabajar de la comunidad científica, con el desarrollo de ideas sobre la naturaleza de la ciencia que hagan justicia a su complejidad, lo que se denomina a veces *cultura científica*.

Las contribuciones de la argumentación a estos tres tipos de objetivos se representan esquemáticamente en la parte inferior del cuadro 1 (véase la p. 13). Los dos primeros objetivos son de carácter transversal, mientras que el tercero es más relevante para el aprendizaje de las ciencias. Pero además de que nosotros consideremos sus aportaciones a distintos objetivos, hay otros datos que muestran la relevancia de la argumentación y el uso de pruebas, como es su presencia en documentos curriculares y en las competencias evaluadas en las pruebas PISA, y es esta presencia lo que abordaremos en primer lugar, antes de discutir las contribuciones a cada tipo de objetivos.

Competencias científicas y argumentación en PISA y los currículos

La presencia de la argumentación y del uso de pruebas en documentos curriculares de distintos países y en la evaluación internacional PISA muestra el amplio interés que suscita.

La presencia de las destrezas de argumentación y el uso de pruebas en documentos normativos, como los diseños curriculares de diferentes países, o en el marco teórico de evaluaciones internacionales, como las pruebas PISA, así como su relación con la propuesta de competen-

cias básicas de la Unión Europea, es una muestra de que el interés por el aprendizaje de la argumentación ha rebasado el ámbito de la investigación educativa y las revistas especializadas, para comenzar a influir en el aula. Creemos que es útil enmarcar esta presencia de la argumentación y del uso de pruebas en la noción de competencias científicas, ya que, como discutimos a continuación, constituye una de las tres competencias o capacidades científicas básicas.

Las competencias científicas han pasado a primer plano a raíz de su utilización desde 1999 por la OCDE como eje en la evaluación internacional PISA (OCDE, 2006). Más adelante la recomendación por la Unión Europea de una lista de competencias básicas (UE, 2006) ha tenido reflejo en los documentos curriculares de diferentes países, como España. Recordemos la definición de competencia como la capacidad de poner en práctica de forma integrada, en situaciones y contextos diversos, los conocimientos, destrezas y actitudes desarrollados en el aprendizaje. Es necesario señalar que esta noción supone dos novedades importantes, en primer lugar se subraya la puesta en práctica, la aplicación de lo aprendido a contextos y situaciones nuevas, y en segundo lugar se plantea la integración de saberes conceptuales, destrezas y actitudes. Como dice Perrenoud (2004), autor que se ocupa de ellas desde mediados de los noventa, las competencias movilizan, integran y orquestan los recursos de conocimientos, destrezas y actitudes, pero no cabe confundirlas con dichos recursos.

El énfasis en la aplicación de lo aprendido no es una cuestión menor, pues uno de los problemas del aprendizaje escolar (sea de ciencias, matemáticas, sociales u otras materias), detectado tanto por el profesorado como por la investigación educativa, es la incapacidad de una gran proporción del alumnado para aplicar los conocimientos y destrezas a situaciones nuevas. Los estudiantes, preguntados por la nutrición de las plantas en general, son capaces de repetir la definición de fotosíntesis, pero cuando se les pide que expliquen el crecimiento de un árbol o una

Enmarcamos la argumentación y el uso de pruebas en las competencias.

La noción de competencia supone dos novedades importantes: la puesta en práctica o aplicación de lo aprendido y la integración de saberes conceptuales, destrezas y actitudes.

planta en una maceta, recurren a explicaciones alternativas, así los de menor edad al «alimento que contiene la tierra de la maceta» o al agua, o incompletas, refiriéndose a ella como si se tratase únicamente de un intercambio gaseoso «las plantas toman dióxido de carbono y producen oxígeno», dejando en segundo plano la síntesis de materia orgánica, el proceso esencial de la fotosíntesis. En historia pueden ser capaces de enunciar una lista de causas de la primera guerra mundial, pero no de reconocer la presencia de alguna de ellas en un texto de la época. No es extraño que ocurra esto, puesto que en la enseñanza no se dedica suficiente tiempo a actividades de aplicación de lo aprendido. La responsabilidad de que esto ocurra debe atribuirse tanto a la extensión de los programas (que, por ejemplo en el caso de las ciencias, no se han reducido en la misma medida que el número de horas), como a la inadecuada formación del profesorado, pero éste tiene aún margen para incluir este tipo de actividades en sus clases. Un ejemplo de actividad de aplicación podemos encontrarlo en los ítems liberados (que se han hecho públicos) de PISA para las ciencias (documento disponible en: <www.ince.mec.es/pub/itemscienciaspisa.pdf>).

El chocolate

Lee el siguiente resumen de un artículo del periódico *Daily Mail* de fecha 30 de marzo de 1998 y responde a las preguntas que le siguen.

Un artículo del periódico contaba la historia de una estudiante de 22 años, llamada Jessica, que siguió una dieta basada en el chocolate. Pretendía mantenerse saludable, con un peso estable de 50 kilos, mientras comía 90 barritas de chocolate a la semana y prescindía del resto de la comida, con la excepción de una «comida normal» cada cinco días. Una experta en nutrición comentó:

«Estoy sorprendida de que alguien pueda vivir con una dieta como ésta. Las grasas le proporcionan la energía necesaria para vivir, pero no sigue una dieta equilibrada.

En el chocolate existen algunos minerales y nutrientes, pero no obtiene las vitaminas suficientes. Más adelante, podría sufrir serios problemas de salud».

En un libro en el que se habla de valores nutricionales se mencionan los datos acerca del chocolate. Supón que todos estos datos son aplicables al tipo de chocolate que come frecuentemente Jessica. También, considera que cada barrita de chocolate que come tiene un peso de 100 gramos.

Cuadro 4. Tabla del contenido nutritivo de 100 g de chocolate

PROTEÍNAS	GRASAS	HIDRATOS DE CARBONO O GLÚCIDOS	MINERALES		VITAMINAS			ENERGÍA TOTAL
			Calcio	Hierro	A	B	C	
5 g	32 g	51 g	50 mg	4 mg	—	0,20 mg	—	2142 kJ

Según los datos de la tabla, 100 gramos de chocolate contienen 32 gramos de grasas y proporcionan 2142 kJ de energía. La nutricionista afirmó: «Las grasas le proporcionan la energía para vivir...». Si alguien come 100 gramos de chocolate, ¿toda su energía (2142 kJ) procede de los 32 gramos de grasas? Explica tu respuesta utilizando los datos de la tabla (cuadro 4).

Recordemos que el alumnado al que se dirigen estas pruebas tiene 15 años de edad, es decir cursa 3.º o 4.º de ESO. Según los **criterios de evaluación** de PISA, la puntuación máxima se asigna a las respuestas que señalan «no», explicando que parte de la energía procede de los hidratos de carbono (y en menor medida de las proteínas). Resolver este ítem requiere movilizar:

- Conocimientos conceptuales, como saber que los hidratos de carbono son, igual que las grasas, nutrientes de tipo energético (mientras que vitaminas y minerales no aportan ninguna energía).

- Destrezas relacionadas con la argumentación, como evaluar el enunciado de la nutricionista contrastándolo con los datos suministrados.

¿Son de este tipo las actividades que realiza nuestro alumnado en clase, los ejercicios de evaluación que se les proponen? ¿Requieren la puesta en práctica de lo aprendido? Si no es así, sugerimos que estamos ante una de las razones de que los resultados del alumnado español en PISA no sean los que deseáramos, pues los estudiantes aprenden aquello que se les enseña, las competencias que desarrollan dependen del papel que se requiere de ellos. En el caso de las destrezas de argumentación es necesario practicarlas.

De las diferentes competencias básicas, la argumentación y el uso de pruebas tienen relación sobre todo con la competencia científica (así nos referiremos a la competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico). Dentro de ella pueden considerarse tres dimensiones o capacidades requeridas para su desarrollo que, como muestran Cañas, Martín y Nieda (2007), están presentes tanto en PISA como en los currículos del Ministerio de Educación:

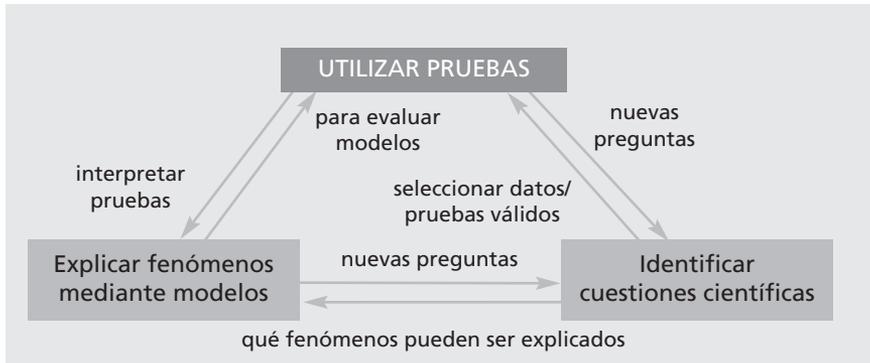
La competencia científica considera tres dimensiones o capacidades requeridas para su desarrollo: identificar cuestiones científicas, explicar fenómenos científicamente y utilizar pruebas.

1. Identificar cuestiones científicas (investigables por parte de las ciencias).
2. Explicar fenómenos científicamente.
3. Utilizar pruebas.

En nuestra opinión (Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig, 2009) estas tres capacidades, a las que llamaremos «competencias científicas», están conectadas, lo que se resume en el cuadro 5.

La primera, identificar cuestiones que pueden ser investigadas por las ciencias, incluye distinguir entre fenómenos que pueden ser explicados por las ciencias (la segunda), así como seleccionar información, y por tanto cómo seleccionar datos y pruebas apropiados (lo que se relaciona con la tercera). Creemos que puede considerarse un punto de partida para el trabajo científico y el aprendizaje de las ciencias. La se-

Cuadro 5. Relaciones entre las tres competencias científicas



Fuente: Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig (2009)

gunda podemos formularla como explicar los fenómenos físicos y naturales por medio de modelos científicos, es decir el uso de modelos para interpretar fenómenos. Un nuevo modelo (por ejemplo el de evolución de Darwin y Wallace) da lugar a nuevas preguntas, y diferentes modelos llevan a evaluar las mismas pruebas de distinto modo, como hemos visto en el caso de los distintos modelos de relaciones Tierra-Sol en la primera idea clave. En cuanto al uso de pruebas, que es objeto de este libro, para poder elegir entre distintos modelos, es decir para evaluar modelos científicos, es necesario utilizar pruebas y su análisis conduce también a generar preguntas nuevas.

En resumen, el uso de pruebas, junto con la argumentación, estrechamente relacionada con él, es una de las tres capacidades o competencias científicas que se consideran básicas en la formación del alumnado, tanto en España como a escala internacional.

Argumentar contribuye a aprender a aprender

¿Por qué esta atención al uso de pruebas y a la argumentación? En nuestra opinión, por la contribución de la argumentación a distintos

El uso de pruebas junto con la argumentación, es una de las tres capacidades o competencias científicas.

objetivos educativos y al desarrollo de distintas competencias básicas, no sólo la científica. Abordaremos en primer lugar en qué forma contribuye a los objetivos relacionados con la mejora de los procesos de aprendizaje, en otras palabras cómo ayuda a desarrollar la competencia para aprender a aprender.

La competencia de aprender a aprender supone la capacidad para continuar aprendiendo a lo largo de la vida de manera cada vez más eficaz y autónoma. Un aspecto importante para desarrollarla es la regulación y control de los propios conocimientos. Se ha propuesto la metáfora del «aprendizado» cognitivo (Jiménez Aleixandre, 2003a), llamado así para distinguirlo del aprendizaje, es decir diseñar la enseñanza de modo semejante a la de un oficio en la que los alumnos y alumnas fuesen aprendices en una **comunidad de práctica**. A diferencia de los aprendices de un oficio, que pueden observar directamente el desempeño de la persona experta y ser guiados al iniciar su participación en las actividades, cuando se aprende a aprender no es posible observar los procesos cognitivos de los expertos (del profesorado) para regular los propios y tampoco el profesorado tiene acceso a los procesos cognitivos del alumnado para guiarlos o para hacer de modelo. La mayor parte de las prácticas docentes tratan esos procesos, por ejemplo cómo se construye o se usa el conocimiento para llevar a cabo una tarea compleja, cómo se resuelve un problema, de forma que resultan invisibles o inaccesibles. Una forma de solucionar esta cuestión es hacer públicos, mediante el lenguaje, los procesos cognitivos. En la argumentación los procesos de pensamiento, de razonamiento, se hacen explícitos; los estudiantes tienen que apoyar sus afirmaciones con pruebas y evaluar distintas opciones. De esta forma la argumentación, en clases donde el alumnado forma parte de una **comunidad de aprendizaje**, puede apoyar el desarrollo de estas destrezas, como la regulación del conocimiento.

Decimos que estos procesos de pensamiento se hacen públicos mediante el lenguaje, y cabe indicar que la argumentación, al demandar

La argumentación ayuda a desarrollar la competencia de aprender a aprender, al favorecer que se hagan públicos o explícitos procesos de pensamiento que normalmente son poco accesibles en el aula, permitiendo su regulación.

razonamientos orales o escritos, también contribuye a la competencia en comunicación lingüística, es decir a la utilización del lenguaje como instrumento de comunicación. Específicamente en el caso de las ciencias, contribuye al aprendizaje de hablar y escribir ciencias, entendido como interpretar los significados de textos científicos de distinta procedencia, incluyendo noticias de prensa o textos de divulgación, y redactar informes, resúmenes, conclusiones y otros tipos de escritos relacionados con las ciencias. Todo ello se considera una parte esencial de la alfabetización científica.

¿Cómo apoya la capacidad de argumentar al pensamiento crítico?

En este trabajo entendemos por pensamiento crítico la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la realidad y participar en ella. En nuestra opinión el desarrollo del pensamiento crítico forma parte de la competencia social y ciudadana, que en los documentos curriculares se define como la que:

Hace posible comprender la realidad social en que se vive, cooperar, convivir y ejercer la ciudadanía democrática en una sociedad plural, así como comprometerse a contribuir a su mejora. (Ministerio de Educación, 2007, p. 688)

Entendemos por pensamiento crítico la capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la realidad y participar en ella.

Es decir, en este sentido la argumentación contribuye a objetivos relacionados con la formación de una ciudadanía responsable, capaz de participar en las decisiones sociales ejerciendo el pensamiento crítico. En el documento citado se hace mención a la comprensión crítica de la realidad, a la reflexión crítica sobre los problemas sociales, a los razonamientos críticos sobre situaciones reales. Antes de abordar la forma en que la argumentación contribuye al pensamiento crítico, parece necesario discutir el significado que se le da a esta noción por parte de distintas corrientes y nuestra propia definición (Jiménez Aleixandre y Puig,

2010a), que incluye la participación en la mejora de la sociedad o dimensión emancipadora.

Una parte considerable de los textos sobre pensamiento crítico lo definen únicamente como una evaluación de la consistencia de un razonamiento o enunciado, identificándolo con **racionalidad**. Así ocurre por parte de autores del campo de la filosofía como Harvey Siegel, para quien lo central en el pensamiento crítico es el compromiso con las pruebas (*evidence*, que a veces se traduce en castellano como «evidencia»). Estos autores consideran que los componentes del pensamiento crítico incluyen también la disposición o tendencia a actuar de determinada forma, por ejemplo buscar razones o pruebas de sus creencias, o mostrar una mente abierta. También desde la psicología, Deanna Kuhn considera el pensamiento crítico como un argumento razonado, sustentado en el examen de las pruebas.

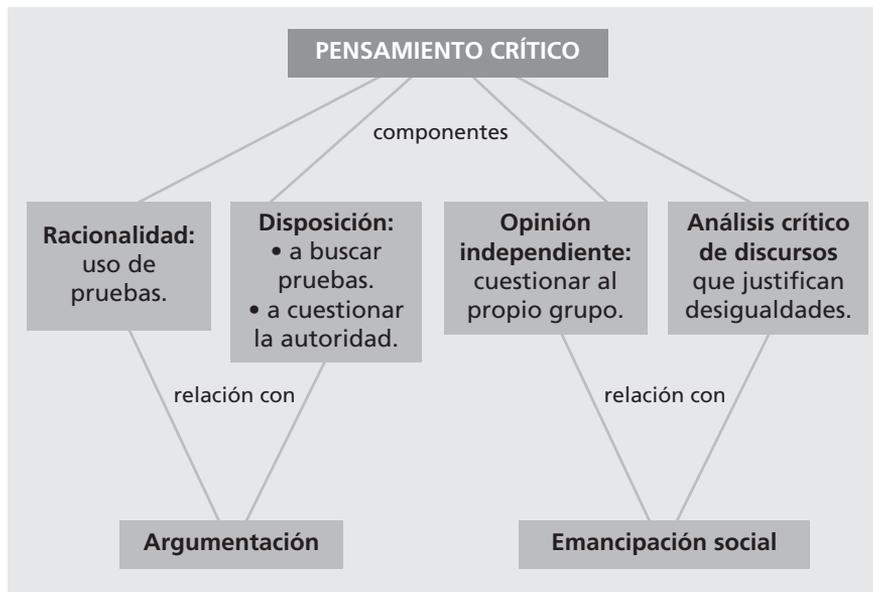
En nuestra opinión (Jiménez Aleixandre y Puig, 2010a) esta noción del pensamiento crítico tiene en cuenta sólo un tipo de componentes, los relacionados con la argumentación, mientras que nosotras proponemos que debe incluir también otros relacionados con la dimensión emancipadora, con la teoría crítica, como se resume en el cuadro 6.

Este segundo tipo de componentes se fundamenta en las aportaciones de la teoría y la educación críticas. La teoría crítica cuestiona el papel predominante de la tecnología en la sociedad capitalista, su utilización como un valor superior a la democracia o a la igualdad. Carr y Kemmis (1988) llaman *racionalidad instrumental* a la tendencia a contemplar todos los problemas prácticos, y en consecuencia sus soluciones, como asuntos de carácter técnico. Esta preeminencia del plano técnico lleva a dar por supuesto que las personas carecen de control sobre la realidad, idea que, según Carr y Kemmis, produce una disminución de las capacidades de reflexión y de modificación de las situaciones a través de la acción. Por el contrario, la *racionalidad crítica* pone énfasis en la capacidad de las personas para reflexionar sobre la realidad y modi-

La teoría crítica cuestiona el papel predominante de la tecnología en la sociedad capitalista.

La *racionalidad crítica* pone énfasis en la capacidad de las personas para reflexionar sobre la realidad y modificarla.

Cuadro 6. Los componentes del pensamiento crítico



Fuente: Jiménez Aleixandre y Puig, (2010a), [modificado]

ficarla. Un destacado pensador de la perspectiva crítica, Jürgen Habermas (1987), distingue entre intereses técnicos, comunicativos y críticos (o emancipatorios), siendo estos últimos los dirigidos a transformar las relaciones de poder. Una idea central de estas perspectivas es la de *capital cultural*, acuñada por Pierre Bourdieu (1997): las desigualdades sociales se reproducen no sólo por las diferencias económicas, sino también debido a las diferencias en capital cultural o simbólico. La forma de hablar (y escribir), el acento, la forma de vestirse o de moverse influyen en las oportunidades académicas del alumnado de distinta procedencia socioeconómica.

La educación crítica se ocupa de la transformación de las escuelas y las aulas. Entre sus pioneros podemos citar a Célestin Freinet (1972) y su «escuela del pueblo» y a Paulo Freire (1970) y su propuesta de educación problematizadora. En España la Institución Libre de Enseñanza, en

la que Giner de los Ríos proponía en 1925 hacer de la escuela primaria un laboratorio de investigación personal y eliminar el examen final, o la Escuela Moderna de Ferrer i Guardia, en la que se inspiró Freinet. Éste escribió sus libros estando arrestado en un campo de concentración durante la ocupación nazi de Francia en 1940. Leer y escribir ocupan un lugar central en su propuesta, con prácticas en primaria como escribir periódicos murales con críticas, alabanzas y peticiones. Freire también utilizaba la prensa, en este caso para comparar el tratamiento de la misma noticia en distintos periódicos, una estrategia utilizada con el alumnado en el caso de la marea negra del *Prestige* (Federico, 2004).

En resumen, el pensamiento crítico incluye componentes como el uso de pruebas, el juicio basado en criterios o la disposición a cuestionar la mera autoridad, es decir el escepticismo ante opiniones no fundamentadas, todo lo cual forma parte de la argumentación. Pero consideramos que también incluye otros componentes relacionados con la educación para la ciudadanía, como la capacidad de una persona de formar opiniones propias, sin depender sólo o fundamentalmente de las ideas de otros, sean la familia, los medios de comunicación, el grupo de amistades o el profesorado. Esto no significa falta de atención a las posturas de otras personas, sino evaluarlas cuidadosamente. Creemos que una disposición crucial a este respecto es la de cuestionar las ideas dominantes en un grupo o comunidad, como hicieron las personas que defendieron por vez primera que las mujeres debían tener derecho a voto o a la educación, o quienes se opusieron a la esclavitud o al racismo. Las dificultades para oponerse a la opinión de la propia comunidad, sean psicológicas o sociales, son bien conocidas. Así las experimentadas por los científicos que propusieron nuevos modelos: Giordano Bruno fue quemado por defender que la Tierra giraba alrededor del Sol, y Darwin retrasó veinte años la publicación de sus ideas sobre evolución.

Proponemos una caracterización del pensamiento crítico que incluye tanto componentes de razonamiento y uso de pruebas como otros de análisis crítico de los discursos que justifican desigualdades, lo que se relaciona con la competencia social y ciudadana.

Otro componente es la capacidad para analizar críticamente discursos que justifican las desigualdades y las relaciones asimétricas de poder. Son estos dos últimos componentes los que se relacionan con la emancipación y la ciudadanía responsable y activa. Estos cuatro componentes están interconectados y a veces se solapan entre sí.

Las contribuciones de la argumentación a los dos primeros componentes del pensamiento crítico no necesitan ser discutidas, ya que éstos pivotan sobre el uso de pruebas. Las contribuciones a los otros dos componentes, que presentan algunas diferencias en contextos científicos y sociocientíficos, se detallan en la idea clave 7.

¿Qué dimensiones del trabajo científico se aprenden argumentando?

Al principio de esta idea clave hemos discutido la idea de que la argumentación y el uso de pruebas constituyen una de las tres dimensiones de la competencia científica, o competencia en el conocimiento y la interacción con el mundo físico. Es decir que, por la propia naturaleza de los procesos de argumentación, al trabajarlos en el aula se desarrolla la capacidad de usar pruebas. Además hay otros aspectos del aprendizaje de las ciencias para los que la argumentación es relevante y que tienen relación con las formas de trabajar de la comunidad científica, con el desarrollo de ideas sobre la naturaleza de la ciencia que hagan justicia a su complejidad, lo que se denomina a veces *cultura científica* o *prácticas científicas*.

Se ha propuesto que aprender ciencias implica no sólo construir modelos conceptuales, sino también desarrollar o apropiarse de prácticas específicas del trabajo científico. ¿Qué prácticas son esas? No una serie de «pasos» fijos del llamado método científico, sino formas de trabajar de la comunidad científica. Para autores como Richard Duschl (1997) estas prácticas están asociadas con tres procesos (representados en el cuadro 1, p. 13) que, aunque se presentan conectados, distinguimos a efectos analíticos:

La argumentación contribuye al desarrollo de ideas sobre la naturaleza del trabajo científico que incluyan, estos procesos de producir, evaluar y comunicar conocimiento.

1. Producir conocimiento.
2. Evaluar conocimiento.
3. Comunicar conocimiento.

Producir conocimiento sería por ejemplo generar nuevos modelos o nuevas ideas, como puede ser la de Lavoisier de que el aire es una mezcla de gases, en particular de nitrógeno y oxígeno, en oposición a la idea anterior de que el aire era una sustancia homogénea. Otro ejemplo más reciente es el de Warren y Marshall, quienes en 1984 propusieron que muchas úlceras estomacales y gastritis se debían a la infección de la mucosa estomacal por la bacteria *Helicobacter pylori*, y no a los motivos que se proponían hasta entonces, como el estrés o determinadas comidas. Esta propuesta fue recibida con escepticismo por la comunidad médica, pues se argumentaba que las bacterias no podrían sobrevivir en un medio tan ácido (pH menor de 3.5) como el estómago. Una de las pruebas para convencerla fue un estudio en el que el propio Barry Marshall se bebió un cultivo de la bacteria, desarrollando a continuación una gastritis. Por estos trabajos Warren y Marshall recibieron en 2005 el Nobel de medicina. Esto ha cambiado radicalmente el tratamiento de las úlceras. Tratar en clase no sólo el conocimiento actual, sino también las explicaciones anteriores, como las ideas sobre el aire o sobre las úlceras de estómago, ayuda a una concepción más adecuada sobre las ciencias que tenga en cuenta su carácter provisional y sujeto a cambios.

La **evaluación del conocimiento** en base a las pruebas disponibles es el proceso que hemos definido como *argumentación*. La comunidad científica cuenta con diferentes mecanismos de evaluación en los que se sopesan las pruebas a favor o en contra de una idea nueva. Como se discute en la primera idea clave, lo que proponemos es llevar a la clase algunos ejemplos de este proceso. Así como en las clases de ciencias se discuten ejemplos de producción de conocimiento, es menos fre-

La evaluación del conocimiento en base a las pruebas disponibles es el proceso que hemos definido como *argumentación*.

cuenta realizar actividades de evaluación o discutir el proceso que lleva a la aceptación de una teoría o idea o a la sustitución de una idea por otra. Esta apropiación de las prácticas de evaluación es una de las contribuciones específicas de la argumentación al aprendizaje de las ciencias. Los procesos de argumentación ponen de manifiesto, por ejemplo, que los mismos datos o pruebas son interpretados de distintas formas según desde qué «lente» teórica se interpreten.

La comunicación del conocimiento a través del lenguaje también forma parte de las prácticas científicas, aunque a veces no se preste mucha atención a ella en la enseñanza de las ciencias. El trabajo científico incluye experimentación y también actividades discursivas, producción de textos escritos, no sólo en forma de artículos o libros, sino también de informes de investigación, propuestas para conseguir financiación o textos de divulgación. Los datos, los resultados de los experimentos, deben ser interpretados, narrados de otra manera, antes de pasar a ser tratados como hechos por la comunidad científica. Ésta es, según Sutton (1997), una de las dos funciones del lenguaje: la interpretativa, que utiliza metáforas y analogías, como la noción de campo magnético, debida a Faraday, o la primera utilización de célula, por la similitud que observó Hooke entre la estructura del corcho visto al microscopio y las celdillas de un panal (aunque en ese momento la célula no tenía para Hooke el significado de unidad de organización de los seres vivos que tiene para nosotros). La segunda función es la de etiquetado, dar nombre a nuevos conceptos, como gen, electrón, orbital. En el aprendizaje de las ciencias es importante no sólo aprender los nuevos nombres, el léxico científico, sino sobre todo la construcción de nuevos significados. Esto a veces conlleva distinguir entre el significado que se da a un término como «respiración», «fuerza» o «energía» en la vida cotidiana y el que se le da en el lenguaje científico. Por ejemplo dar un nuevo significado a «calor», después de aprender física, es dejar de considerarlo una sustancia. Aprender ciencias es, por tanto, también

En el aprendizaje de las ciencias es importante no sólo aprender el léxico científico, sino sobre todo la construcción de nuevos significados.

aprender a hablar y escribir ciencias (Sanmartí, 2003). Al participar en la argumentación, el alumnado aprende a utilizar, sea de forma oral o por escrito, los lenguajes de la ciencia, a presentar sus ideas de forma organizada y a sustentarlas en pruebas.

En resumen

La argumentación contribuye a competencias básicas y objetivos generales de la educación. Forma parte de la competencia científica, ya que el uso de pruebas (junto con la argumentación) es una de las tres capacidades que constituyen la competencia científica, según la evaluación PISA y los documentos curriculares. La atención a la argumentación y el uso de pruebas en numerosos documentos internacionales muestra su interés.

La argumentación y el uso de pruebas contribuyen además a otras competencias científicas básicas:

- En primer lugar a las relacionadas con objetivos respecto a la mejora de los procesos de aprendizaje, como aprender a aprender, ya que contribuyen a la regulación de los procesos de pensamiento al hacerlos públicos. También ayudan al desarrollo de la competencia en comunicación lingüística.
- En segundo lugar contribuyen a desarrollar las competencias relacionadas con el objetivo de formar una ciudadanía responsable, capaz de ejercer el pensamiento crítico o competencia social y ciudadana. En esta idea clave proponemos una noción de pensamiento crítico como la capacidad de desarrollar una opinión independiente, reflexionar sobre la realidad y participar en su mejora, es decir incluyendo componentes relacionados con la argumentación y otros enmarcados en la teoría crítica.
- En tercer lugar la argumentación contribuye específicamente a objetivos relacionados con la participación en prácticas científicas y con el desarrollo de ideas sobre la naturaleza de la ciencia, sobre las formas de trabajar de la comunidad científica, lo que se denomina la *cultura científica*. Participar en actividades de argumentación en clase ayuda a desarrollar una imagen del trabajo científico que incluya tanto los procesos de producción como los de evaluación y comunicación de conocimientos. Las tareas relacionadas con la argumentación y el uso de prue-

bas contribuyen a poner de manifiesto, por ejemplo, que el conocimiento no es algo fijo e inmutable, sino que tiene carácter provisional, en la medida en que unas ideas o modelos pueden ser sustituidos por otros; que estas ideas o modelos son evaluados de acuerdo con las pruebas disponibles en cada momento, y que los mismos datos o pruebas son interpretados de distintas formas según desde qué modelo o «lente» teórica se interpreten. La participación en la argumentación también ayuda a aprender a comunicarse, a hablar y escribir ciencias, y a usar lenguajes científicos.

El desarrollo del pensamiento crítico: análisis de la publicidad de «productos milagro»

En este ejemplo se plantea al alumnado una actividad de análisis de un producto de los denominados «milagro», que ofrecen resultados espectaculares, en este caso pérdida de peso sin necesidad de someterse a dieta o hacer ejercicio. La tarea propuesta al alumnado es:

¿Es cierta la publicidad de los productos adelgazantes?

Párrafos de la página web de Depuralina:

«Está demostrado que con el tiempo acumulamos en el intestino kilos de desechos. Gran parte de éstos se encuentran en las paredes del intestino en procesos de putrefacción. Un gran número de problemas de salud pueden estar directamente relacionados con el ensuciamiento intestinal».

(En: www.depuralina.com/home_esp.html)

«Depuralina por su composición ayuda a desalojar de 2 a 20 kg de desechos que obstruyen el buen funcionamiento de nuestro organismo».

(En: www.habitamos.com/post/1888012/depuralina_para_una_mejor_figura_y_salud_depuralina)

Composición de la Depuralina según los datos que constan en: www.depuralina.com/home:

«Semilla de lino del Canadá, salvado, aloe vera, cola de caballo, enebro, bardana, nopal, flora bacteriana, diente de león, L-carnitina».

1. ¿Crees que es cierto que una persona puede tener 20 kg de desechos en su intestino? (Sugerencia: busca información sobre las heces, por ejemplo en: www.normon.es/media/manual_8/capitulo_11.pdf).
2. La publicidad de éste y otros productos afirma que se adelgaza sin necesidad de comer menos ni hacer ejercicio. ¿Crees que puede ser posible? Justifica tu respuesta.

COMENTARIO: enfrentados a este tipo de publicidad en los medios, el alumnado y, en general, la ciudadanía deben estar preparados para identificar los supuestos en que se basan y contrastarlos con las pruebas disponibles.

Un primer supuesto, relacionado con la pregunta 1, es que en el cuerpo humano se producen gran cantidad de desechos (heces) que no se eliminan. La

búsqueda de información, por ejemplo, datos como la cantidad de heces que se producen al día (una media de unos 200 g), de las cuales un 65% es agua, puede llevar a un cálculo de que serían necesarios de 100 a 300 días de estreñimiento total para acumular 20 kilos de desechos.

Un segundo supuesto, relacionado con la pregunta 2, es que el sobrepeso y la obesidad se deben sobre todo a la acumulación de desechos en el intestino, y no a la acumulación de grasa en el tejido adiposo, que lleva a una proporción mayor de la deseable en el porcentaje de grasa corporal. Los expertos están de acuerdo en que el sobrepeso (un IMC o índice de masa corporal de 25 a 29,9) y la obesidad

(IMC superior a 30) se deben a una combinación de factores genéticos, a malos hábitos alimentarios (exceso de bollería industrial, con alto contenido en grasas, azúcares, fritos, etc.) y a la falta de ejercicio. Las soluciones, por ello, implican un cambio de dieta, con mayor proporción de frutas y verduras y menos de grasas, así como ejercicio regular, por ejemplo caminar en vez de ir en coche, subir escaleras o practicar algún deporte.

En esta primera parte de la actividad se está partiendo del supuesto de que la composición del producto en cuestión es la que se afirma en su publicidad, sobre todo sustancias de origen vegetal y algunos nutrientes como la L-carnitina (necesarios para quemar grasas).

Cuatro imputados de Nutra Life por el fraude de los adelgazantes

La Guardia Civil interrogó a los responsables de la firma de «productos milagro». Según la denuncia de Facua-Consumidores en Acción, Nutra Life comercializa «medicamentos ilegales que contienen altas concentraciones de triyodotironina, una hormona tiroidea, y de la hormona sexual beta-estradiol, lo que podría ser perjudicial para la salud», apuntó ayer Rubén Sánchez, portavoz de Facua.

Facua ha denunciado, sin mucho éxito, a la empresa por publicidad fraudulenta como la que prometía adelgazar «hasta 28 kilos en menos de nueve semanas sin dejar de comer, ni hacer ningún tipo de gimnasia. (...) Su publicidad cuando se dirigía a las mujeres para perder peso era totalmente denigrante. Presentaban testimonios en los que decían que sus maridos no las deseaban porque estaban gordas y que, tras tomar los productos y adelgazar, habían vuelto a ser atractivas», añade Sánchez.

En la página web de la Agencia Española del Medicamento (www.agemed.es) hay información sobre la venta de medicamentos por Internet y una campaña contra ellos.

Fuente: *El País*, lunes 4 de diciembre de 2007

sario para la oxidación de las grasas, pero que, con una dieta equilibrada, se sintetiza en nuestro propio organismo). En la segunda parte se discute un caso de adelgazantes fraudulentos:

3. ¿Crees que en el caso de estos productos comentados en la noticia de *El País* podría ser cierto su efecto adelgazante? ¿Por qué entonces han sido retirados del mercado? (Sugerencia: busca información sobre la acción de las hormonas mencionadas).

COMENTARIO: se trata de que el alumnado identifique que en este caso el fraude radica sobre todo en que la composición

real es distinta de la indicada. El uso de las hormonas entraña graves riesgos, por ejemplo, la hormona tiroidea T3 es necesaria para el metabolismo, pero ya se encuentra en proporción suficiente en un organismo sano.

Sin embargo, el éxito de gran parte de esta publicidad se basa en que es más fácil tomar una cucharada de un producto que cambiar de hábitos alimentarios o sedentarios. Aparentemente parece más sencillo y rápido deshacerse de varios kilos de desechos acumulados en el intestino o «acelerar» la oxidación de las reservas de grasa presentes en el tejido adiposo que eliminarlas por una combinación de comer menos de lo que se gasta y realizar ejercicio para gastar más.



Para saber más...

CAÑAS, A.; MARTÍN-DÍAZ, M.J; NIEDA, J. (2007): *Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico*. Madrid. Alianza Editorial.

Las autoras realizan un completo análisis de la competencia científica, tanto en los marcos teóricos de la evaluación internacional PISA como en los documentos curriculares del Ministerio de Educación. Se discuten detalladamente las tres dimensiones que forman parte de la competencia en los currículos de primaria y secundaria.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2004): «La catástrofe del *Prestige*: racionalidad crítica versus racionalidad instrumental». *Cultura y Educación*, núm. 16, pp. 249-257.

Se analiza la catástrofe causada por el petrolero *Prestige* a la luz de la oposición establecida por la teoría crítica entre el discurso de la racionalidad instrumental y el de la racionalidad crítica. Se interpretan tanto las acciones sociales, promovidas por Nunca Más, como las acciones educativas de las escuelas gallegas como un ejemplo de implicación en la transformación social.

SUTTON, C. (1997): «Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje». *Alambique*, núm. 12, pp. 8-32.

En este artículo Sutton, uno de los autores que más ha reflexionado sobre el lenguaje científico, resume algunas de sus ideas principales sobre la función de interpretación del lenguaje y sus consecuencias para las clases de ciencias.

Las pruebas permiten distinguir conclusiones sustentadas en datos de opiniones



«Las pruebas permiten distinguir conclusiones sustentadas en datos de opiniones», así como elegir entre teorías alternativas, entre diversas opciones, confirmar predicciones o evaluar afirmaciones de distintas fuentes.

Lo que yo, como científico, creo (por ejemplo en la evolución), lo creo no porque lo haya leído en un libro sagrado, sino porque he estudiado las pruebas. Es algo muy distinto. En principio cualquier lector puede comprobar esas pruebas. Cuando un libro científico está equivocado, alguien acaba descubriendo el error y se corrige en libros posteriores.

(Dawkins, 2007)

¿Cuál es el papel de las pruebas?

Las pruebas juegan un papel central en la construcción del conocimiento científico, ya que son utilizadas para mostrar que un enunciado es cierto o que es falso. Hay que señalar que, al subrayar este papel, no se pretende indicar que las pruebas sean el único elemento importante en el trabajo científico, o que su evaluación sea un proceso totalmente objetivo. Revisando ejemplos de historia de la ciencia podemos comprobar cómo las pruebas son interpretadas de una u otra forma según el modelo teórico de quien las interprete.

Interpretación de pruebas. ¿Cómo interpretó Wöhler la síntesis de la urea?

El químico sueco Berzelius ideó en 1827 la noción de compuestos orgánicos, y propuso que se originaban exclusivamente en el seno de los seres vivos mediante la acción de una fuerza vital, a diferencia de los compuestos inorgánicos que podían ser sintetizados en el laboratorio. Como otros científicos de su época, Berzelius consideraba que la materia viva y la materia inanimada eran esencialmente diferentes.

En 1828, Wöhler, discípulo de Berzelius, logró sintetizar urea $[(\text{NH}_2)_2\text{CO}]$ en el laboratorio, a partir de compuestos inorgánicos sin intervención de seres vivos, mediante la ebullición de ácido cianico y amoníaco. Su interpretación de este experimento, en una carta a Berzelius, es que el material de partida, ácido cianico, a pesar de ser un compuesto relativamente simple, es aún una sustancia orgánica: «un filósofo de la naturaleza diría que tanto en el carbono animal como en estas combinaciones de cianatos no ha desaparecido el carácter orgánico, y es por esto por lo que se puede obtener con estos cuerpos otros cuerpos orgánicos».

1. La síntesis de la urea, lograda por Wöhler, se considera la primera síntesis artificial de una molécula orgánica en laboratorio (antes sintetizó otra de la que no sabía el nombre). ¿Cómo la interpreta Wöhler? ¿A qué crees que se debe su interpretación?
2. ¿Crees que este experimento demuestra o refuta alguna teoría o teorías? Explica cuál.

COMENTARIO: hemos utilizado esta actividad en formación del profesorado, comprobando que no resulta fácil identificar en la frase «no ha desaparecido el carácter orgánico» la carga de las perspectivas vitalistas que llevan a Wöhler a no darle el mismo significado que le damos a este experimento hoy día: **refutación** de la existencia de una diferencia esencial, irreductible, entre seres vivos e inertes.

El objetivo de esta idea clave no es una discusión detallada desde el punto de vista filosófico de la importancia de las pruebas, sino proporcionar recursos para desarrollar en clase la capacidad de usarlas. Las posiciones de la nueva filosofía de la ciencia, de autores como Thomas Kuhn, han tenido gran influencia en la didáctica de las ciencias, en particular las críticas a la posición empirista que considera la observación objetiva y base de la que se derivan leyes y teorías. Es necesario superar la perspectiva empirista que impregna parte de la ciencia escolar, pero también lo es criticar la filosofía de la ciencia tradicional, pues algunos de sus aspectos, como el

principio de autoridad, siguen teniendo influencia en la enseñanza. Hay que reconocer la contribución de la revolución científica y del empirismo a la comprobación mediante experimentos, descartando las explicaciones sobrenaturales y el principio de autoridad. Un ejemplo del papel dominante asignado a la experiencia a partir de la revolución científica es el lema de la sociedad científica *Royal Society*, a la que pertenecieron entre otros Darwin y Wallace, fundada en 1662: *Nullius in verba*, «en la palabra de nadie», indicando que sin pruebas ninguna autoridad científica resultaba suficiente.

Utilizamos el término «prueba», pues en castellano «evidencia» (que a veces se usa por influencia de *evidence*) significa otra cosa, lo que no necesita ser probado. En la idea clave 1 se ha definido como lo que permite mostrar que un enunciado es cierto o que es falso. En el contexto de la argumentación, las pruebas son entendidas como datos de naturaleza empírica o teórica que sirven para apoyar una conclusión. Desarrollar una perspectiva adecuada sobre la naturaleza de la ciencia requiere entender cómo se generan y validan las pruebas científicas.

¿Cómo sabemos lo que sabemos?

Una forma de comenzar a trabajar con pruebas en clase es, como proponen Osborne, Erduran y Simon (2004) en el proyecto IDEAS, pedir al alumnado que reflexione sobre por qué sabemos algunos conocimientos, qué pruebas hay de ellos. Como parte del proyecto europeo *Mind the Gap*, en la Universidad de Santiago hemos desarrollado una serie de actividades con este objetivo (Jiménez Aleixandre y otros, 2009). Véase el cuadro 7 de la página siguiente.

Los conocimientos citados presentan distinto grado de dificultad a la hora de citar alguna prueba. Gran parte del alumnado de ESO es capaz de pensar alguna prueba de que los seres vivos están formados por células, pero incluso a estudiantes de 2.º de bachillerato o universitarios no les resulta fácil dar pruebas de que el número de niveles tróficos no puede ser ilimitado o ni siquiera muy elevado (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2010). La conservación de la masa puede comprobarse em-

Cuadro 7. ¿Cómo sabemos lo que sabemos? ¿Qué pruebas tenemos?

En la columna de la izquierda figuran algunos conocimientos de ciencias experimentales. Intentad colocar en la de la derecha alguna prueba de que esto es así.

IDEA (ENUNCIADO DE CONOCIMIENTO)	¿QUÉ PRUEBAS TENEMOS?
Los seres vivos están formados por células.	
En un ecosistema sólo puede haber un número limitado de eslabones tróficos.	
La masa se conserva en las reacciones químicas.	
La temperatura de las sustancias puras se mantiene constante durante el cambio de estado.	
El sonido necesita un medio (sólido, líquido o gaseoso) para transmitirse.	
La Tierra gira sobre sí misma, lo que causa la alternancia entre el día y la noche.	
La Tierra tiene unos 4.550 millones de años de edad.	

píricamente en un laboratorio escolar, por ejemplo con la reacción $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{CO}_2$ y comprobando que la pérdida aparente corresponde a los 0,44 g (de CO_2) por cada 1,00 g de CaCO_3 (actividad que resulta más clara que la de quemar magnesio que propone en algunos libros). También se prestan a comprobación en el laboratorio el mantenimiento de la temperatura durante el cambio de estado y la necesidad de un medio para que el sonido se transmita.

Como ocurre con la idea de que es la Tierra la que gira en torno al Sol (traslación), la de que la Tierra gira en torno a sí misma (rotación)

no es puesta en duda por el alumnado, pero les resulta difícil sugerir alguna prueba de ello. Un péndulo de Foucault, como los que hay en distintos museos y casas de las ciencias, puede constituir una prueba, aunque es necesaria la interpretación, como se discute en la idea clave siguiente. En cuanto a la edad de la Tierra, para la que actualmente contamos con datos radiométricos, en la idea clave 4 se discuten distintas hipótesis que se propusieron sobre ella en el pasado.

Aunque a veces se habla de las pruebas como si sólo jugaran un papel en las ciencias experimentales, también es posible realizar este tipo de actividades en ciencias sociales o en humanidades. En este caso incluimos algunas pruebas (aunque al alumnado se le pide que las proporcione). Véase el cuadro 8.

Aunque hay muchos conocimientos que no suelen ponerse en duda, no siempre le resulta fácil al alumnado dar pruebas sobre ellos, de ahí la necesidad de una reflexión explícita sobre cómo hemos llegado a saber lo que sabemos.

Cuadro 8

IDEA (ENUNCIADO DE CONOCIMIENTO)	¿QUÉ PRUEBAS TENEMOS?
El colapso de las civilizaciones mesopotámicas está vinculado a la sobreexplotación del terreno cultivable.	Arqueológicas, como la salinización del suelo.
La desaparición de los indígenas en el Caribe está vinculada a las epidemias contagiadas por los colonizadores.	Testimonios de la época (fuentes primarias); inferencia a partir de casos de contagio actuales.
La superación de las crisis de subsistencia (hambrunas) en Europa está vinculada a la difusión de cultivos americanos como la patata y el maíz.	Datos de crecimiento demográfico; testimonios de la época (fuentes primarias).
Las lenguas sánscrita, persa, latina y griega, así como la mayor parte de las lenguas habladas actualmente en Europa y el oeste de Asia (indoeuropeas), tienen origen común.	Léxico común (aunque con distinta evolución fonética); alineamiento morfosintáctico nominativo-acusativo.

¿Bastan las pruebas por sí solas? No siempre, pues por una parte, como se ha indicado, son interpretadas de una forma u otra según los «len-

tes» teóricos desde los que se contemplan. Por otra parte, algunas pruebas, como la medida del agua mientras hierve, pueden resultar suficientemente claras, mientras que otras requieren una **justificación** que conecte los datos con la conclusión que se pretende probar, como se discute en la cuarta idea clave.

Uso de pruebas en distintos contextos: elegir teorías, confirmar predicciones, evaluar críticamente afirmaciones

En general el papel de las pruebas es el de mostrar si un enunciado es cierto o si es falso. Pero la práctica del uso de pruebas presenta algunas diferencias según sea el contexto (Bravo, Puig y Jiménez Aleixandre, 2009). Por ejemplo, mientras que en una investigación es posible que se elaboren las conclusiones a partir de datos empíricos, en la evaluación de un enunciado científico en el aula (o por parte del público), el proceso seguido puede ser el inverso. Algunos casos de distintos contextos de uso de pruebas son:

La práctica del uso de pruebas presenta algunas diferencias según sea el contexto.

- *Contextos teóricos frente a empíricos.* Una cosa es solicitar del alumnado la evaluación de enunciados *teóricos* que corresponden a principios científicos, como por ejemplo que la corriente eléctrica es un flujo de electrones (para el cual no hay pruebas empíricas apropiadas al nivel de secundaria), y otra distinta es pedir que elijan entre dos interpretaciones alternativas de los resultados *empíricos* de un experimento. En Jiménez Aleixandre y otros (2009), se propone un ejemplo de discusión de observaciones compatibles o no con dos explicaciones sobre por qué entra agua en un recipiente usado para tapar una vela encendida sobre agua.
- *Elección entre teorías o modelos explicativos de un fenómeno.* Por ejemplo, entre el modelo que atribuía el origen del relieve y las montañas a la contracción de la Tierra al enfriarse, y el que lo atribuye a la dinámica de las placas; o entre las distintas teorías para

explicar la expansión de las enfermedades infecciosas, como se discute en el apartado «En la práctica» de esta idea clave (pp. 62-66). Esto se aborda con más detalle en la idea clave 6.

- *Elección entre varias opciones o decisiones posibles.* Estos enunciados están situados en un nivel de abstracción menor que las teorías o modelos explicativos, aunque también hay diferencias dentro de ellos. Por ejemplo, la decisión entre comer peces que son carnívoros primarios o secundarios, como la sardina o el arenque, o comer carnívoros terciarios, como el salmón, puede basarse únicamente en criterios relacionados con conocimientos conceptuales, como su eficiencia ecológica (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2010). Por otra parte, en la decisión sobre qué sistema de calefacción es mejor (comentada en la idea clave 8), se combinan criterios como el carácter renovable o no de las distintas fuentes de energía, la contaminación que generan, su precio o la sustentabilidad (Federico y otros, 2007).
- *Confirmación de predicciones.* Algunas teorías, especialmente en el caso de la biología y la geología, son explicaciones históricas sobre sucesos del pasado que no es posible reproducir en un experimento, como ocurre con la teoría de la evolución, en concreto con el primero de los dos enunciados que la constituyen, que todos los seres vivos tienen un origen común. En estos casos muchas de las pruebas consisten en la confirmación de predicciones derivadas de la teoría, por ejemplo la predicción de que debieron de existir antepasados comunes de organismos que según la teoría están emparentados, como los reptiles y las aves (en este caso los antepasados son dinosaurios). Fósiles como *Archaeopteryx*, que comparte características de dinosaurio y de ave, confirman esta predicción, mostrando que ambos tuvieron ancestros comunes.
- *Evaluación crítica de enunciados de otras fuentes.* Este proceso requiere, en general, la identificación de los supuestos teóricos que subyacen a determinada conclusión. Por ejemplo, la evaluación de la

Algunos casos de distintos contextos de uso de pruebas son: contextos teóricos frente a empíricos, elección entre teorías o modelos explicativos de un fenómeno, elección entre varias opciones o decisiones posibles, confirmación de predicciones o evaluación crítica de enunciados de otras fuentes.

afirmación de James Watson sobre la existencia de diferencias en inteligencia entre personas blancas y negras, debido a causas genéticas, requiere la identificación de un supuesto: que las diferencias en inteligencia se deben únicamente al genotipo y no a la interacción entre éste y los factores ambientales (Puig y Jiménez Aleixandre, 2009b). Éste es un caso en el que, a partir del enunciado, hay que recorrer el camino hacia los datos que pueden probarlo o refutarlo. Se trata en la idea clave 7.

En estos distintos contextos las operaciones que forman parte del uso de pruebas pueden presentar algunas diferencias. Una de ellas es evaluar la fiabilidad de la fuente de información que emite el enunciado, por ejemplo, persona experta, medio escrito o profesorado. Puig y Jiménez Aleixandre (2009b) proponen al menos tres:

1. Identificación del significado del enunciado, que implica la comprensión de textos científicos y que no siempre tiene lugar.
2. Coordinación de enunciados con pruebas, o identificación de qué pruebas son relevantes para apoyar o rechazar el enunciado.
3. Identificación del significado de cada prueba, es decir si apoya o refuta un enunciado determinado.

Habría que añadir la articulación de pruebas empíricas con justificaciones teóricas. Algunas de estas operaciones se discuten en detalle en la idea clave 5, al abordar los criterios para evaluar las propias pruebas.

En resumen

Las pruebas son utilizadas para contrastar enunciados, mostrando si son ciertos o falsos, permitiendo así distinguir conclusiones sustentadas en datos de meras opiniones que pueden estar basadas en prejuicios o estar promovidas por intereses comerciales. De ahí la importancia de su papel

en la construcción del conocimiento científico. Históricamente la contrastación del conocimiento por medio de pruebas permitió superar las perspectivas basadas en la autoridad de libros o de autores como Galeno o Aristóteles.

El conocimiento tiene carácter dinámico, no estático, puesto que se evalúa con las pruebas disponibles en cada momento. Al aparecer nuevas pruebas, las conclusiones pueden cambiar, un modelo puede ser sustituido por otro. En otras ocasiones es la aparición de nuevos modelos o teorías la que lleva a una nueva interpretación de determinados datos, llevando a la sustitución de una explicación científica por otra. Esto es así porque la interpretación de pruebas se lleva a cabo siempre desde el marco de una teoría, y dos teorías alternativas llevan a interpretaciones distintas de los mismos datos.

Proponemos una reflexión explícita sobre cómo sabemos lo que sabemos, solicitando al alumnado que indique alguna prueba de ideas científicas que forman parte del conocimiento escolar, y que en muchos casos son ampliamente aceptadas. Aunque casi nadie ponga en duda que la Tierra gira en torno a sí misma o que en una cadena alimentaria no puede haber un número indefinido de eslabones, al alumnado, y al público en general, no le resulta fácil proponer pruebas, lo que apoya la necesidad de trabajar esta competencia en el aula.

La práctica del uso de pruebas puede ser distinta en distintos contextos según sean, por ejemplo, teóricos o experimentales. En la elección entre diferentes teorías u opciones, se evalúan enunciados o decisiones en función de los datos. En algunos casos las pruebas son utilizadas para contrastar predicciones. En la evaluación crítica de enunciados de otras fuentes se requiere la identificación de los supuestos que subyacen a una conclusión determinada, ir de la conclusión a los datos.

¿Cómo elegir la mejor explicación entre varias? Causas de las infecciones

A mediados del siglo XIX se oponían distintas teorías sobre las epidemias y las enfermedades que hoy día llamamos infecciosas. Para los «contagionistas» la enfermedad se debía al contacto con el enfermo, mientras que otros lo atribuían a miasmas o malos aires transmitidos por el viento o favorecidos por las condiciones climáticas. La primera prueba de que estas enfermedades eran causadas por seres vivos microscópicos se debe al médico italiano Filippo Pacini, quien en 1854 identificó la bacteria causante del cólera, aunque su trabajo permaneció ignorado hasta 1883, cuando Robert Koch (que había identificado el bacilo de la tuberculosis) la redescubrió. Un caso famoso que muestra las dificultades de convencer a otros de ideas nuevas, incluso contando con pruebas, es el de Semmelweis.

Ignaz. P. Semmelweis nace en 1818 en Budapest, Hungría, parte del Imperio austro-húngaro. En 1837 se traslada a Viena y estudia medicina. Se considera extranjero y se cree perseguido debido a su acento húngaro. En esa época un alto porcentaje de mujeres moría tras dar a luz, lo que se conocía como fiebre puerperal. En julio de 1846 es nombrado ayudante de Klin, director del pabellón 1 en la maternidad del Hospital General de Viena.

En una de sus cartas de 1846 Semmelweis dice:

Me alarmé al conocer el porcentaje de pacientes que mueren en la maternidad. Este mes han muerto no menos de 36 de las 208 madres, todas de fiebre puerperal. Dar a luz a un niño es tan peligroso como una neumonía de primer grado.

Semmelweis comparó los datos sobre el porcentaje de muertes en los pabellones 1 y 2, dirigidos por Klin y Bartch respectivamente. Dichos datos se resumen en el cuadro 9.

Cuadro 9. Porcentajes de muertes en los pabellones 1 y 2

PABELLÓN / AÑO	1841	1842	1843	1844	1845	1846
Pabellón 1: % de muertes	7,8	15,8	9	8,2	6,9	11,4
Pabellón 2: % de muertes	3,5	7,6	6	2,3	2	2,8

Las causas que se proponían para explicar el alto número de muertes eran, entre otras, los cambios atmosféricos, los terremotos, el hacinamiento, la dieta, la antigüedad del edificio o el sobresalto al escuchar la campanilla del viático (anuncio de la llegada de un sacerdote para atender a una moribunda). Semmelweis negó que fuesen éstas las causas de la fiebre.

1. Teniendo en cuenta los datos del cuadro 9 (con los que podéis construir un gráfico), proponed una razón por la que Semmelweis descartase las hipótesis citadas.

COMENTARIO: para que los alumnos y alumnas aprendan a evaluar hipótesis o teorías, es necesario que las relacionen con las pruebas o datos disponibles. Aunque para el profesorado la respuesta pueda parecer obvia (cualquiera de esas causas afectaría por igual a los dos pabellones, y ninguna explica la diferencia en el porcentaje de muertes), nuestra experiencia, así como los resultados de las pruebas PISA, que incluyen un ítem parecido, muestran que sólo un 26% del alumnado responde adecuadamente. Recordemos que los colegas de Semmelweis tampoco

lo reconocieron. Esto muestra también que, en el proceso de evaluación de hipótesis, la recogida y comunicación de datos juega un importante papel. Presentar en forma de comparación los datos de ambos pabellones (y la gráfica) ayuda a darse cuenta de que hay diferencias entre ellos y de que, por lo tanto, es una cuestión crucial.

A partir de los datos que mostraban la diferencia de muertes entre los dos pabellones, Semmelweis examina qué otras diferencias existían en ellos. En el 1 el reconocimiento lo realizaban los estudiantes de medicina (todos varones), mientras que en el 2 lo hacían únicamente las alumnas comadronas. Algunos de los médicos pensaban que la brusquedad masculina de los estudiantes al explorar a las enfermas causaba una inflamación y la muerte. Semmelweis propone permutar estudiantes y comadronas, elevándose así la muerte en el pabellón 2, ahora el de los varones. Establecido el papel de éstos, Klin dice que son los estudiantes extranjeros (22 de los 42, en su mayor parte húngaros) los que propagan la fiebre, y los expulsa. Durante unas semanas la tasa de mortalidad descende, pero luego vuelve a subir.

Una vez establecida la relación entre los estudiantes de medicina y la enfermedad, Semmelweis continúa examinando

qué causas pueden explicarla. Una de las diferencias entre estudiantes y comadronas es que los primeros participaban en las disecciones realizadas a los cadáveres, entre ellos los de las parturientas, mientras que las comadronas no lo hacían. Semmelweis, basándose en su experiencia en cirugía, recuerda que en las disecciones de cadáveres un pinchazo o corte con un instrumento contaminado puede resultar mortal. Propone una nueva hipótesis, que los estudiantes transportan algún tipo de partículas desde los cadáveres hasta las mujeres: «Los dedos de los estudiantes, contaminados durante disecciones, son los que conducen las fatales partículas cadavéricas a los órganos genitales de las mujeres encintas».

En octubre de 1846 hizo instalar lavabos en la puerta de la sala de partos y dio orden a los estudiantes de lavarse las manos. Pero su jefe Klin se negó a aceptar esta medida y después de una airada pelea lo destituyó.

Por influencia de Skoda, uno de sus profesores, que siempre lo apoyó, Semmelweis es nombrado de nuevo ayudante, esta vez de Bartch en el pabellón 2. Aunque no se había identificado aún el papel de los microorganismos en las infecciones, él considera responsables a las «partículas», invisibles al microscopio en

1846, reconocibles sólo por el olor, y propone desodorar las manos de los que hubiesen realizado disecciones mediante una solución de cloruro cálcico. En mayo de 1847 consigue que los estudiantes de medicina pasen al pabellón 2, y la mortalidad aumenta. Vuelve a instalar lavabos con cloruro cálcico y, tras obligar a todos los que examinaban a las mujeres a lavarse las manos, logra en 1848 que la mortalidad caiga a menos del 1%.

Sin embargo, llevado por el antagonismo, su antiguo jefe Klin consigue que la mayoría de los médicos se opongan. Tampoco le hacen caso en otros países. Los médicos y luego los estudiantes se niegan a los «lavatorios malsanos». La polémica crece y Semmelweis es destituido y expulsado de Viena en marzo de 1849. Murió, perdida la razón, en 1865.

2. ¿En qué datos se basa Semmelweis para proponer el lavado de las manos?
3. ¿Cuál era exactamente la hipótesis de Semmelweis?
4. ¿Qué fenómenos observados son explicados por la hipótesis de Semmelweis?

COMENTARIO: en la pregunta 2 también se pide al alumnado que relacione datos con

hipótesis. Casi todos identifican la *participación* de los estudiantes de medicina en las disecciones de cadáveres, pero no tantos añaden a esto la existencia de *accidentes* mortales debidos a pinchazos o cortes durante ellas. Lo más original de la hipótesis de Semmelweis, que hoy consideramos acertada, es la conexión entre ambos datos. Pedir al alumnado en la pregunta 3 que reformule la hipótesis con sus propias palabras ayuda a reflexionar sobre estas relaciones.

Un segundo paso en la evaluación de hipótesis, en el proceso de coordinación entre hipótesis o teorías y pruebas (o datos), es que los alumnos y alumnas relacionen la hipótesis con lo observado, lo que se solicita en la pregunta 4. La capacidad explicativa de distintas teorías o hipótesis es uno de los criterios que se emplean en su evaluación. Este aspecto resulta más difícil para el alumnado que relacionar datos con hipótesis, de ahí que propongamos ejercitarlo. Hay distintos niveles en esta evaluación: algunas personas contestan simplemente que la hipótesis explica por qué mueren las parterizas, lo que es insuficiente. Un nivel intermedio es indicar que explica la diferencia de muertes entre ambos pabellones. Un nivel más alto consiste en añadir

uno o los dos fenómenos que también son explicados por la hipótesis: que el porcentaje de muertes se invierte al permutar a los estudiantes, y que el lavado de manos hace que descienda.

En formación del profesorado utilizamos este ejemplo para una reflexión adicional, solicitando que indiquen la incidencia de factores sociales en este caso. Entre ellos pueden citarse: la xenofobia de Klin, que lleva a la expulsión de los extranjeros y que quizá influyese en su negativa a aceptar las propuestas de Semmelweis, que era húngaro; el ejercicio de la autoridad de Klin y otros, a expensas de la contrastación de teorías con pruebas, es decir que a pesar de que las muertes disminuyen, no se continúa con el lavado de manos; las interpretaciones sobre la «brusquedad» de los varones como causa de la fiebre, que parecen relacionadas con el determinismo biológico, es decir un efecto causado por los varones por ser varones, no por llevar las manos infectadas, y la consideración de que un alto número de muertes en el parto era «normal». Todo ello pone de manifiesto que, aunque el conocimiento científico se construye mediante la evaluación de teorías en conexión con las pruebas, el contexto social influye en que éstas sean

aceptadas. El profesorado en formación suele indicar también en este sentido el hecho de que en esa época no se permitiese seguir los estudios universitarios de medicina a las mujeres, aunque sí prepararse como comadronas, un trabajo de menor estatus (aunque este aspecto no tiene una incidencia directa en

la aceptación de las hipótesis de Semmelweis). Este ejemplo puede poner de manifiesto que la evaluación del conocimiento es un proceso que reviste complejidad y que, por lo tanto, el alumnado necesita ejercitarse, practicarlo, para llegar a adquirir las competencias en argumentación.



Para saber más...

BRAVO, B.; PUIG, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «Competencias en el uso de pruebas en argumentación». *Educación Química*, núm. 20, pp. 137-142.

Este artículo discute el uso de pruebas en argumentación en el marco de las competencias científicas, y esboza una propuesta de las dimensiones que comprende: por una parte, conocimiento acerca de su naturaleza, su papel y los criterios para evaluarla y, por otra, la práctica del uso de pruebas en distintos contextos.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; BRAVO, B.; PUIG, B. (2009): «¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas?». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 186, pp. 10-12.

Se proponen actividades para trabajar el uso de pruebas en ecología, genética y análisis crítico de la publicidad.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; GALLÁSTEGUI, J.R.; EIREXAS, F.; PUIG, B. (2009): *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela. Danú.

Estos materiales, disponibles en gallego, castellano e inglés, reúnen seis bloques de recursos para trabajar el uso de pruebas. Han sido diseñados y experimentados en los proyectos RODA y Mind the Gap en la Universidad de Santiago de Compostela. Se puede descargar el pdf en la página web del proyecto RODA: www.rodasc.eu.

Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones



«Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones». Éstas establecen la conexión entre datos y conclusiones. Los argumentos pueden incluir otros elementos auxiliares.

Lo que convierte las creencias de un hombre en prejuicios o supersticiones no es su contenido, sino su modo de sustentarlas. A este respecto, el prejuicio y la superstición son lo contrario de lo «razonable»; tienen menos que ver con lo que nuestras opiniones son que con la manera en que tratamos de hacerlas valer.

(Toulmin, 1977)

¿Qué elementos comprende un argumento? ¿Son todos indispensables?

Las explicaciones científicas se componen de distintos elementos y tienen una estructura de cierta complejidad. Aunque no son todas semejantes, algunos modelos de los elementos que comprende un argumento, como por ejemplo el propuesto por Stephen Toulmin (1958), resultan útiles para guiar al alumnado en la construcción de explicaciones adecuadas.

En nuestra opinión el desarrollo de competencias relacionadas con la argumentación y el uso de pruebas depende sobre todo del papel que se requiera del alumnado, del diseño de actividades que demanden un papel activo, más que de la enseñanza explícita de los componentes

de un argumento (Jiménez Aleixandre, 2008). El diseño de actividades y estrategias coherentes con este papel activo se aborda en la idea clave 9. Con todo, aprender a distinguir los elementos de una explicación, por ejemplo los datos de las justificaciones, puede ayudar al alumnado tanto a analizar las pruebas que se aportan para una conclusión dada como a elaborar explicaciones de mejor calidad. Siguiendo a Toulmin, un argumento, es decir el resultado de relacionar una explicación con las pruebas que la apoyan, está compuesto por tres elementos esenciales: *conclusión*, *pruebas* y *justificación*. Otros componentes que pueden formar parte de un argumento (o no estar presentes) son el *conocimiento básico*, los *calificadores modales* y las condiciones de *refutación*. Cabe señalar que, aunque en la estructura básica de los argumentos seguimos a Toulmin, en cuanto a los nombres y la caracterización de algunos de estos componentes utilizamos otros que nos parecen más adecuados para el trabajo en el aula o para la investigación didáctica. A continuación se aborda cada uno de estos componentes, ilustrándolos con ejemplos tomados de estudios del proyecto RODA o de la historia de la ciencia.

Conclusiones, hipótesis y explicaciones causales

En un argumento, una conclusión es el enunciado de conocimiento que se pretende probar o refutar.

En un argumento, una conclusión es el enunciado de conocimiento que se pretende probar o refutar. En ciencias experimentales hay un tipo de conclusiones que es especialmente relevante: las explicaciones causales de fenómenos físicos o naturales. Algunos ejemplos de estos enunciados de conocimiento se han abordado en la idea clave anterior: los seres vivos están formados por células, la Tierra gira sobre sí misma, el sonido necesita un medio para transmitirse o las infecciones se deben a microorganismos.

En ciencias experimentales hay un tipo de conclusiones que son especialmente relevantes: las explicaciones causales de fenómenos físicos o naturales.

Hay distintas formas de referirnos a estos enunciados que reflejan su estatus, en qué medida están sometidos aún a un proceso de comprobación o si éste ha tenido lugar. El término «enunciado» es el más general, pudiendo comprender a todos los demás. Cuando ante un fenómeno aún no explicado se emiten distintas ideas sobre sus posibles causas, hablamos de hipótesis. Ejemplos de distintas hipótesis para

explicar un fenómeno pueden ser las formas en que se interpretaba la combustión antes y después de Lavoisier:

- *Hipótesis del flogisto*. Los cuerpos combustibles, como el carbón, contienen un principio llamado flogisto, capaz de transformarse en «materia del fuego» por la acción de altas temperaturas. Esta materia del fuego podría fijarse, por ejemplo, en la herrumbre, explicándose así el aumento de peso que acompaña a la producción de óxidos metálicos.
- *Hipótesis de Lavoisier*. La calcinación de los metales resulta de la combinación del metal con una parte del aire (oxígeno).

Hablamos de hipótesis, cuando, en presencia de un fenómeno aún no explicado, se emiten distintas ideas sobre sus posibles causas.

Otros ejemplos de hipótesis pueden ser las teorías de los partidarios de los miasmas y los contagionistas acerca de las causas de las enfermedades infecciosas, discutidas en la idea clave anterior. O un caso más reciente, las numerosas hipótesis sobre las causas de la extinción de los dinosaurios que compitieron hasta mediados del siglo xx: erupciones volcánicas, cambios en el clima, problemas genéticos, desaparición de sus huevos al ser comidos por los mamíferos o el impacto de un meteorito, que al causar una gran nube de polvo oscureció la atmósfera, dificultando el paso de la luz solar y por tanto la fotosíntesis, hipótesis esta última que es la más aceptada en la actualidad.

El término «conclusión» suele emplearse en el lenguaje cotidiano en el sentido de algo que se deriva de una demostración o unas pruebas. Sin embargo, en los argumentos se usa a menudo para denotar el enunciado sometido a comprobación y que, tras ser contrastado con las pruebas, puede ser probado o refutado. En otras palabras, en el lenguaje sobre los argumentos no siempre se establece una distinción entre conclusión e hipótesis.

En la clase de ciencias las conclusiones que nos interesan particularmente son las *explicaciones causales*, es decir aquellas que persiguen la interpretación de fenómenos físicos y naturales, como las explica-

ciones sobre las causas de las estaciones, el aumento de peso en la calcinación de los metales, la extinción de los dinosaurios, la explicación de la variabilidad de formas en la descendencia de híbridos o de que la temperatura permanezca constante durante los cambios de estado. En clase puede argumentarse sobre otras cuestiones, por ejemplo acerca de la veracidad de determinada publicidad (abordada en la idea clave 2), toma de decisiones sobre qué sistema de calefacción es mejor, o sobre las ventajas e inconvenientes de los alimentos modificados genéticamente. Aunque en todas estas cuestiones hay que considerar conceptos de ciencias, lo que se somete a discusión no son explicaciones causales. En nuestra opinión la argumentación y el uso de pruebas presentan diferencias en unos y otros contextos y, al comprender distintas operaciones, las contribuciones en uno y otro caso deben ser distintas, como se discute en las ideas clave 6 y 7. Sugerimos que hay que trabajar ambos tipos.

Pruebas y datos

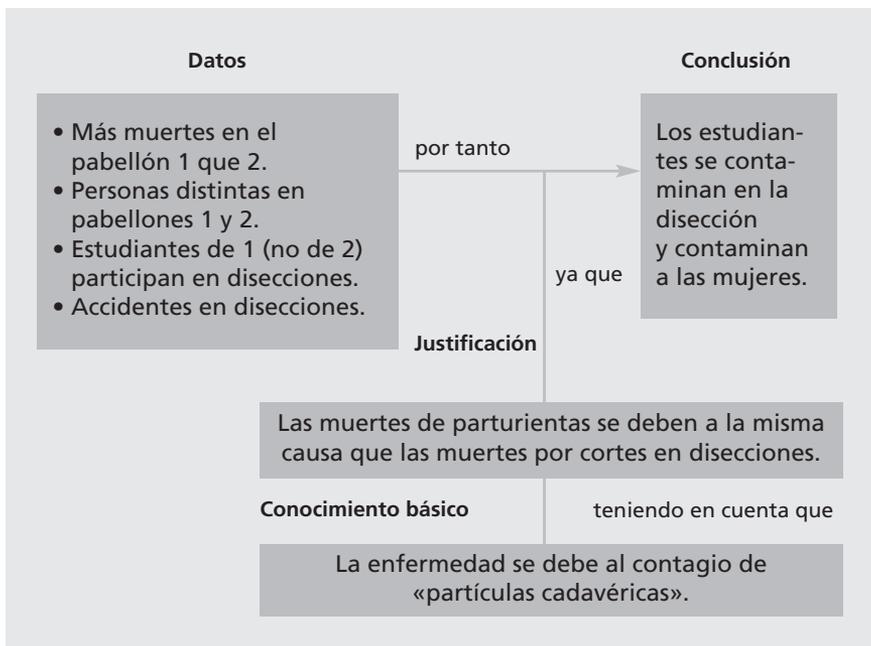
En un argumento, una *prueba* es la observación, hecho o experimento al que se apela para evaluar el enunciado. Hay que hacer notar que el término empleado por Toulmin es «datos». Aunque al hablar de la evaluación del conocimiento a veces los utilizamos como sinónimos, su significado presenta algunas diferencias, en nuestra opinión debido sobre todo al contexto de uso.

Hablamos de *datos* para referirnos a informaciones, magnitudes, cantidades, relaciones o testimonios con el fin de llegar a la solución de un problema o a la comprobación de un enunciado. En algunas de las actividades propuestas en ideas clave anteriores se proporcionan datos, por ejemplo los períodos de traslación de los planetas del sistema solar o sus distancias medias al sol; las cantidades y tipos de nutrientes en una barra de chocolate; la composición de los adelgazantes Nutra Life, o los porcentajes de muertes en los dos pabellones de la maternidad de

Datos son las informaciones, magnitudes, relaciones o testimonios para llegar a la comprobación de un enunciado.

Viena en la época de Semmelweis y las informaciones sobre las distintas personas que atendían a las mujeres en uno y otro pabellón. Cabe señalar que, aunque a veces se piensa en los datos en términos de cifras, magnitudes o porcentajes, hay datos que son informaciones cualitativas no reducibles a números. Por ejemplo, en el caso de las hipótesis de Semmelweis sobre la fiebre puerperal, fue importante compilar una serie de datos numéricos, los porcentajes de muertes en los dos pabellones, pero igualmente importante fue la comparación entre informaciones de carácter cualitativo: que en un pabellón atendían las comadronas y en otro los estudiantes de medicina, que éstos tomaban parte en las disecciones de cadáveres y las comadronas no, o que un pinchazo con un instrumento contaminado en una disección podía resultar mortal. Hemos representado estos datos y la conclusión a la que llegó Semmelweis en el formato propuesto por Toulmin. Véase el cuadro 10:

Cuadro 10. La explicación de Semmelweis en el formato de Toulmin



En el aula a veces resulta útil la distinción entre datos hipotéticos y datos empíricos, y entre datos suministrados en la tarea y datos movilizados o recuperados por el propio alumnado.

En el aula a veces resulta útil la distinción, propuesta por Kelly, Drucker y Chen (1998), entre *datos hipotéticos*, como pueden ser los que se suministran al alumnado en un problema o actividad, por ejemplo la composición de un alimento, y *datos empíricos* obtenidos por los propios estudiantes, por ejemplo la evolución de la temperatura del agua que se está calentando hasta su ebullición. También puede ser interesante distinguir, en la argumentación del alumnado, las referencias a datos *suministrados* en la tarea, por ejemplo la biomasa y producción de distintos niveles tróficos en un ecosistema marino (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2009), de los datos *movilizados* o recuperados por el propio alumnado, ya sea de su conocimiento anterior o de ejemplos elaborados ad hoc para sustentar sus conclusiones.

Hablamos de *prueba* para referirnos a aquello a lo que apelamos con el fin de mostrar que un determinado enunciado es cierto o es falso. Lo que hace que nos refiramos a ello como prueba es su función o papel en la evaluación. Muchos de los datos mencionados antes pueden tener el papel de pruebas, así por ejemplo Semmelweis descartó las causas que se habían propuesto anteriormente sobre las muertes por fiebre puerperal porque su influencia debería haber sido la misma en ambos pabellones, es decir usó como prueba la diferencia en el número y porcentaje de muertes entre uno y otro. Sin embargo, creemos que el hecho de que los estudiantes tomaran parte en las disecciones es un ejemplo de **dato** que no juega el papel de prueba, sino de indicio de dónde buscar las causas. En cambio, el hecho de que las muertes disminuyeran cuando Semmelweis obligó a los estudiantes de medicina a lavarse las manos sí constituyó una prueba a favor de su hipótesis (que transmitían unas «partículas cadavéricas» con las manos contaminadas por las disecciones).

El significado de pruebas y datos es muy semejante, la diferencia radica sobre todo en el contexto de uso, que en las pruebas se refiere a su papel en la evaluación del enunciado.

En resumen, en este libro se utilizan ambos términos, «pruebas» y «datos», aunque su contexto de uso presenta algunas diferencias, pues al hablar de pruebas nos referimos sobre todo a su función.

El papel de las justificaciones

Para el profesorado o la persona experta en un tema, puede parecer a veces que los datos confirman un enunciado y que esto es tan obvio que no necesita explicarse. Sin embargo, comprobamos a menudo que para el alumnado no es así, que tiene dificultades para percibir por qué determinados datos prueban o refutan un enunciado. La *justificación* es, precisamente, el elemento del argumento que relaciona la conclusión o explicación con las pruebas.

Según Toulmin la justificación (*warrant*) responde a la pregunta «¿Cómo hemos llegado hasta aquí» o, en otras palabras, el papel de la justificación es mostrar que «tomando los datos como punto de partida, pasar de ellos al enunciado o conclusión es adecuado y legítimo» (Toulmin, 1958, p. 91).

Podemos ilustrar este papel con un argumento como el de Semmelweis representado en el cuadro 10. Los datos estaban disponibles para otros observadores, sin embargo lo que llevó a Semmelweis a la conclusión de que los estudiantes transmitían con sus manos algo, que llamó «partículas cadavéricas», de los cadáveres a los órganos genitales de las mujeres fue la relación («identidad» en sus propias palabras) que estableció entre las causas de las muertes por fiebre puerperal y por accidentes en las disecciones, es decir la justificación.

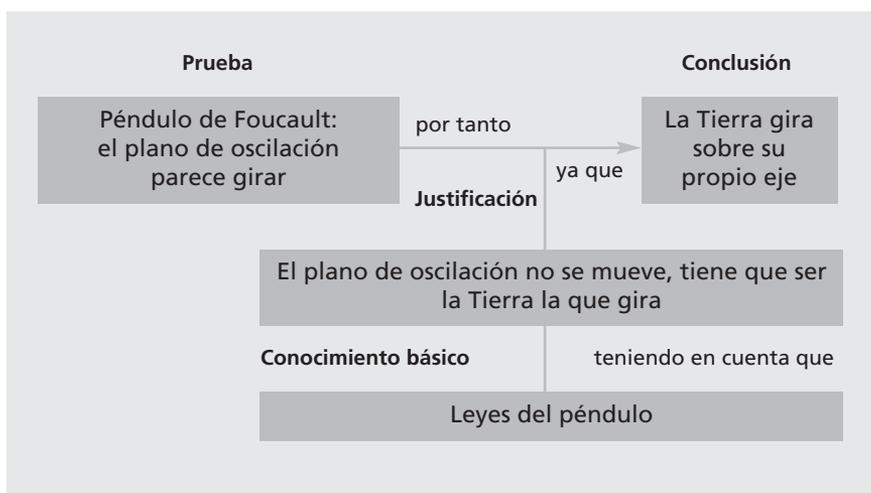
Así como los datos suelen estar explícitos, las justificaciones pueden ser implícitas, sobre todo cuando se trata de algo conocido por todos los interlocutores, un conocimiento compartido que se da por supuesto. En «Las huellas del ladrón» (Díaz de Bustamante y Jiménez Aleixandre, 2008), cuando estudiantes de secundaria deben identificar a qué tipo de tejido celular (entre cuatro opciones) corresponde la muestra que están observando, un alumno utiliza como prueba «Tenía el coso verde» para a continuación concluir que es un tejido vegetal. Aun cuando la justificación no está explícita, puede interpretarse que la conexión entre prueba y conclusión es que hay muchos vegetales de color verde.

La justificación es el elemento del argumento que relaciona la conclusión o explicación con las pruebas.

Así como los datos suelen estar explícitos, las justificaciones pueden ser implícitas, sobre todo cuando se trata de un conocimiento compartido que se da por supuesto.

Aunque algunas justificaciones, como la anterior, se basan en conocimientos compartidos, hay muchas que resultan difíciles de establecer para el alumnado. Un ejemplo es la prueba de que la Tierra gira sobre su propio eje, representada en el cuadro 11.

Cuadro 11. El péndulo de Foucault como prueba de la rotación terrestre



Aunque el alumnado no ponga en duda que la Tierra gira sobre sí misma, le puede resultar difícil dar pruebas. El péndulo de Foucault, reproducido en numerosos museos de ciencias, constituye una prueba clásica de este movimiento de rotación. Sin embargo, lo que observamos es que el plano de oscilación del péndulo parece girar, y en los casos en que hay pilotes colocados en círculo en torno al péndulo, los va derribando. La interpretación de esta observación (que parece mostrar una conclusión distinta de la enunciada) puede resultar problemática para el alumnado. Establecer una conexión entre la prueba y la conclusión de que la Tierra gira sobre su propio eje requiere un conocimiento de las leyes del péndulo, en concreto de que el plano de oscilación se mantiene invariable.

Respaldo teórico, calificadores modales, refutaciones

Al discutir el caso del péndulo de Foucault hemos indicado la necesidad de conocer las leyes del péndulo. Esto es una muestra de que, en muchos argumentos, es necesario sustentar la justificación en lo que llamamos *conocimiento básico*: apelación a conocimientos teóricos o empíricos, a modelos, leyes o teorías que respaldan la justificación. Toulmin denomina a este componente *backing*, que puede traducirse por «respaldo», pero en el marco de la enseñanza de las ciencias preferimos el término de «conocimiento básico» para indicar su conexión con los conceptos y modelos científicos.

Así figura en los argumentos representados en los cuadros 10 y 11 (pp. 73 y 76 respectivamente). En el caso de Semmelweis, el conocimiento básico está formulado en los términos utilizados en aquella época por los defensores del contagionismo: contagio por las «partículas cadavéricas». Hoy día, tras la identificación de las bacterias como agentes infecciosos por parte de Filippo Pacini (aunque suele atribuírsele a Koch), lo expresaríamos como contagio de microorganismos patógenos. En el caso del péndulo de Foucault, el conocimiento básico relevante hace referencia a las leyes del péndulo, en particular a que el plano de oscilación se mantiene invariable.

En argumentos de carácter sociocientífico podemos considerar el conocimiento básico en un sentido más amplio, incluyendo por ejemplo el dominio de valores, como la preservación del ambiente, el valor de mantener intacto un paisaje (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002) o el dominio ético.

Además del respaldo o conocimiento básico, un segundo elemento auxiliar que puede modular el argumento son los *calificadores modales*, que expresan por ejemplo el grado de certeza o incertidumbre de un argumento, u otras condiciones que suponen una modificación del enunciado. Así, «probablemente», «previsiblemente», «depende», «con

El conocimiento básico es la apelación a conocimientos teóricos o empíricos que respaldan la justificación, dándole mayor solidez al argumento.

Los calificadores modales expresan condiciones que suponen una matización del enunciado, como su grado de certeza.

seguridad», «siempre». Por ejemplo, en problemas de genética mendeliana, al predecir las proporciones de genotipos y fenotipos en la descendencia de un cruce de híbridos, como puede ser el ejemplo clásico de los guisantes amarillos y verdes de Mendel, lo correcto es indicar que *probablemente* la descendencia de guisantes amarillos híbridos comprenderá tres cuartas partes de guisantes amarillos y una cuarta parte verdes. Esto es así porque las proporciones en la descendencia se expresan siempre como probabilidades y los datos sólo se acercan a éstas cuando el número es muy grande. Por esta razón una pareja puede tener dos o tres hijos del mismo sexo, aunque en la población total la proporción sea del 50%.

Otro ejemplo de calificador se encuentra en la afirmación de Hugo (seudónimo), alumno de 4.º de educación primaria, acerca de si será posible observar ranas en un diálogo sobre cómo organizar una salida al campo para estudiar una charca (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007):

Yo creo que ranas y renacuajos... vamos a ver, en cierto modo es fácil, y en cierto modo muy difícil... porque ver ranas y renacuajos, vamos a ver un montón, fijo; pero (...) lo que queremos estudiar en nuestro grupo de las ranas y renacuajos, va a ser difícil. Lo que vamos a hacer es verlas, ver ranas y renacuajos, fijo; pero luego estudiar, por ejemplo lo que comen, o como se reproducen, o algo así, va a ser muy difícil.

El calificador aquí es «en cierto modo», que modula la conclusión de que se pueden «ver» ranas, reconociendo dos facetas de la cuestión, la posibilidad de ver ranas y al mismo tiempo la dificultad de observar lo que comen o cómo se reproducen. Esta apreciación de dos aspectos opuestos constituye un indicador de la calidad del razonamiento: no es lo mismo observar individuos (*ranas*) que procesos (*reproducción*).

El tercer elemento auxiliar que puede modificar el argumento tiene que ver con la refutación. Hay que distinguir entre condiciones de re-

La apreciación de dos aspectos opuestos constituye un indicador de la calidad del razonamiento.

futación y refutaciones a las pruebas. Por un lado, lo que Toulmin llama *condiciones de refutación* es el reconocimiento de las restricciones o excepciones que se aplican a la conclusión, circunstancias en que la conclusión no sería válida. Así en el caso del tejido celular discutido en el apartado anterior, podría haber una condición para la refutación: que el color verde se deba a una tinción, por ejemplo con verde de metilo, y no a que el tejido sea vegetal.

Las condiciones de refutación son el reconocimiento de las restricciones o excepciones que se aplican a la conclusión.

Sin embargo, en la actualidad, en los trabajos sobre argumentación, sobre todo en las situaciones en las que se enfrentan dos posiciones opuestas, se entiende por *refutación* la crítica a las pruebas del adversario. Hay que tener en cuenta que no se trata de un simple enunciado oponiéndose a otro, por ejemplo en el caso de Semmelweis «las muertes no se deben a los terremotos ni a la dieta», sino a cuestionar las pruebas que apoyan el enunciado opuesto, es decir, en el caso mencionado, indicar que esos factores afectarían por igual a ambos pabellones. En la última idea clave, que aborda la calidad de la argumentación, discutiremos refutaciones del alumnado en el aula.

Las refutaciones cuestionan las pruebas del enunciado opuesto.

En resumen

Para aprender a argumentar y a usar pruebas lo más importante es practicarlo, sin embargo, puede ser útil trabajar en clase con ejemplos de la estructura de los argumentos y aprender a distinguir sus componentes.

Siguiendo a Toulmin, hay tres elementos esenciales en los argumentos: conclusión, pruebas (o datos) y justificación. La *conclusión* es el enunciado de conocimiento sometido a evaluación. En ciencias experimentales un tipo de conclusiones de gran relevancia son las *explicaciones causales* de fenómenos naturales. Los *datos* son las informaciones, magnitudes o relaciones a los que se apela para comprobar o refutar un enunciado. El significado de pruebas y datos es semejante, la diferencia radica en el contexto de uso, en el papel de las *pruebas* en la evaluación del enunciado. En cuanto a la *justificación*, su papel es poner en relación la

conclusión con las pruebas, mostrar cómo se llega desde los datos a la conclusión o explicación. Las justificaciones pueden estar implícitas, y elaborarlas resulta más difícil para el alumnado que aportar pruebas.

Otros tres elementos de los argumentos que pueden estar o no presentes son el conocimiento básico, los calificadores modales y las refutaciones. El *conocimiento básico* es la apelación a conocimientos teóricos o empíricos que respaldan la justificación, dándole mayor solidez al argumento. *Los calificadores modales* expresan condiciones que suponen una matización del enunciado, como su grado de certeza. Distinguimos entre *condiciones de refutación*, que expresan las circunstancias en las que el enunciado no es válido, y las *refutaciones*, que cuestionan las pruebas aportadas a favor del enunciado opuesto.

Aunque hablamos de elementos esenciales y auxiliares, la presencia de estos últimos es signo de mayor calidad de los argumentos.

Cálculos sobre la edad de la Tierra, distintos tipos de datos

La edad de la Tierra fue muy discutida a lo largo de siglos. Durante años los debates sobre el tema estuvieron dominados por una interpretación literal de la Biblia. El arzobispo Ussher calculó en 1650 las generaciones desde Adán y Eva concluyendo que la Tierra había sido creada el 23 de octubre del año 4004 antes de nuestra era. Cien años después, el naturalista francés Buffon, autor de una historia de la Tierra en la que prescindía del diluvio, propuso una edad de 74000 años, basándose en el ritmo de enfriamiento de una esfera de hierro, por lo que fue condenado por la Facultad de Teología y obligado a retractarse.

En 1770 James Hutton, fundador del uniformismo en geología, observó que la muralla romana de Adriano, construida en el siglo II, apenas había cambiado a lo largo de 1500 años, por lo que propuso que la edad de la Tierra debía ser mucho mayor (sin dar una cifra), para que hubiesen podido tener lugar los lentos procesos de formación y erosión de rocas y relieve.

1. Para cada uno de los tres autores citados, Ussher, Buffon y Hutton, identi-

fica cuál es su conclusión sobre la edad de la Tierra y en qué datos se basa. ¿Puedes proponer la justificación que relacionaría datos y conclusión en uno de los tres casos?

COMENTARIO: puede resultar más fácil para el alumnado identificar la conclusión en el caso de cifras, como Ussher (que supondría unos 6000 años) o Buffon, que la de Hutton. En cuanto a los datos, aunque el alumnado puede considerar que el texto de la Biblia en el que se basó Ussher no constituye un dato, para él sí lo era y forma parte de su argumento.

Las justificaciones suelen ofrecer mayor dificultad: la de Ussher sería la veracidad del texto bíblico. La de Buffon que la Tierra estaría incandescente en el momento de su formación y, estando su interior compuesto entre otros elementos de hierro, tendría un ritmo de enfriamiento similar al de este metal. La justificación de Hutton es la premisa básica del uniformismo, que las leyes físicas y químicas que operan en la naturaleza fueron las mismas en el pasado que ahora, por lo que una roca tardaría en erosionarse lo mismo que las piedras de la muralla de Adriano.

Kelvin frente a Lyell y Darwin

La publicación de los *Principios de Geología* de Lyell, en 1830, y *El origen de las especies* de Darwin, en 1859, volvió a suscitar la cuestión de la edad de la Tierra. Lyell no sugirió una edad determinada, pero sus trabajos mostraban que la formación del relieve y los cambios en las rocas y en los fósiles requerían escalas de tiempo de millones de años. Darwin sugirió varios cientos de millones de años.

En 1862 Thomson (Lord Kelvin, autor de la escala de temperatura que lleva su nombre) criticó esa estimación y realizó unos cálculos apoyándose en la termodinámica. Partía de la suposición de que el Sol era la única fuente de energía (como se creía entonces) y que la Tierra se había enfriado desde su formación (momento en el que sería una masa de magma fundido). Conociendo la temperatura de fusión de las rocas, calculó que la Tierra estaría inicialmente a 3800° C. A partir del gradiente geotérmico, el aumento de 1° C cada 33 m al profundizar en el interior de la Tierra, y de la conductividad de la corteza, llegó a un valor de 100 millones de años, que después redujo a 24. También calculó que hace un millón de años la temperatura sería demasiado alta para permitir la vida.

Estas cifras supusieron (según su propia confesión) un quebradero de cabeza para Darwin. A los precisos cálculos y datos cuantitativos de Thomson, Lyell y Darwin sólo podían oponer razonamientos cualitativos y estimaciones del tiempo necesario para que actuaran los lentos procesos geológicos y biológicos. Tuvieron que pasar algunos años para que el descubrimiento por Marie y Pierre Curie de la desintegración de los elementos radioactivos, que genera energía, echase por tierra uno de los fundamentos de los cálculos de Kelvin. La datación radiométrica permitió calcular la edad de la Tierra en unos 4500 millones de años.

2. ¿En qué datos se basaba Kelvin para su conclusión? ¿En qué datos se basaban Lyell y Darwin? ¿Es siempre un cálculo cuantitativo más preciso que una estimación cualitativa?
3. ¿Puedes identificar alguna condición de refutación para alguno de los dos argumentos anteriores?

COMENTARIO: la identificación de los datos en los que se basaba Kelvin, como la temperatura de fusión de las rocas, el gradiente geotérmico o la conductividad de

la corteza, no ofrece grandes dificultades para el alumnado de bachillerato. Lyell y Darwin se basaban en la lentitud de los cambios, sean geológicos o transformaciones de especies, que requerían mucho tiempo, no en datos numéricos. Es interesante la discusión sobre la mayor fiabilidad que suele atribuirse a los cálculos cuantitativos frente a las estimaciones que, en este caso, eran más acertadas, y

esto puede aprovecharse para poner de manifiesto la diversidad de métodos en diferentes ciencias.

En cuanto a las condiciones de refutación, es precisamente la existencia de otras fuentes de energía (diferentes del Sol) que explican la temperatura actual de la Tierra lo que cuestiona la justificación de Kelvin, que suponía un proceso de enfriamiento continuo desde el origen de la Tierra.



Para saber más...

KEOGH, B.; NAYLOR, S. (2000): *Concept cartoons*. Sandbach. Millgate House Education.

Estos materiales, en formato de cómic, son una imaginativa propuesta para comparar distintas hipótesis y aprender a usar pruebas. Más información en: www.conceptcartoons.com/science/news.htm.

OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; SIMON, S. (2004): *Ideas, Evidence and Argument in Science. In-service Training Pack, Resource Pack and Video*. Londres. Nuffield Foundation.

Materiales del proyecto IDEAS con propuestas para introducir el uso de pruebas y la argumentación en la formación del profesorado.

PUIG, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «¿Qué considera el alumnado que son pruebas de la evolución?». *Alambique*, núm. 62, pp. 43-50.

En este artículo, que forma parte del monográfico sobre evolución de *Alambique*, se analiza lo que el alumnado de bachillerato considera pruebas de la evolución, y sus dificultades para explicar por qué una prueba determinada sustentaba este modelo. Se sugiere la necesidad de que los textos incluyan justificaciones y la de trabajar éstas en el aula.

Los criterios para evaluar pruebas incluyen especificidad, suficiencia, fiabilidad



«Los criterios para evaluar pruebas incluyen especificidad, suficiencia, fiabilidad» y en qué medida la prueba puede interpretarse como apoyando un enunciado más que otro alternativo.

Soy consciente de que los médicos acostumbran a poner el grito en el cielo cuando, en más de doscientas ocasiones, en uno de los cursos de anatomía que doy, ven que Galeno no ha dado la verdadera descripción de las partes del hombre. Fruncen el ceño y examinan con gran detalle la disección, decididos a defenderse. No obstante, movidos por su amor a la verdad, abandonan poco a poco su actitud categórica y comienzan a fiarse más de la eficacia de su vista y de su razón que de los escritos de Galeno.

(Vesalio, 1543)

¿Qué criterios se deben utilizar para decidir sobre las pruebas?

Se ha discutido en las anteriores ideas clave el papel de las pruebas en la evaluación del conocimiento y la importancia de aprender a usarlas en la argumentación. Las pruebas tienen una función en la confirmación o refutación de enunciados, pero es importante abordar también cómo

se evalúan las propias pruebas, en otras palabras, qué criterios utilizar para decidir su peso en la evaluación, como la fiabilidad de una prueba, su relación con la afirmación que se quiere probar o la suficiencia de una prueba o conjunto de pruebas. Por ejemplo, cuando se presentan nuevas ideas o resultados en un artículo científico, la revista decide sobre su publicación valorando aspectos como si las pruebas son sólidas, si resultan suficientes para sustentar las conclusiones o si se podrían interpretar de otra manera. En la clase de ciencias la apropiación por parte del alumnado de los criterios de evaluación forma parte del desarrollo de la competencia argumentativa.

Algunas de las preguntas que nos podemos hacer sobre esta evaluación de las pruebas son por ejemplo: ¿tiene relación la prueba con la conclusión sometida a examen? ¿Es fiable esta prueba? En un conjunto dado de pruebas, ¿son algunas más sólidas que otras? ¿En qué medida un conjunto de pruebas apoya mejor un enunciado o una teoría que una prueba aislada? ¿Puede interpretarse una prueba de distintas formas?

Por ejemplo, hoy día consideramos que los datos recogidos por Mendel en su trabajo sobre los caracteres hereditarios en el guisante prueban que las distintas formas (o alelos) de los genes (que Mendel llamó «factores») no se mezclan en la descendencia, sino que se transmiten por separado, lo que se denomina modelo particulado o discontinuo de la herencia biológica (al contrario que otros modelos continuos de fusión de «factores»). Consideramos también que los experimentos de Mendel constituyen una prueba de que los descendientes heredan estos genes de ambos progenitores, no sólo de uno como proponían autores anteriores, y de que las proporciones de distintos tipos, expresadas como probabilidades (colores, tamaño, etc.) en la descendencia de híbridos son regulares, pues dependen de las combinaciones posibles entre los alelos. En otras palabras, hoy creemos que estos experimentos son una prueba relacionada con la cuestión sometida a examen, según Mendel: si existe o no una ley que regule la reproducción de los híbridos. Esta cuestión se relaciona con otra más teórica, si las especies se alteran y dejan de ser estables por efecto del cultivo, creencia que Mendel critica. Sin embargo, debido a distintos motivos, como la falta de formación estadística o los escasos contactos de Mendel con la elite científica de su época, estos experimentos no fueron considerados pertinentes para la cuestión de los mecanismos de la herencia y fueron ignorados durante cuarenta años (Jiménez Aleixandre y Fernández Pérez, 1987).

Un ejemplo de cómo un conjunto de pruebas de distinto carácter apoya una teoría es la tectónica de placas, que explica la estructura de la litosfera, la formación de montañas y la distribución de volcanes y terremotos, entre otros fenómenos, por la estructura en placas que

experimentan desplazamientos e interacciones. Algunas pruebas que la apoyan son los contornos de los continentes (por ejemplo Sudamérica y África) que podrían encajar, correspondiéndose no sólo por su forma, sino también en cuanto a tipos de rocas y cadenas montañosas; la mayor antigüedad de los materiales del fondo marino cuanto más lejos están de las dorsales, que prueban la expansión del fondo oceánico, es decir la formación de nueva corteza en el fondo de los océanos, o la distribución de terremotos y volcanes en ciertas zonas de la Tierra y no en otras. En 1974 los geofísicos italianos Proverbio y Quesada mostraron que los continentes euroasiático y americano se separan unos centímetros cada año. También el conjunto de pruebas que sustentan la teoría de la evolución es muy variado.

En esta idea clave se abordan las preguntas sobre la evaluación de pruebas presentadas más arriba o, en otras palabras, los criterios que nos llevan a decidir sobre las pruebas.

¿Por qué es importante que una prueba sea específica?

Una primera pregunta que cabe hacerse sobre las pruebas es si tienen relación con la conclusión sometida a examen. Esto puede contemplarse desde varios ángulos, por una parte en cuanto a la **validez** y por otra en cuanto a la **especificidad**. La validez se aplica sobre todo a los instrumentos de valoración o medida (sean físicos o protocolos, cuestionarios, etc.), y decimos que un examen o medida es válido si mide aquello que pretende medir. Por ejemplo hay muchas personas (yo entre ellas) que son escépticas respecto a la validez de los cuestionarios escritos que usan preguntas directas para medir actitudes, como pueden ser los que preguntan por las preferencias entre campo o ciudad, o por el interés por animales o plantas, con el objetivo de evaluar actitudes ambientales. En esos cuestionarios directos una persona puede contestar aquello que cree que le gustaría al evaluador más que aquello que realmente siente. Un ejemplo de otro tipo son las medidas del colesterol en sangre, que hoy día se realizan discriminando entre el colesterol de alta y baja densidad (respectivamente HDL, llamado «bueno», y LDL, llamado «malo»), pues

La validez se aplica sobre todo a los instrumentos de valoración o medida, y decimos que un examen o medida es válido si mide aquello que pretende medir.

el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares está relacionado sobre todo con los altos niveles de LDL y bajos de HDL. Medir el colesterol total no da por tanto indicaciones suficientes (válidas) sobre este riesgo.

Un criterio importante para evaluar esta relación entre prueba y conclusión es su especificidad. Como se pone de manifiesto en la actividad sobre los restos de Copérnico que se discute más adelante, hay algunos datos que sólo indican que la conclusión es compatible con ellos, mientras que otros sustentan la conclusión de forma *específica*.

Hay algunos datos que sólo indican que la conclusión es compatible con ellos, mientras que otros sustentan la conclusión de forma específica.

Un ejemplo puede ser el debate sobre la relación entre fumar y el cáncer de pulmón. Aunque había sido sugerida por el investigador alemán Müller en 1939, no se le prestó mucha atención, pues este cáncer se atribuía a la contaminación del aire, en concreto la producida por partículas desprendidas del asfalto. En 1947-48, casi al mismo tiempo, un equipo inglés dirigido por Doll y Hill (1950) inició un extenso estudio para examinar si el cáncer de pulmón tenía relación con el consumo de tabaco, y Ernst Wynder, estudiante de primer curso de medicina en Estados Unidos, tras observar en una autopsia de un hombre muerto por cáncer de pulmón que los pulmones estaban negros, inició otro similar. Ambos estudios mostraban que la proporción de fumadores era más elevada entre los enfermos de cáncer de pulmón que entre otros pacientes. Las compañías tabaqueras fundaron un consorcio de investigación e intentaron sembrar dudas sobre estos estudios, señalando que la correlación entre ambos factores no era prueba de una relación causal, sino que podían estar asociados a otros, como la contaminación atmosférica. La pregunta sería: ¿es el alto número de fumadores entre los enfermos de cáncer de pulmón una prueba específica de la influencia de fumar en este cáncer? Las tabaqueras invirtieron mucho dinero en intentar persuadir a la opinión pública de que la respuesta era negativa y de que se trataba de coincidencias. Veinte años después, estudios en ratones mostraron que distintas sustancias presentes en el humo del tabaco (a las que a veces nos referimos genéricamente como

«alquitrán») tenían efectos carcinógenos. De nuevo las tabaqueras alegaron que esas pruebas no eran específicas, pues se trataba de estudios en ratones, una especie distinta de los seres humanos. En 1998 un estudio mostró que el benzopireno, presente en el humo del tabaco, inactiva el gen supresor p53, que ejerce un papel de detección de errores en el ADN. El gen p53 está inactivado en la mayoría de los cánceres más comunes.

Pruebas suficientes, fiabilidad de las pruebas

¿Cuándo decimos que una prueba o un conjunto de pruebas es suficiente para probar o refutar una teoría? ¿En qué medida un conjunto de pruebas apoya mejor un enunciado que una prueba aislada?

En líneas anteriores se mencionan algunas pruebas que sustentan el modelo de tectónica de placas. Si repasamos algunas teorías y explicaciones causales ya citadas, como el modelo geocéntrico, las causas de las infecciones, la combustión como combinación de un cuerpo con oxígeno, las causas de las úlceras de estómago, la evolución, la herencia biológica o la relación entre fumar y el cáncer de pulmón, veremos que en la mayoría de los casos se sustentan en un conjunto de pruebas más que en una sola. Otras como el modelo estándar de física de partículas, que describe las interacciones fundamentales entre las partículas elementales, también han visto confirmadas las predicciones sobre la existencia de algunas de estas partículas y su comportamiento por series de pruebas, como las realizadas en el LEP (*Large Electron-Positron Collider* o acelerador de partículas) del CERN.

Es cierto que también hay algunos experimentos (llamados experimentos cruciales) que han jugado un papel importante en la confirmación o refutación de una teoría. Así la síntesis de la urea, un compuesto orgánico, a partir de compuestos inorgánicos, realizada por Wöhler y citada en la idea clave 3, mostró que no hay una diferencia

Se puede decir que la mayoría de las grandes teorías y modelos científicos se sustentan en un amplio conjunto de pruebas y confirmaciones de predicciones más que en un solo experimento crucial.

esencial entre materia orgánica e inorgánica, sino que ambas están formadas por los mismos elementos, colaborando en descartar la idea de una «fuerza vital» propia de la primera. El péndulo de Foucault proporcionó una prueba de la rotación terrestre. Torricelli mostró que la atmósfera ejerce una presión sobre los cuerpos y que a nivel del mar es de 760 mm de mercurio (una atmósfera). Galileo realizó experimentos para mostrar que, en ausencia de resistencia del aire, todos los cuerpos caen con la misma aceleración uniforme, por ejemplo un huevo de gallina y uno de mármol, rebatiendo así a Aristóteles que (como parte del alumnado) creía que los objetos pesados caían más rápidamente que los ligeros. Sin embargo, estos experimentos no pudieron realizarse en ausencia de aire, por no ser posible en su época crear condiciones de vacío. Un experimento adicional realizado en la Luna (que carece de atmósfera) en 1971 mostró que un martillo y una pluma soltados al mismo tiempo llegaban a la superficie simultáneamente. Otro experimento célebre es el de las esferas de Magdeburgo, realizado por Von Guericke, quien mostró la existencia del vacío y la ausencia de presión en él, a diferencia de la ejercida por la atmósfera, probando que dieciséis caballos (ocho por cada lado) tirando de dos semiesferas adosadas de 37 cm de diámetro, en cuyo interior se había hecho el vacío, no eran capaces de separarlas (experimento ilustrado en la portada de la revista *Enseñanza de las Ciencias*).

La comunidad científica decide cuándo una prueba o conjunto de pruebas son suficientes, y en este proceso la discusión de las interpretaciones alternativas juega un importante papel.

En general se puede decir que la mayoría de las grandes teorías y modelos científicos se sustentan en un amplio conjunto de pruebas y confirmaciones de predicciones, más que en un solo experimento crucial. La comunidad científica, a través de procesos sociales de comunicación y utilizando los conocimientos generados en aplicaciones tecnológicas, decide cuándo una prueba o conjunto de pruebas son suficientes. En este proceso la discusión de las interpretaciones alternativas, a las que nos referimos más adelante, juega un importante papel. Al decidir sobre las pruebas, otra cuestión que hay que tener en cuenta

es su fiabilidad, que en general se puede definir como la probabilidad de que la prueba apoye la conclusión. En exámenes o cuestionarios, la fiabilidad se refiere a la consistencia del instrumento en cuanto a proporcionar resultados estables, y se mide comparando la prueba con otra o consigo misma. Si las categorías de corrección son cualitativas (como en estudios educativos), la fiabilidad se mide por la consistencia *intraevaluadores* (si la misma persona atribuye las mismas categorías en momentos distintos) e *interevaluadores* (el grado de consenso entre dos o más personas). En muchos casos la fiabilidad se expresa en términos estadísticos.

La fiabilidad se refiere a la consistencia del instrumento en cuanto a proporcionar resultados estables, y se mide comparando la prueba con otra o consigo misma.

Examen de las interpretaciones alternativas de las pruebas

Las pruebas y datos se interpretan siempre a través de los «lentes» de una determinada teoría. Así Boyle realizó experimentos sobre la combustión y en 1660 demostró la necesidad del aire para que tuviera lugar. En esa época la teoría dominante era la del flogisto, que suponía la existencia de un principio en los cuerpos combustibles, capaz de transformarse en «materia del fuego» por la acción de altas temperaturas. Los metales calentados perderían este principio, convirtiéndose en cales, y bastaría añadirles flogisto para reconstituirlos de nuevo. Boyle observó que los metales ganaban peso durante la calcinación y explicó este aumento de peso por la «fijación de la materia del fuego». Aunque la ley de conservación de la masa se atribuye a Lavoisier, unos veinte años antes, en 1753, Mijail Lomonósov repitió los experimentos de Boyle y concluyó que la teoría del flogisto era falsa:

Las pruebas y datos se interpretan siempre a través de los lentes de una determinada teoría.

He hecho un experimento en una vasija hermética de vidrio para determinar si la masa de los metales aumenta sólo por la acción del fuego. El experimento ha mostrado que el famoso Robert Boyle estaba confundido, ya que sin acceso del aire exterior, la masa del metal quemado sigue siendo la misma. (Lomonósov citado en Menshutkin, 1952)

Lavoisier calcinó estaño en un recipiente herméticamente cerrado y comprobó que el peso total no había variado. Aunque el peso de la «cal de estaño» era mayor, este aumento se compensaba por la pérdida de peso del aire contenido en la vasija. Lavoisier propuso una nueva interpretación: que la calcinación consistía en la combinación del metal con una parte del aire, que (más tarde) llamó oxígeno. El metal pasaba a interpretarse como un cuerpo simple y la cal metálica como un compuesto, al contrario que con la teoría del flogisto. En los mismos años, Priestley había logrado obtener oxígeno, al que llamó «aire flogistizado» mientras que el nitrógeno sería «aire desflogistizado».

Otros ejemplos de interpretaciones opuestas de los mismos datos: Wöhler escribió que pudo sintetizar urea porque los reactantes inorgánicos no habían perdido el carácter orgánico, noción influenciada por el vitalismo y opuesta a la interpretación actual de su experimento como refutación del vitalismo. Los ornitorrincos (mamíferos ovíparos) fueron objeto de discusión durante años, pues naturalistas como Richard Owen se resistían a aceptar la existencia de mamíferos que ponían huevos y sostenían que eran ovovivíparos. En 1864 un ornitorrinco cautivo puso dos huevos, pero esto fue explicado por Owen como que el animal había abortado debido al estrés de la cautividad.

Estos ejemplos pueden ser útiles para discutirlos con el alumnado, que generalmente experimenta dificultades para tener en cuenta que unos datos pueden ser objeto de varias interpretaciones posibles, que no «hablan por sí mismos». Que una prueba pueda tener varias interpretaciones permite que el conocimiento cambie, no sólo con nuevas pruebas, sino con nuevas teorías que llevan a interpretaciones distintas. La discusión de interpretaciones alternativas cobra importancia también cuando se discute la correlación entre dos variables, como puede ser la alta proporción de fumadores entre los enfermos de cáncer de pulmón. La existencia de correlación no indica una relación causa-efecto,

La discusión de interpretaciones alternativas cobra importancia también cuando se discute la correlación entre dos variables.

pues puede ocurrir que A sea causa de B, B de A, o ambos de un tercer factor no estudiado.

Cabe señalar que el hecho de que unos datos o experimentos puedan interpretarse de varias formas no indica que todas ellas sean igualmente válidas. El ajuste o coordinación entre pruebas y modelos teóricos es precisamente el proceso más relevante para construir y evaluar conocimientos científicos, seleccionando el que mejor interpreta los datos, como se aborda en la siguiente idea clave.

El ajuste o coordinación entre pruebas y modelos teóricos es el proceso más relevante para construir y evaluar conocimientos científicos, seleccionando el que mejor interpreta los datos.

En resumen

El papel de las pruebas en la evaluación del conocimiento requiere que cumplan a su vez unos criterios que nos permitan evaluarlas, como su suficiencia, fiabilidad y especificidad, o que tengan relación con el enunciado en cuestión. Algunas de las preguntas relevantes sobre la evaluación de las pruebas son por ejemplo: ¿tiene relación la prueba con la conclusión sometida a examen? En un conjunto dado de pruebas, ¿son algunas más sólidas que otras? ¿En qué medida un conjunto de pruebas apoya mejor un enunciado o una teoría que una prueba aislada? ¿Es fiable esta prueba? ¿Puede interpretarse una prueba de distintas formas?

En primer lugar es deseable que una prueba sea específica, es decir que se relacione con un problema o fenómeno, que sea propia de él, pues tendrá más peso que una prueba general, compatible con un enunciado, pero tal vez también con otros. En segundo lugar, en cuanto a la suficiencia, la mayoría de los modelos científicos se sustentan en un amplio conjunto de pruebas más que en una sola, aun cuando ha habido experimentos que han resultado cruciales para una cuestión determinada. Otros criterios que hay que tener en cuenta son su validez y fiabilidad.

Las pruebas no siempre se interpretan de la misma forma, sino que, dependiendo de la teoría desde la que se contemplen, pueden explicarse de maneras alternativas, aunque esto no significa que todas las interpretaciones sean igualmente válidas. El conocimiento puede cambiar al aparecer nuevas pruebas o nuevas teorías que lleven a otra interpretación.

¿Pertenece a Copérnico estos restos?

El astrónomo Nicolás Copérnico (1473–1543) articuló la idea de que la Tierra giraba alrededor del Sol y no al revés recopilando datos que la apoyaban. Copérnico vivió los últimos años de su vida en Frombork (Polonia), donde murió a los 70 años. En el siglo xvii, durante una invasión de Polonia por Suecia, parte de su biblioteca fue llevada a este país, y hoy se encuentra en Upsala. Se decía que había sido enterrado en la catedral de Frombork, pero allí no hay ninguna tumba con su nombre (lo que en esa época no era raro). Durante muchos años arqueólogos de distintos países buscaron en vano sus restos.

En agosto de 2005 un equipo dirigido por Jerzy Gassowski encontró bajo el suelo de la catedral de Frombork, cerca de un altar, unos restos que atribuyeron a Copérnico: un cráneo, vértebras, un fémur y algunos dientes. La identificación inicial se basó en semejanzas entre el cráneo y retratos de Copérnico, como la nariz rota y una cicatriz sobre el ojo izquierdo.

Estudios forenses del cráneo indicaron que correspondía a un hombre de unos 70 años. El laboratorio forense de la policía de Polonia lo utilizó para hacer una reconstrucción informática del rostro del

hombre al que perteneció, que resultó semejante a los retratos de Copérnico (puede verse en: <http://news.bbc.co.uk/2/1/hileurope/7740908.stm>).

La experta sueca en genética Marie Allen analizó ADN extraído de un diente de ese cráneo, una vértebra y un fémur. Para compararlo, se localizaron, entre las páginas del libro *Calendarium Romanum Magnum* (que perteneció a Copérnico y ahora está en Upsala), cuatro cabellos. Este análisis del ADN permitió comprobar, en noviembre de 2008, que dos de esos cabellos, el diente y los huesos pertenecían a la misma persona.

Estos datos aparecieron en la prensa con titulares como: «El ADN confirma que los restos encontrados en 2005 son los de Copérnico», «Un esqueleto del siglo xvi identificado como el astrónomo Copérnico» o «Finaliza la búsqueda de la tumba del astrólogo Copérnico que ha durado dos siglos» (es un error, pues ser astrónomo y ser astrólogo no es lo mismo).

1. ¿Consideras que las pruebas son *suficientes* para identificar con Copérnico los restos encontrados? ¿Sería suficiente disponer únicamente de una o dos de ellas? Explícalo.

2. Haz una lista de todas las pruebas que se citan para identificar los restos, y ordénalas de más *específicas* (prueban que los restos son precisamente de Copérnico) a menos específicas (que sea alguien de su época o que comparta otras características con él). Justifícalo.
3. Ordena la lista de mayor a menor *fiabilidad*, es decir de la prueba que te parezca más convincente a la que te lo parezca menos. Explica por qué.
4. Piensa si para alguna o varias de esas pruebas habría una *explicación alternativa* a la propuesta (que el cráneo y los huesos pertenecen a Copérnico). Si alguna no prueba que el cuerpo es de Copérnico, ¿qué es lo que prueba?

COMENTARIOS: el *criterio de suficiencia* (punto 1) pone de manifiesto que algunas pruebas pueden apuntar en una dirección sin llegar a ser suficientes, como las mencionadas en 2005: nariz rota y cicatriz sobre el ojo. Esto es apuntado al utilizar la tarea en formación del profesorado. Es interesante discutir que si bien una sola no

sería suficiente, la acumulación de las dos (o más) incrementa la fiabilidad, al ser menos probable que coincidan. Que los restos sean de un varón es poco **específico**, pero forma parte del conjunto. Tampoco es muy específica, mas conviene tener en cuenta que en las catedrales (y cerca del altar) no se enterraba a cualquiera, sino únicamente a personajes ilustres. Es importante discutir explícitamente que, siendo alguna prueba poco relevante por separado, la acumulación otorga más fiabilidad a la conclusión.

La *especificidad* (punto 2), es decir que la prueba en cuestión se relacione con la conclusión examinada, es otro criterio importante en la selección de pruebas. En el texto aparecen siete pruebas, y un posible orden podría ser:

- Prueba de ADN.
- (a y b) Cicatriz sobre el ojo / nariz rota.
- Reconstrucción informática.
- Tumba en la catedral.
- Edad de 70 años.
- Varón (está implícito).

Aunque en algunos casos las pruebas más específicas (entre otras cosas por serlo) son las más fiables, en otros no es así. Puede mantenerse que el sexo masculino o la edad sólo prueban estrictamente que

la persona era un varón y que murió a los 70 años.

Una posible ordenación (punto 3) de mayor a menor fiabilidad (además de otras) podría ser:

- Prueba de ADN.
- (a y b) Cicatriz sobre el ojo / nariz rota.
- Edad de 70 años.
- Reconstrucción informática
- Varón.
- Tumba en la catedral.

La fiabilidad indica la probabilidad, según la prueba, de que los restos sean de Copérnico. Las pruebas de ADN tienen una fiabilidad superior al 99%. En cuanto a la cicatriz y la nariz rota, algunos estudiantes consideran una más fiable y otros otra; no prueban la identificación, sólo que es posible que los restos sean de Copérnico. La edad de 70

años tampoco prueba la identificación, sino que es compatible con las pruebas (una edad de 40 no lo sería). Algunos estudiantes indican que la reconstrucción informática no es tan fiable, al ser realizada conociendo los retratos del astrónomo, a diferencia de las policiales («retratos robot»).

Es importante que el alumnado tenga en cuenta que una prueba puede tener varias interpretaciones posibles (punto 4): por ejemplo, la del ADN muestra que los cabellos y el diente son de la misma persona, pero no que sean Copérnico, y podría explicarse porque esos libros los manejara también otra gente (como muestra que sólo dos de los cuatro cabellos correspondiesen a la misma persona que el diente). Esta otra persona sería también alguien ilustre, de ahí que fuese enterrado en la catedral.



Para saber más...

BRAVO, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura». *Congreso de Enseñanza de las Ciencias* (Barcelona, 7-10 septiembre). Barcelona. Universidad Autónoma de Barcelona.

En este trabajo se analiza el uso de pruebas suministradas en un texto por parte de alumnado universitario al que se pidió que comparase la eficiencia ecológica de comer sardinas o salmón, examinando la influencia de dos tareas de aprendizaje distintas en la resolución del problema por parte del alumnado.

KENYON, L.; KUHN, L.; REISER, B.J. (2006): «Using students' epistemologies of science to guide the practice of argumentation», en BARAB, S.A.; HAY, K.E.; HICKEY, T.D. (eds.): *Proceedings of the 7th International Conference of the Learning Sciences*. Mahwah, NJ. Lawrence Erlbaum, pp. 321-327. También disponible en: <<http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1150034.1150081>>.

En este artículo se discute cómo guiar la práctica de la argumentación del alumnado con un enfoque basado en perspectivas actuales sobre la naturaleza de la ciencia. Uno de los aspectos abordados es el desarrollo de criterios para evaluar pruebas.

MARBÁ, A.; MÁRQUEZ, C., SANMARTÍ, N. (2009): «¿Qué implica leer en clase de ciencias?». *Alambique*, núm. 59, pp. 102-111.

En este artículo sobre el papel de la lectura en la clase de ciencias, se presentan varias actividades para ayudar a aprender ciencias a partir de textos. Entre ellas se incluye una evaluación de publicidad sobre una crema anticelulítica, que implica la discusión de las pruebas que confirmarían la publicidad.

Los argumentos sobre modelos pretenden identificar relaciones causa-efecto



«Los argumentos sobre modelos pretenden identificar relaciones causa-efecto» en las explicaciones e interpretaciones sobre fenómenos físicos y naturales.

El mundo parece tan distinto después de aprender ciencias. Por ejemplo los árboles están hechos básicamente de aire. Cuando se queman vuelven al aire y en el calor de las llamas se libera el ardiente calor del sol que fue aprisionado para convertir el aire en árbol; y en la ceniza están los escasos restos de la parte que procedía de la tierra sólida.

(Feynman, 1969)

¿Qué objetivos caracterizan la argumentación sobre modelos explicativos?

La argumentación es la evaluación del conocimiento a partir de las pruebas disponibles, que puede tener lugar en distintos contextos: teóricos, empíricos, elección de modelos explicativos, toma de decisiones, confirmación de predicciones o evaluación crítica de enunciados, entre otros. De ellos nos interesa especialmente la evaluación de modelos explicativos, de explicaciones causales, es decir argumentos que requieren un conocimiento de la cuestión sometida a examen, Toulmin los llama *substantivos*. En estos contextos interaccionan el uso de pruebas para evaluar el conocimiento (la competencia en usar pruebas) y el aprendizaje de las ciencias (la alfabetización científica).

La argumentación sobre modelos explicativos puede consistir en comparar la capacidad explicativa de distintos modelos que compiten por explicar un fenómeno (Duschl, 1997). Un ejemplo diseñado por Duschl (1995) es la comparación de hipótesis sobre las causas de los terremotos a partir del trabajo con mapas y datos reales de actividad sísmica. En otro trabajo (Jiménez Aleixandre, 1996) se compara la capacidad explicativa de distintas hipótesis sobre la herencia biológica. Esta práctica de evaluar modelos coordinándolos con pruebas está estrechamente relacionada con la construcción y revisión de modelos por parte del alumnado que persigue la apropiación y uso de modelos científicos, es decir que explique fenómenos como el aumento de volumen del aire al calentarlo, la difusión del olor de un perfume mediante el modelo de partículas o la formación de la madera de los árboles mediante la fotosíntesis. En la cita de Feynman se dice de forma literaria que los árboles están hechos de aire. Entender que el CO₂ es un componente esencial en la síntesis de materia orgánica que realizan las plantas verdes supone descartar otras ideas alternativas, como que las plantas se nutren sobre todo de la tierra de las macetas o que para crecer necesitan sólo agua. Otro contexto de argumentación sobre explicaciones lo constituyen las tareas en las que se solicita al alumnado que, a partir del análisis de datos, identifique las causas de un fenómeno, como las diferencias de color entre los pollitos nacidos en granjas y en libertad (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000) o la supervivencia de unos pinzones y la muerte de otros (Reiser, 2010).

¿Qué entendemos por modelo? Tomamos la definición del equipo dirigido por Brian Reiser, que en un trabajo reciente (Schwarz y otros, 2009) definen *modelo científico* como representación abstracta y simplificada de un sistema que hace visibles sus rasgos clave y puede usarse para explicar y predecir fenómenos científicos. En este mismo trabajo definen *modelización científica* (*modeling*, a veces traducida como «modelaje») como una práctica de la ciencia que comprende elementos o desempeños de la práctica, como construir, usar, revisar y evaluar modelos, y el metacognocimiento que guía la práctica, es decir el conocimiento sobre la naturaleza y función de los modelos. La construcción, revisión y evaluación de modelos son prácticas centrales en el trabajo científico, y han llevado a establecer modelos como el de partículas, el de selección natural, el de tectónica de placas o el de flujo de energía y ciclo de materia en los ecosistemas.

Se trata de que el alumnado utilice modelos, pero no sólo como «consumidores» de conocimiento científico (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002; Reiser, 2010), sino participando en la modelización, desarrollando modelos, contrastándolos con pruebas y experimentos, revisándolos a la luz de las pruebas. El objetivo esencial de la argumentación en este contexto es la participación del

alumnado en las prácticas científicas de **modelizar**, en el sentido de construir, evaluar y revisar modelos, y de argumentar. Un aspecto central en los modelos científicos son los mecanismos causales o relaciones causa-efecto, por lo que la argumentación se centra en muchos casos en identificar las causas de un fenómeno.

Las explicaciones causales en ciencias y en el aprendizaje de las ciencias

Aunque no es fácil resumir en unas frases lo esencial del trabajo científico, podemos decir que la ciencia se caracteriza por partir de preguntas, de *problemas* sin resolver, sean de carácter aparentemente más práctico, por ejemplo, ¿cómo aprovechar de forma más eficiente una fuente de energía? o ¿cómo enfrentarnos a una epidemia?, o más teórico, por ejemplo, ¿cuál es el origen de las montañas? Decimos «aparentemente» porque muchos problemas que parecen prácticos, como el de las epidemias, requieren la interacción con conceptos teóricos para su resolución, y viceversa, trabajos que en su origen parecían especulativos, como la genética mendeliana, han originado multitud de aplicaciones.

Sin embargo, un problema de la enseñanza de las ciencias es que frecuentemente se presentan los conceptos y teorías como conclusiones, de forma que a veces es difícil identificar qué problema trataban de resolver científicos como Darwin (el origen de las diversas especies) o Lavoisier (el aumento aparente de masa en los productos de algunas reacciones de oxidación). En muchos casos lo que se pretende es identificar la causa o conjunto de causas que explican un fenómeno: el mecanismo por el que unas especies cambian y originan otras, en un caso, explicación sintetizada en el modelo de selección natural; la combinación con el oxígeno del aire, que perdía masa en la misma medida que aumentaba la del metal al oxidarse, en el otro, sintetizada en la ley de conservación de la masa. Una actividad como la que proponemos a con-

El conocimiento científico se genera a partir de preguntas o problemas, tratando de identificar las causas de un fenómeno determinado mediante preguntas, recogida de datos, identificación de pautas y propuesta de explicaciones.

tinuación puede ayudar al alumnado a comprender el proceso de elaboración y evaluación de una explicación causal sobre un fenómeno inexplicable a primera vista.

¿Por qué está embrujado el laboratorio?: el fantasma en la máquina

A finales de los noventa Vic Tandy, un ingeniero experto en diseño de aparatos médicos, trabajaba en un laboratorio compuesto por dos largas naves adosadas. Se decía que el laboratorio estaba embrujado, pues a veces se veían sombras grises que desaparecían al volverse, y algunas personas sentían escalofríos. Una noche en que Tandy estaba trabajando solo sintió un sudor frío y vio una sombra gris con el rabillo del ojo. Se le puso la carne de gallina, pero al mirarla de frente, la aparición se desvaneció.

1. ¿Cuál de estas hipótesis te parece más adecuada para explicar esto?
 - a) Tandy estaba agotado por trabajar a deshora y tuvo alucinaciones.
 - b) Hay fenómenos para los que la ciencia no tiene explicación y hay que buscarla en otros dominios, como la parapsicología.
 - c) Debe de haber una explicación científica, aunque él no fuera capaz de encontrarla.

Al día siguiente Tandy tenía que participar en una competición de esgrima y llevó su florete al laboratorio para repararlo. Lo sujetó en un torno y fue a buscar aceite lubricante. Cuando volvió, la hoja del florete vibraba con fuerza, sin que hubiese nada a la vista que pudiese producir la vibración. Aunque sintió temor, Tandy decidió que la hoja vibraba debido a alguna fuente de energía, y sus conocimientos de física le llevaron a pensar que podían ser ondas sonoras que entraran en resonancia con ella. Pensó en el comportamiento del sonido en tubos largos y habitaciones largas y estrechas como su laboratorio (9 x 3 metros) y comenzó un experimento moviendo el florete de sitio y comprobando que la vibración era más fuerte precisamente en su banco de trabajo, situado en el centro. Concluyó que en el laboratorio había una onda estacionaria de baja frecuencia, un infrasonido, que no se

puede percibir por el oído humano, al tener una frecuencia menor de 20 Hz. Esta onda, que según calculó sería de 19 Hz, era reflejada por las paredes de los extremos del laboratorio, alcanzando su máximo nivel precisamente en el centro.

Como indican Tandy y Lawrence (1998) esto plantea dos cuestiones: ¿cuál es la fuente de energía que produce el sonido? y ¿qué efecto tiene una onda estacionaria de 19 Hz en un ser humano? Sobre la primera cuestión, después de preguntar a los técnicos, fue informado de la instalación de un nuevo extractor en un extremo del laboratorio. Al desconectarlo la onda estacionaria desapareció.

La segunda cuestión se resolvió consultando libros sobre acústica e infrasonidos, en los que se informaba de que los infrasonidos pueden afectar a distintos órganos, por ejemplo: al oído interno, causando vértigo, náuseas y malestar general; al cuerpo en conjunto, originando hiperventilación, o a los globos oculares, originando visión borrosa, que podría llevar a ilusiones ópticas como la aparición de una «sombra». Tandy publicó estos resultados en un artículo, Tandy y Lawrence (1998), y continuó examinando lugares «encantados», especialmente túneles y corredores, hasta su muerte, acaecida en 2005.

2. Trata de identificar las relaciones causa-efecto a las que Tandy dio una explicación. ¿Están todas sustentadas en pruebas o alguna es una hipótesis?

COMENTARIO: respecto al punto 1, cabe señalar que Tandy atribuyó lo ocurrido a la explicación *a* (cansancio), pero que la explicación *b* se oye en los medios de comunicación por parte de parapsicólogos, astrólogos y otras personas que defienden pseudociencias.

En cuanto al punto 2, Tandy proporcionó dos explicaciones causales partiendo del mismo fenómeno. Por un lado la causa de la vibración del florete, debido al infrasonido (y el origen de éste en el extractor). Por otro, esto le llevó a hacerse una segunda pregunta, implícita en el artículo: si el infrasonido podía tener relación con las visiones de sombras, los escalofríos, etc., es decir si sus efectos en el cuerpo humano explican los fenómenos supuestamente «paranormales». Aunque al alumnado puede costarle trabajo distinguir entre la relación con las pruebas de una y

otra, es interesante hacer notar que sólo la primera fue comprobada experimentalmente, mientras que las relaciones entre el infrasonido y las visiones y escalofríos son una inferencia a partir de su efecto en otros contextos (aunque al final del artículo, en un párrafo no resumido, se indica que al cambiar el extractor «el fantasma se fue»).

Al ser el trabajo original un breve artículo de cuatro páginas, proponemos su análisis por parte del alumnado para identificar preguntas, datos, experimentos realizados, interpretaciones, interacción con las teorías (acústica) y con la experiencia previa, conclusiones y su relación con las pruebas e implicaciones.

Proponemos trabajar la argumentación como parte de las clases de ciencias, por lo que en RODA las actividades para promoverla están integradas en unidades sobre genética, ecología, usos de la energía, etc. que no es posible reproducir aquí; algunas se encuentran en la web del proyecto (www.rodasc.eu). Actividades como la propuesta pueden ser útiles para suscitar una reflexión explícita sobre las prácticas científicas, sobre cómo se elaboran y evalúan explicaciones causales, poniendo de manifiesto aspectos como los siguientes:

- *Interacción* entre datos y perspectivas teóricas. Tandy atribuyó la vibración del florete a una fuente de energía, elaborando una hipótesis: «Si la hoja vibraba, es que estaba recibiendo energía que debía variar en intensidad a un ritmo igual a la frecuencia de resonancia de la hoja. La energía de ese tipo es la que llamamos generalmente sonido». Es decir, sus conocimientos de física le llevan a proponer que la vibración se debe a una onda sonora (no a la acción de un *poltergeist* o de «mentes que interactúan con el ambiente»). Para ello parte de conocimientos que no se hacen explícitos en el artículo, como la naturaleza corpuscular de la materia, que tanto el aire como el florete están formados por mo-

léculas; que el sonido es la propagación de una perturbación en un medio, por ejemplo cambios de presión en el aire, necesitando un medio para transmitirse, o que hay ondas sonoras que el oído humano no es capaz de percibir. Aunque el azar jugó algún papel, una persona sin esos conocimientos no lo habría interpretado así.

- *Identificación de pautas* comunes a distintos fenómenos apelando a los conocimientos y la experiencia previos. Tandy relacionó la vibración de la hoja, primero con el comportamiento de las ondas sonoras en tubos (como clarinetes o trompetas) y habitaciones largos y estrechos, lo que le llevó a idear y poner en práctica un experimento, y segundo con vibraciones de partes del cuerpo humano que explicasen el malestar y las visiones. La investigación didáctica muestra las dificultades del alumnado para percibir que casos en diferentes organismos o contextos son parte de un mismo fenómeno, por ejemplo la resistencia a insecticidas, los cambios de coloración en algunas especies o la distribución de especies próximas en distintas islas son ejemplos del mismo proceso de selección natural.
- Diseño y realización de un *experimento* con un objetivo. Los experimentos no suelen diseñarse «para ver qué pasa», sino que se parte de unos conocimientos y con unos objetivos específicos: comprobar si la hoja vibraba igual en cualquier lugar del laboratorio o más en el centro, lo que sería un dato apuntando a una onda estacionaria. Después calculó su frecuencia, mediante la fórmula $f = v / \lambda$ (frecuencia = velocidad del sonido / longitud de onda, largo del laboratorio x 2), en 19 Hz, es decir por debajo del umbral de las ondas audibles.
- *Generación de nuevas preguntas* e hipótesis a partir de los primeros resultados. Comprobar que el florete vibraba debido a infrasonidos llevó a Tandy a preguntarse si los otros fenómenos

como las «apariciones» o el malestar podían deberse a la misma causa. De la consulta de libros e informes de la NASA deduce que se han constatado efectos de infrasonidos como náuseas, vértigo, malestar, así como visión borrosa e incluso pánico.

- Distintas *justificaciones* para los mismos datos, contrastando dos argumentos sobre estos fenómenos cuyas conclusiones son:
 1. Se deben a una onda estacionaria de baja frecuencia.
 2. El laboratorio está embrujado (en la jerga de la parapsicología «tienen lugar fenómenos psi-cinéticos que afectan a la materia»).
- Basándose en los mismos datos (sombras, malestar, vibración del florete) apelan a distintas justificaciones:
 1. En espacios largos y estrechos se pueden originar ondas estacionarias.
 2. Frente a (de una página web de parapsicología) «la mente interactúa sobre el ambiente sin que medie vínculo físico conocido».
- Una *explicación es mejor*. De las tres hipótesis iniciales (a, b y c p. 102), una está sustentada por datos, a diferencia de las otras dos, aunque a veces el alumnado puede tender a pensar que todas las explicaciones posibles son igualmente válidas (relativismo).

Esta actividad se podría integrar con experiencias de laboratorio (por ejemplo después de la pregunta 1 (p. 102) produciendo infrasonidos de alrededor de 19 Hz si hay posibilidades para ello).

Evaluación de modelos teóricos y de las pruebas que los sustentan

En la enseñanza de las ciencias, la evaluación de explicaciones causales a la luz de pruebas nos interesa para trabajar en el aula en

dos contextos que presentan algunas diferencias, por un lado la evaluación de modelos que juegan un papel central en los diferentes campos del conocimiento, como la tectónica de placas, el modelo de partículas, la mecánica, la evolución o la organización celular, y por otro la modelización o construcción, uso y evaluación de modelos por parte del alumnado, abordada en el siguiente apartado. En cuanto a los primeros, aunque no sea posible discutir en todos los casos las pruebas que los sustentan, sí es interesante comparar el potencial explicativo de distintos modelos (Duschl, 1997).

Tomando el ejemplo de las causas de las infecciones de la idea clave 3 (pp. 62-66), la explicación por el contagio de «partículas» infecciosas es elegida sobre otra, por miasmas o malos olores, no sólo porque exista una prueba a favor de la primera, como puede ser que al obligar a lavarse las manos disminuyese el número de muertes, (los partidarios de los miasmas lo interpretaban como un efecto de quitar el mal olor de los cadáveres). Además, es relevante que la interpretación de Semmelweis explique más fenómenos observados: la diferencia de muertes entre ambos pabellones, la inversión de porcentajes al permutar estudiantes de medicina y comadronas, o las muertes debidas a cortes durante las disecciones. La hipótesis de los miasmas necesitaría una explicación diferente para este último fenómeno, pues el olor de una persona que se corta en una disección no es distinto del de otra que no se ha cortado.

La capacidad explicativa de distintas hipótesis sobre la herencia se compara en otro trabajo (Jiménez Aleixandre, 1996), comparación que se resume en el cuadro 12 (véase la página siguiente), que se entrega al alumnado en blanco pidiéndoles que discutan si cada hipótesis explica o no cada fenómeno observado. Por ejemplo el atavismo o tendencia a volver a los caracteres de antepasados remotos sí explica la reaparición de caracteres parentales en la F2 (filial 2), pero no las pro-

porciones regulares en la descendencia de los híbridos. El modelo de Mendel acabó desplazando las teorías anteriores por su superior potencia explicativa.

Cuadro 12. Comparación de la capacidad explicativa de distintas hipótesis sobre la herencia

HIPÓTESIS FENÓMENOS	POPULARES «POR LA SANGRE»	DOMINANCIAS DE UN SEXO	MEZCLA O FUSIÓN	ATAVISMO «SALTO ATRÁS»	MENDEL HERENCIA PARTICU- LADA
Dominante / recesivo: se hereda el dominante, proceda del padre o de la madre.	No	No	Sí	Sí	Sí
Proporciones probables en descendencia de híbridos (F2) 1:2:1.	No	No	No	No	Sí
Reaparición de caracteres parentales (sólo los recesivos) en la F2.	Sí	Puede (si reaparece el de ese sexo).	No	Sí	Sí
Reaparición de caracteres de antepasados: dominantes sólo si se manifiestan en F1.	Sí	Puede (si reaparece el de ese sexo)	No	No	Sí
Herencia intermedia: no hay mezcla.	No	No	No	Sí	Sí

En consecuencia, en la evaluación a partir de pruebas de modelos teóricos los argumentos toman forma no de una simple relación de pruebas –justificaciones– o conclusión, sino, como proponen Kelly, Regev y Prothero (2008), para los informes escritos, de una compleja red que articula diferentes líneas de razonamiento en conclusiones de primer nivel, que a su vez sirven de justificación para la conclusión o conclusiones de nivel más general. En el cuadro 13 (página siguiente) hemos representado, siguiendo el esquema de Kelly, un resumen (puede haber otros) de algunas de las pruebas y líneas de razonamiento que se articulan en la teoría de la evolución, incluyendo pruebas recientes, por ejemplo formas de transición (los llamados «eslabones perdidos») encontradas en el registro fósil o semejanzas en el ADN.

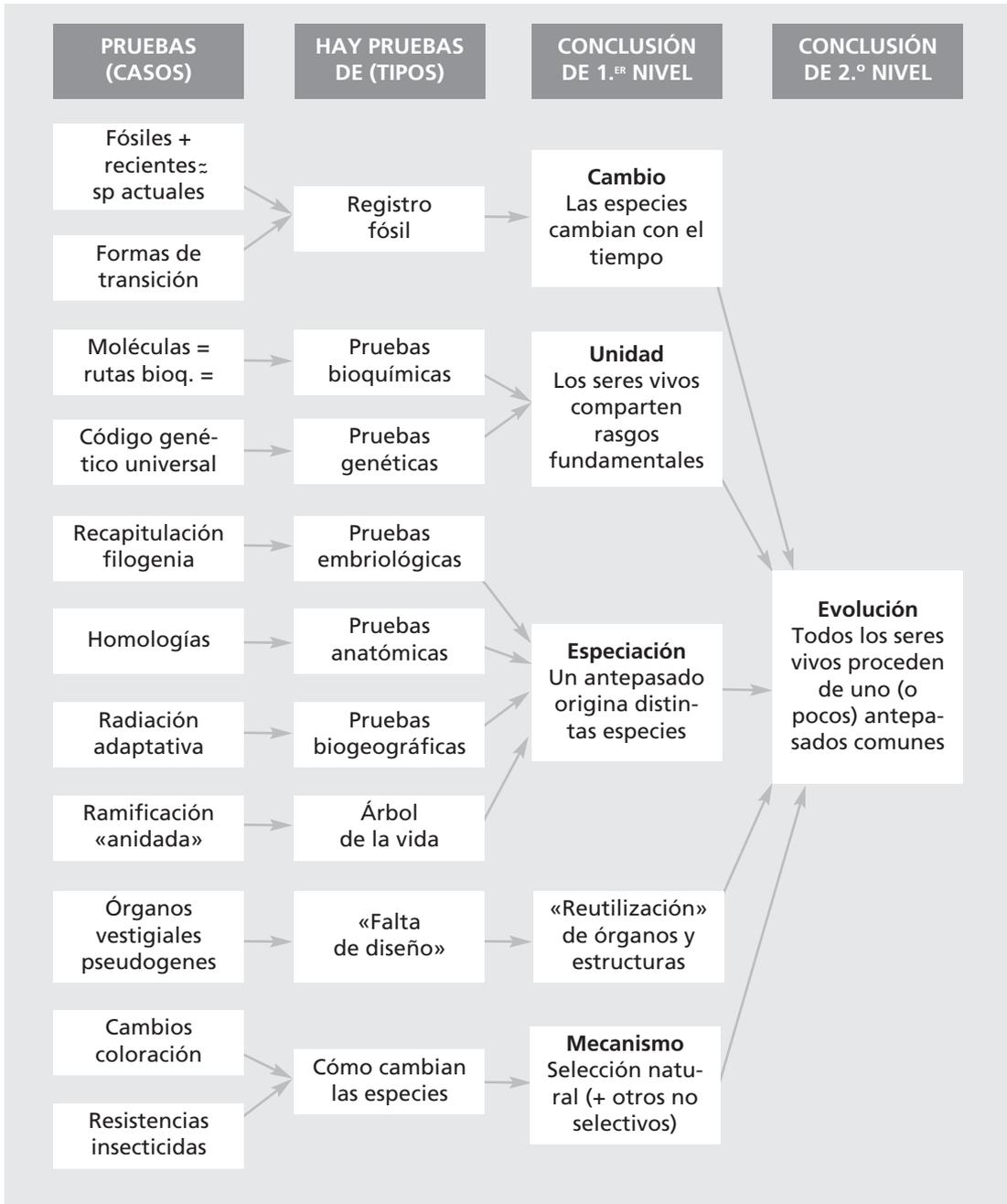
La utilización de pruebas experimentales en la comparación de modelos resulta quizá más directa en física o en química, pues en biología algunos de los modelos centrales, evolución, genética, ecología, no se prestan fácilmente a la experimentación en el aula, aunque sí es posible la utilización de modelizaciones y analogías; por ejemplo una actividad en genética que propone preparar galletas (en la Universidad de Santiago de Compostela la hemos adaptado a rosquillas) como analogía de las relaciones entre genotipo, ambiente y fenotipo, desarrollada por Sue Johnson (1991), o una simulación con escarabajos-cuentas del proceso de supervivencia diferencial (Jiménez Aleixandre, 2002).

En resumen, consideramos que para que haya argumentación tiene que haber conocimiento sometido a evaluación, en nuestro caso conocimiento científico, y pruebas (o razones) para confirmarlo o refutarlo. Por eso creemos que no puede hablarse de argumentación cuando únicamente se enfrentan dos opiniones sin relación (o con relación tenue) con el conocimiento, o cuando no se articulan pruebas con estas opiniones.

En muchos modelos científicos los argumentos combinan varias líneas de razonamiento sustentadas en pruebas.

Para que haya argumentación tiene que haber conocimiento sometido a evaluación, en nuestro caso conocimiento científico, y pruebas (o razones) para confirmarlo o refutarlo.

Cuadro 13. Argumento sobre la evolución y sus líneas de razonamiento



La construcción y evaluación de modelos en el aula

En el aula es posible llevar a cabo actividades y experiencias que muestren las relaciones entre modelos y pruebas. Para física y química en la página web del proyecto Pegase (www.inrp.fr/pegase) hay secuencias de actividades sobre mecánica y sobre las relaciones entre fuerzas y movimiento. El alumnado puede realizar experiencias con el péndulo o, sobre óptica, registrando observaciones y relacionándolas con las teorías. En los materiales sobre argumentación y uso de pruebas (Jiménez Aleixandre y otros, 2009), disponibles en www.rodasc.eu, se presenta la experiencia de la vela tapada en un recipiente con agua en un formato, diseñado por Juan Ramón Gallástegui, que permite contrastar cada una de las dos hipótesis de por qué sube el agua con los distintos fenómenos observados, comparando su capacidad explicativa. En geología, Pedrinaci (2003) propone una secuencia de actividades sobre el origen de las rocas sedimentarias.

Las actividades que se corresponden de forma más coherente con el objetivo de implicación en las prácticas científicas son las que requieren la modelización por parte del propio alumnado (Reiser, 2010). Llevarla a cabo significa una unidad de cierta duración, no simplemente dibujar un esquema o hacer un modelo físico, sino realizar los procesos de:

- *Construir modelos*. Representaciones, sean dibujos, maquetas u otros modelos físicos, montajes, simulaciones físicas o informáticas, etc. Por ejemplo construir un modelo para las propiedades y los cambios de materiales en el primer ciclo de primaria (Acher, Arcà y Sanmartí, 2007).
- *Usar modelos*. Utilizarlos para explicar fenómenos naturales, por ejemplo la distribución de distintas especies de pinzones en varias islas, utilizando el modelo de selección natural (Sandoval y Millwood, 2008) y analizando series de datos, e interpretar mediante una maqueta qué sucede con los seres vivos en un incendio fo-

Las actividades que se corresponden de forma más coherente con el objetivo de implicación en las prácticas científicas son las que requieren la modelización por parte del propio alumnado.

La modelización en el aula comprende los procesos de construcción, uso, evaluación y revisión de modelos por parte del alumnado y necesita tiempo para llevarse a cabo adecuadamente.

restal utilizando el modelo de ser vivo (Gómez Galindo, Sanmartí y Pujol, 2007).

- *Evaluar modelos*. Por ejemplo comparar la capacidad de diferentes modelos para dar cuenta de fenómenos, como se discute en el apartado anterior.
- *Revisar modelos* para mejorar su capacidad explicativa y predictiva. Por ejemplo la unidad de 6 semanas sobre evaporación y condensación a partir de un destilador solar en 5.º y 6.º de primaria, utilizando modelos de cambio de estado y pruebas de la presencia de vapor de agua en el aire (Schwarz y otros, 2009).

Este trabajo requiere que los estudiantes dispongan de tiempo suficiente para generar sus propios modelos, discutirlos con sus compañeros y compañeras, evaluarlos mediante el contraste con la experiencia y revisarlos. Esto requiere trabajar una cuestión con detalle a lo largo de varias semanas, como proponen, entre otros, Duschl y Grandy (2008) y Reiser (2010), y que los programas se modifiquen en el sentido de seleccionar unas pocas cuestiones clave y trabajarlas en profundidad (en oposición a tratar muchos temas de forma breve, lo que conduce a hacerlo superficialmente).

Las prácticas científicas de argumentar y de modelizar están conectadas, ya que la evaluación y revisión de modelos se lleva a cabo contrastándolos con las pruebas disponibles, evaluando su capacidad explicativa respecto a los fenómenos.

En resumen

Tanto la argumentación como la modelización forman parte de las prácticas científicas, es decir prácticas propias o esenciales del trabajo científico en las que queremos que se implique nuestro alumnado. Para ello éste debe participar tanto en la argumentación, evaluando conocimiento en

base a pruebas, como en la modelización, construyendo, usando, evaluando y revisando modelos. Ambas prácticas, modelización y argumentación, están relacionadas, pues los modelos se evalúan a la luz de las pruebas, comparando distintas explicaciones en cuanto a su capacidad de dar cuenta de fenómenos observados.

La evaluación de modelos explicativos, es decir la argumentación sobre explicaciones causales, es uno de los contextos más importantes en los que trabajar la argumentación, pues en ellos interaccionan el uso de pruebas y el aprendizaje de las ciencias. Las explicaciones causales son el resultado de un largo proceso en el que se parte de preguntas o problemas, se proponen hipótesis para identificar las causas de un fenómeno determinado, se recogen datos, se identifican pautas y se escoge la explicación mejor sustentada en las pruebas. Trabajar en clase algunos ejemplos de cómo se generan las explicaciones puede ayudar a que el alumnado desarrolle una visión más apropiada de la construcción del conocimiento científico, como la interacción entre observaciones y teorías, la identificación de pautas o la existencia de distintas justificaciones para unos mismos datos.

Los modelos científicos centrales no se basan en una sola prueba, sino en series de pruebas, predicciones, refutaciones de hipótesis alternativas, etc., de ahí que los argumentos que los representan sean una compleja red que articula distintas líneas de razonamiento sustentadas en pruebas. La participación del alumnado en los procesos de construcción y evaluación de modelos requiere tiempo para llevarse a cabo.

¿A qué se deben los cambios biológicos?

En un periódico leemos la siguiente noticia: «Un 15% de los escolares sufre ataques de piojos entre otoño y semana santa. No se conocen exactamente las causas de las recientes epidemias, ya que la higiene ha mejorado, pero todo parece indicar que el DDT y los otros insecticidas ya no les hacen efecto a los piojos».

1. ¿Cómo explicas que hace años los insecticidas hicieran efecto a los piojos y ahora no?
¿Por qué son amarillos los pollos de granja?

Hay muchos animales como pollos, cerdos o vacas que se crían en granjas para conseguir carne y huevos y no depender de la caza. Pero al criar pollos en las granjas, aparece un problema: muchos pollitos nacen con plumas amarillas en vez de las pardas moteadas de los animales del mismo tipo que viven en el monte. Las granjas están preocupadas por si la gente no quiere comprar pollos de ese color y le han pedido al equipo de biólogos que estudie la causa de ese cambio de color.

2. ¿Podéis asesorar a este equipo?
¿Qué creéis que causa este cambio de color en los pollitos que nacen en las granjas? Debéis dar razones para apoyar vuestra respuesta. Si dais una respuesta que no está sustentada en argumentos, esa respuesta tiene menos valor.

COMENTARIO. *Insecticidas y piojos (cuestión 1)*

La evolución es uno de los modelos centrales de la biología, sin embargo, numerosos estudios han mostrado las dificultades del alumnado de secundaria, bachillerato e incluso universidad para usar el modelo de selección natural en la interpretación de ejemplos de cambio biológico. Los ejemplos que se citan a continuación están tomados de la tesis de la autora (véase Jiménez Aleixandre, 1991) y corresponden a los resultados de una amplia muestra (N=380) de alumnado de 14-15 años. Sólo el 5% (en el último curso de bachillerato el 9%) da respuestas que podemos considerar acordes con el modelo darwinista, por ejemplo:

- «Porque esta especie ha evolucionado. Es lo mismo que las mariposas unas eran blancas y otras negras [...] los ani-

males se comían a las negras y sólo las blancas, las más capacitadas, sobrevivieron. Con los piojos pasa igual, los más capacitados sobreviven y por ello el DDT no los mata».

- «Porque los individuos más resistentes al DDT al vivir más dejaron mayor descendencia con lo que este grupo presiona sobre los otros piojos hasta llegar a constituir toda la especie».

Aunque la formulación del alumnado de 14-15 años en cuestiones complejas es a veces poco clara, estas respuestas apuntan a la causa de supervivencia diferencial («los más capacitados sobreviven» o «dejaron más descendencia»), que sería la conclusión o explicación y que sitúa el cambio en el nivel de la población. En ambos casos hacen referencia al dato de la variabilidad preexistente dentro de la especie, la primera apelando al caso de la diferencia de color en mariposas (suponemos que se refiere a la *Biston betularia*, aunque las que sobrevivían en situación de contaminación eran las más oscuras), y la segunda mencionando los «más resistentes» y «los otros».

El grupo más numeroso, un 69% (en el último curso de bachillerato un 76%, debido a que hay pocas respuestas finalistas

e intencionales, que en los más jóvenes son más del 20%), explica el incremento de resistencia por adaptaciones «a posteriori» y, en muchos casos, por herencia de caracteres adquiridos, lo que suele llamarse «lamarckistas»:

- «Los insecticidas al llegar a su cuerpo modificaban sus genes hereditarios y los hacían más invulnerables hacia estos insecticidas. Si alguno de estos insectos tenía un hijo antes de morir, éste heredaría un gen invulnerable al insecticida».
- «Con el tiempo los glóbulos blancos de los piojos se fueron acostumbrando y combatiéndolo (al insecticida) eso pasó a la herencia de los piojos y ahora los glóbulos blancos ya tienen sus vacunas».

Estas respuestas constituyen una explicación causal que sitúa el cambio en el individuo y supone modificaciones genéticas (mutaciones) en respuesta a un cambio ambiental, lo que sería la conclusión, expresada a veces con el término «acostumbrarse». Algunas respuestas apelan a las vacunas y la inmunidad como mecanismo para explicar la falta de efecto.

En nuestra opinión las estrategias para lograr que el alumnado haga suyo y use

un modelo complejo, como el darwinista, incluyen:

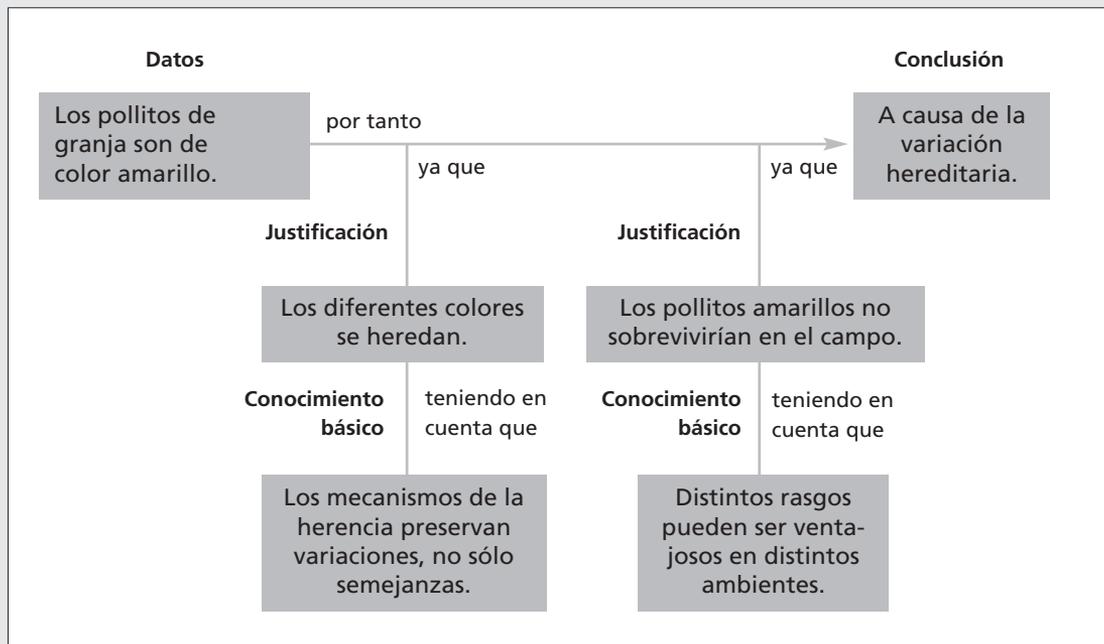
- Hacer explícita la existencia de este segundo tipo de explicaciones causales, comparándolas con los argumentos darwinistas.
- Implicar al alumnado en la interpretación de casos de cambio biológico en diferentes organismos y contextos.
- Implicarlo en la realización de juegos de simulación.

Un ejemplo de discusión que opone dos argumentos se incluye a continuación:

COMENTARIO. *¿Por qué son amarillos los pollitos de granja? (cuestión 2)*

Se pidió a alumnado de 14-15 años que discutiese esta cuestión en pequeños grupos. Después de una primera discusión en que aparecieron pocas propuestas, se proporcionó una lista para que eligiesen una opción, siempre apoyada en razones, de las identificadas en un trabajo previo: comida, variación hereditaria, color en el ambiente (granja) u otras. La argumentación del alumnado, tanto en pequeño grupo como en la puesta en común, se discute con detalle en otro trabajo del

Cuadro 14. Argumento de referencia para el color de los pollitos



que resumimos algunas ideas (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000). Como herramienta para el análisis se construyó un argumento de referencia de la ciencia escolar que se reproduce en el cuadro 14. Las dos justificaciones básicas que llevan a la conclusión de que la causa es la variabilidad dentro de la especie son que el color es hereditario y que los pollitos amarillos no sobrevivirían en el campo. Dos justificaciones adicionales serían que en el campo habrá más pollitos moteados (que lo que ha cambiado en la granja es la composición de la población, no los individuos), y que el color no cambia debido a que la comida o el ambiente sean amarillos, apoyado en que las características adquiridas no se heredan.

En el grupo A, dos alumnas, Rita e Isa (seudónimos) apoyan la opción de la variación hereditaria, mientras que Rosa sugiere que pueden haberlos pintado:

ROSA: «¿Y no será el color de la granja, se lo pusieron para que fueran más bonitos?».

ISA: «A ver, mira, y entonces que les echaron pigmento, y si les echaron pigmento, ¿por qué le salieron los hijos también todos pintados? No tiene sentido».

RITA: «O sea, tú ahora te tiñes el pelo de color amarillo y ¿tus hijos nacen con el pelo amarillo?».

BEA: «No. Teñirse el pelo amarillo. Ella (*Rosa*) es rubia».

RITA: «Eso sería si la teoría de Lamarck fuera cierta, pero como no es cierta».

Isa opone una objeción a la causa propuesta por Rosa (rechaza la explicación), y Rita apoya a Isa con una justificación apelando a la consistencia con lo que ocurre en los seres humanos, y al conocimiento básico sobre la teoría de Lamarck, lo que no es muy frecuente (cuadro 15, véase la página siguiente).

Poco después esta práctica epistémica de apelación a la consistencia de las explicaciones científicas, que deben explicar fenómenos en distintos contextos u organismos, se repite:

BEA: «También oí decir que era por comer pienso amarillo».

ISA: «Ay no, porque tú por mucho que comas lechuga no se te vuelve la cara verde».

La explicación de Bea (frecuente en otros grupos) puede deberse a una analogía con el alimento de las gallinas que oscurece los huevos. Isa, como Rita, apela a la consistencia con las personas para des-

cartar la explicación. En la puesta en común, Isa y Rita utilizan repetidamente esta apelación a la consistencia para criticar causas propuestas por otros grupos, como el color claro de la granja, por un alumno del grupo D que, preguntado por Rita si al meterlos en la granja se volverían blancos, responde que no en el momento, pero sí «con el tiempo» (calificador modal). A ello Isa opone que los caracteres que se adquieren durante la vida no se heredan, y Rita que si una persona se va a China, sus hijos no parecerán

chinos. Cuando esta idea es apoyada por Pat, una alumna del grupo E (si me voy a África mis hijos serán blancos), los de los otros grupos rechazan esta justificación:

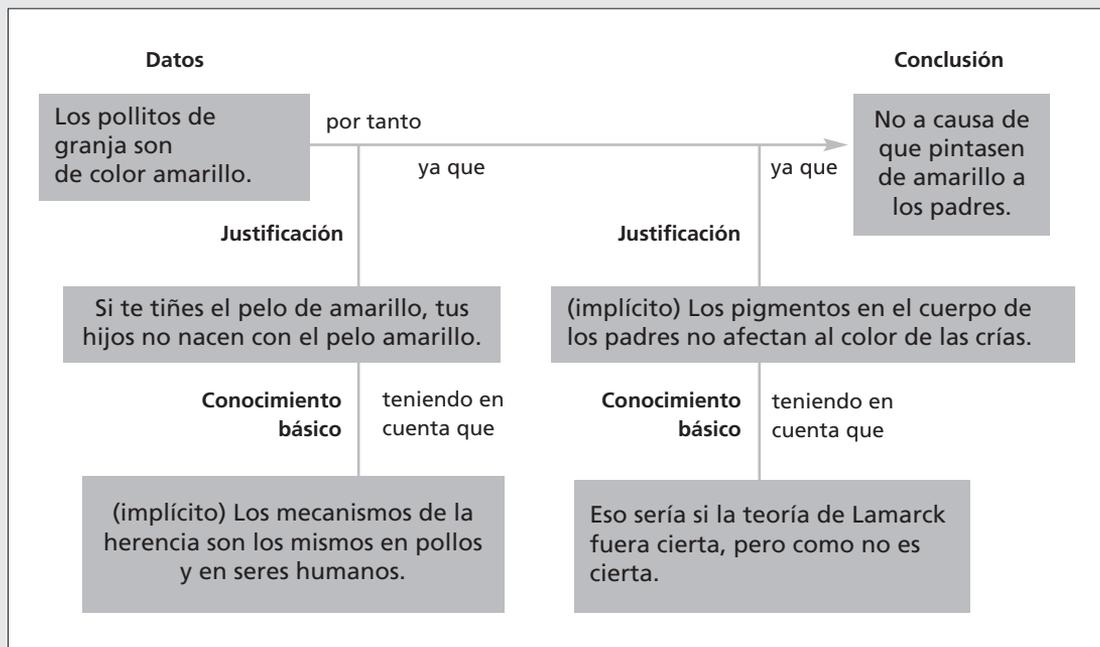
ALUMNO DE C: «Están comparando los pollitos con las personas...»

ISA: «Es lo mismo».

CARLOS: «No se puede confundir».

Es importante dar al alumnado la posibilidad de discutir distintas causas de un fenómeno, argumentar, para favorecer el desarrollo de esta competencia.

Cuadro 15. Argumento de Rita en el formato de Toulmin





Para saber más...

DUSCHL, R.A. (1997): *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid. Narcea.

Duschl propone una reflexión explícita sobre la capacidad explicativa de las teorías y, en la segunda parte, ofrece ejemplos de cómo llevarla a cabo. Un caso más desarrollado se describe en DUSCHL (1995).

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; PUIG, B. (2010): «Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: el caso de la inteligencia». *Alambique*, núm. 63, pp. 11-18.

En este artículo, que forma parte del monográfico sobre argumentación de *Alambique*, se enmarca la argumentación y el uso de pruebas en la noción de competencia científica, y se discute la relevancia de los procesos de argumentación en la construcción y evaluación de explicaciones causales. Se ilustra con un ejemplo del debate sobre si la inteligencia se debe sólo a los genes y si hay «razas» más inteligentes que otras.

REISER, B. (2010): «Volviendo a pensar la enseñanza de las ciencias: implicando a alumnado y profesorado en las prácticas científicas». *Enseñanza de las Ciencias*. [en prensa].

En este artículo, que recoge una ponencia presentada en el congreso de Enseñanza de las Ciencias en 2009, Reiser discute el diseño de unidades didácticas y estrategias encaminadas a hacer accesibles las prácticas científicas de argumentación y modelización. Más información sobre el currículo IQWST en www.hi-ce.org/IQWST o www.iqwst.northwestern.edu/finchesdownload.html

La argumentación sociocientífica contribuye al pensamiento crítico



La argumentación en cuestiones sociocientíficas contribuye al pensamiento crítico y a aprender sobre la ciencia, y presenta algunas características como su carácter interdisciplinario, su relación con la vida diaria o los campos de valores sociales o éticos que hay que tener en cuenta.

Que «el medio es el mensaje» implica también que el contenido crítico de cualquier experiencia de aprendizaje es el propio método o proceso a través del cual se da este aprendizaje. Lo que cuenta no es lo que uno diga a la gente, sino lo que uno les hace hacer.

(Postman y Weingarten, 1973)

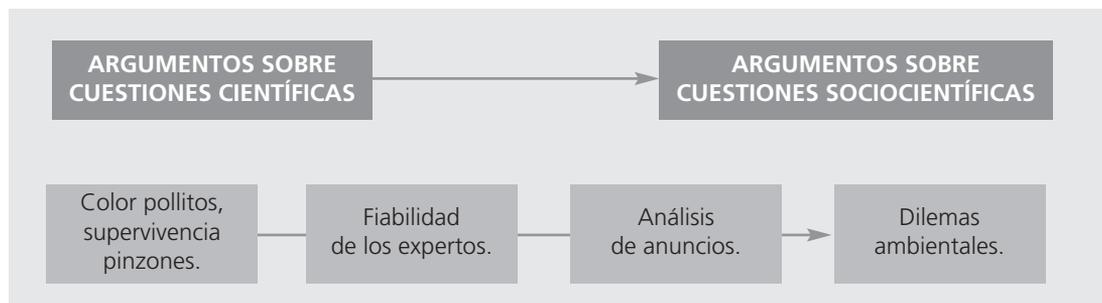
¿Qué caracteriza a la argumentación en cuestiones sociocientíficas?

Es conveniente empezar aclarando que las **cuestiones sociocientíficas** son, ante todo, cuestiones que forman parte de la ciencia, es decir que en los argumentos sobre ellas hay nociones científicas, aunque lo que se debate no siempre son explicaciones causales. Una cuestión para debatir que pertenezca únicamente al campo social, por ejemplo la argumentación sobre la pena de muerte estudiada por Deanna Kuhn (1991), no es sociocientífica. Una posible definición de las *cuestiones sociocientíficas* considera que son dilemas o controversias sociales que tienen en su

base nociones científicas. Otra forma de decirlo, según Kolstø y Ratcliffe (2008), es que en las cuestiones sociocientíficas la ciencia está implicada en un debate social, en muchos casos en el contexto de toma de decisiones, bien personales, bien políticas, por ejemplo sobre cuestiones ambientales o relacionadas con la salud. En distintos países pueden recibir otros nombres como «cuestiones socialmente vivas» (Legardez y Simonneaux, 2006). Entroncan también con la línea sobre ciencia en un contexto social, a partir de trabajos pioneros como los de Glen Aikenhead (1985), quien propone el término «humanista» en su extensa revisión de trabajos en esta perspectiva, que integra el razonamiento ético con el científico (Aikenhead, 2006). Para Aikenhead una cuestión central en el trabajo con estas cuestiones es que conectan las clases de ciencias con problemas que tienen relevancia en la vida diaria, relación que es central en los problemas auténticos a los que nos referimos en la idea clave 9. En muchos casos pueden ser problemas ambientales, por ejemplo qué decisión tomar sobre la gestión ambiental de un humedal (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002), o relacionados con la salud, como la ingeniería genética (Sadler y Zeidler, 2004; Simonneaux, 2000).

En nuestra opinión (Jiménez Aleixandre y Puig, 2010a) a veces no es fácil decidir si un argumento versa sobre cuestiones puramente disciplinarias o sobre cuestiones sociocientíficas, y puede ser más útil considerarlos parte de un espectro o continuo que, como propone Aikenhead (1985), va de las cuestiones que se pueden considerar «sin carga de valores» a las más «cargadas de valores», lo que representamos en el cuadro 16.

Cuadro 16. Espectro de argumentos de menor a mayor carga social



Fuente: Jiménez Aleixandre y Puig, (2010a), [modificado]

Así, por ejemplo, argumentos situados en el extremo disciplinario pueden ser los discutidos en la idea clave 6 sobre el color de los pollitos (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000), sobre las ra-

zonas de la muerte o supervivencia de pinzones en las Galápagos en 1977 (Berland y Reiser, 2009), o las predicciones sobre circuitos eléctricos en una caja negra (Kelly, Druker y Chen, 1998). Uno de los argumentos situados a medio camino sería por ejemplo la evaluación de artículos por parte del alumnado (Kolstø y otros, 2006), al que se le pedía que valorase la fiabilidad de las conclusiones y aspectos sociales como la competencia científica y los intereses institucionales de expertos. Con más carga social, el análisis crítico de las pruebas que apoyan las conclusiones en anuncios que prometen reducción de la celulitis (Marbá, Márquez y Sanmartí, 2009) combina conocimientos científicos, tanto sobre conceptos como sobre cómo recoger y analizar pruebas, con valores culturales y sociales, como un estereotipo de belleza. En el extremo sociocientífico se encontrarían los argumentos sobre problemas ambientales (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002), ingeniería genética (Sandler y Zeidler, 2004; Simonneaux, 2000), o sobre la existencia de diferencias genéticas en inteligencia entre razas, como afirma James Watson (Puig y Jiménez Aleixandre, 2010b).

En consecuencia, lo que caracteriza a la argumentación en estas cuestiones es, primero, que hay que basarse en nociones científicas y, segundo, que hay otro tipo de dominios a tener en cuenta, por ejemplo éticos (como puede ser el caso de la clonación), económicos y sociales (en la ingeniería genética), de valores ambientales (preservación del medio), etc. Y una característica esencial es que son relevantes, en el sentido de que el alumnado puede percibir que tienen relación con su vida.

Aprender sobre la ciencia en las controversias sociocientíficas

¿En qué contribuyen las cuestiones sociocientíficas a los objetivos de la educación?, en otras palabras, ¿qué se aprende con ellas? Por un lado conocimientos *de* ciencia, así los alumnos y alumnas de Cristina Pereiro a quienes se pidió que evaluaran el proyecto de saneamiento en el humedal de Budiño (Aznar y Pereiro, 1999) debieron aplicar conocimientos sobre geología, hidrología y ecosistemas, y por otro sobre cómo seleccionar e interpretar datos. Ofrecen un contexto apropiado para desarrollar el pensamiento crítico, lo que se trata más adelante, y con-

Las cuestiones sociocientíficas contribuyen a aprender sobre la ciencia poniendo de manifiesto que es un proceso construido socialmente, que tiene limitaciones, que comparte aspectos de cooperación con otros de competencia y que a veces está influida por intereses particulares.

tribuyen a aprender *sobre* la ciencia, es decir dimensiones del trabajo científico que podemos considerar transversales a las distintas disciplinas científicas, no centradas en conceptos o teorías, y a las que también nos referimos como la naturaleza de la ciencia.

Cuadro 17. Ideas sobre la ciencia

BLOQUES	IDEAS SOBRE LA CIENCIA	CARACTERIZACIÓN
Ciencia como proceso construido socialmente	1. Ciencia en curso y papel del consenso / desacuerdo.	Las diferencias en la comunidad científica sobre trabajos en curso son normales y necesarias.
Limitaciones de la ciencia	2. La ciencia como uno de varios campos sociales.	Identificar qué campos sociales son relevantes; decisiones de ciudadanía (no sólo técnicas).
	3. Enunciados descriptivos («es») y normativos («debe»).	Un enunciado normativo refleja normas / valores.
	4. Demanda de las pruebas que sustentan enunciados.	Pruebas interpretadas en función de intereses particulares; ¿a quién sirven determinados intereses?
	5. Modelos científicos ligados al contexto.	Campo de validez de los distintos modelos, teorías, predicciones.
Valores en las ciencias	6. Pruebas científicas.	Criterios sobre lo que cuenta como prueba.
	7. Duda metódica.	Expresa estado del conocimiento en contextos públicos.
Actitud crítica	8. Escrutar enunciados científicos.	Preguntarse por fuentes, intereses, competencia.

Fuente: a partir de Kolstø (2001)

Stein Kolstø (2001), en la perspectiva de una enseñanza de las ciencias para la ciudadanía, propone una rúbrica para examinar la dimensión científica en los dilemas sociocientíficos que, modificada, puede servir para elaborar herramientas de análisis para el alumnado de secundaria. Comprende ocho ideas agrupadas en cuatro bloques, resumidas en el cuadro 17, que pueden contribuir a que el alumnado comprenda por ejemplo que en la ciencia en proceso de construcción es normal que existan desacuerdos dentro de la comunidad científica (idea 1), y que éstos no tienen por qué responder necesariamente a intereses particulares o incompetencia. Al mismo tiempo, la argumentación sobre cuestiones sociocientíficas puede servir para poner de manifiesto que la demanda de pruebas y su interpretación (idea 4) se hace a veces desde el punto de vista de determinados intereses: las compañías tabaqueras han mantenido durante décadas que no había suficientes pruebas de que fumar fuese una de las causas del cáncer de pulmón. Precisamente uno de los autores del primer trabajo que mostraba esta relación, Richard Doll, fue contratado durante muchos años como asesor de industrias químicas, Monsanto y Dow Chemical. En ese tiempo escribió un informe afirmando que no había pruebas de que el agente naranja (potente defoliante y herbicida usado por los Estados Unidos en la guerra de Vietnam) causase cáncer. Estos hechos, conocidos en 2006 tras la muerte de Doll, llevaron a críticas de científicos, como Lennart Hardell, que han mostrado que la dioxina presente en el agente naranja es un carcinógeno. Según Hardell, al firmar ese informe Doll debía hacer explícito que estaba siendo pagado como asesor de Monsanto, en vez de figurar como investigador del Green College o miembro de la asociación contra el cáncer del Reino Unido. Todos estos aspectos pueden contribuir a que el alumnado se forme su propia opinión sobre qué decisiones tomar, decisiones que, como subraya Kolstø, en cuestiones como la gestión de residuos o los riesgos de determinadas industrias, no tienen por qué coincidir con las opiniones de los técnicos (dimensión

La argumentación sobre cuestiones sociocientíficas puede servir para poner de manifiesto que la demanda de pruebas y su interpretación se hace a veces desde el punto de vista de determinados intereses.

2). Por ejemplo, es más caro reciclar que amontonar residuos en basureros, pero muchas ciudades optan por lo primero por razones de preservación de recursos.

Ciencia en construcción: Rosalind Franklin y la estructura del ADN

Un ejemplo de cuestión en la que se aprecian las interacciones entre ciencia y sociedad es la invisibilidad de las contribuciones de las mujeres al conocimiento científico. El modelo de estructura del ADN se atribuye a veces sólo a Watson y Crick, cuando en su identificación intervinieron, como reconoce Watson (1968), cuatro personas: los dos citados, que trabajaban en Cambridge, y Rosalind Franklin y Maurice Wilkins, que lo hacían en el King's College de Londres. La identificación del modelo de ADN pone de manifiesto aspectos como:

- *El carácter colectivo de la construcción del conocimiento, la confluencia de aportaciones de distintos equipos y disciplinas.* Bioquímica, como las regularidades o pautas identificadas por Chargaff en el ADN de distintas especies (la composición de bases es propia de cada especie, el número de adeninas es igual al de timinas y el de guaninas igual al de citosinas, expresado como $A=T$, $G=C$); cristalografía, como las fotografías de Franklin de los cristales de ADN, que fueron el dato decisivo que condujo al modelo, como reconoce Watson, pues sugerían una fibra doble, y su interpretación de que los grupos azúcar-fosfato se situaban en el exterior de la molécula; química, como la sugerencia de Donohue de que las bases debían estar en la forma cetona, no enol.
- *La competencia entre distintos equipos por lograr la identificación y el Nobel.* Por un lado, los problemas de comunicación entre el equipo de Cambridge y el de Londres y, por otro, la resistencia de Wilkins a compartir sus fotografías (y las de Franklin) con el equipo estadounidense de Pauling.
- *La resistencia a reconocer el trabajo y las sugerencias de una mujer como una igual.* En su libro, Watson se refiere a Franklin como Rosy, reconociendo que ella nunca usó este diminutivo, y narra las tensiones entre Franklin y Wilkins

debido a que él la consideraba su «ayudante» y ella quería ser considerada una investigadora en pie de igualdad. Watson refiere como en los años cincuenta los investigadores varones del King's College tenían una confortable sala para tomar café y las mujeres un pequeño cuchitril, y menciona comidas y reuniones informales entre los hombres de los dos equipos a las que Franklin no era invitada (la pervivencia de comidas y reuniones informales entre varones de las que se excluye a las mujeres persiste en algunas facultades de España aún en nuestros días). En los capítulos finales de su libro, Watson reconoce que su comportamiento inicial hacia ella estaba teñido de prejuicios hacia las mujeres, y que las posturas de Franklin respondían a «ciencia de primera».

- *Los desacuerdos en la interpretación de datos* en la ciencia en construcción. La propuesta inicial de Watson (más intuitiva) era que la cadena azúcar-fosfato constituía una especie de «columna vertebral» del ADN, con las bases en el exterior, lo que Franklin no consideraba compatible con sus fotografías, sugiriendo que los grupos azúcar-fosfato debían situarse en el exterior. Watson acabó reconociendo que Franklin tenía razón. Por otra parte, Crick y Watson propusieron una molécula helicoidal, mientras Franklin interpretaba que sus fotografías no podían corresponder a hélices, idea que modificó más adelante.
- *La interacción entre modelos teóricos y datos experimentales*. El trabajo de Crick y Watson fue sobre todo una construcción de modelos, representaciones en papel y cartón, que pretendían hacer compatibles los datos obtenidos por diversos equipos, sin realizar ningún «experimento», es decir se trataba de un trabajo teórico.

Se propone que el alumnado (o el profesorado en formación) lea fragmentos escogidos del libro de Watson, que permiten identificar estas y otras dimensiones. La revista *Nature* publicó simultáneamente tres artículos en 1953 de Watson y Crick, de Franklin y de Wilkins. Rosalind Franklin murió de cáncer unos años después, lo que impidió que compartiese el premio Nobel con los otros tres autores.

El carácter interdisciplinario de las cuestiones sociocientíficas

Los dilemas sociocientíficos tienen implicaciones en campos sociales, éticos, políticos o ambientales, y es necesario identificarlas y valorar su relevancia.

Los dilemas sociocientíficos se fundamentan en nociones científicas, pero además tienen implicaciones en distintos campos, como pueden ser sociales (incluyendo las económicas), éticas, políticas y ambientales (en lo referente a la protección del medio ambiente, además de la dimensión científica de las ciencias ambientales). En consecuencia la argumentación en contextos sociocientíficos tiene que identificar los campos relevantes en cada caso y tenerlos en cuenta. Algunos ejemplos de lo que entendemos por estos campos distintos de la ciencia y sus implicaciones se resumen a continuación (no incluimos las implicaciones científicas, como las que se discuten por ejemplo para los cultivos transgénicos en Jiménez Aleixandre, 2003b):

Las dimensiones sociales afectan a las estructuras y agentes sociales.

- *Dimensiones sociales.* Afectan a las estructuras y agentes sociales, por ejemplo convivencia, demografía, economía, bienestar, consumo. Así decidir si se declara parque natural o espacio protegido un área puede tener implicaciones sobre la convivencia de distintos sectores. La selección del sexo de los bebés ha tenido en la India consecuencias demográficas, un déficit de 37 millones de mujeres, según estima Amartya Sen. Los cultivos transgénicos han incrementado la dependencia de los agricultores respecto a las grandes empresas del *agribusiness* al obligarlos a comprar una planta junto con el herbicida (como el glifosato), con consecuencias económicas y crisis de la agricultura en países en desarrollo. Otra consecuencia de este tipo es la caída de los precios del azúcar y la pérdida de decenas de miles de puestos de trabajo en la industria azucarera en México (www.rel-uita.org/sectores/azucar/ljarabe-alta-fructosa.htm) y otros países, debido a la comercialización como edulcorante de fructosa transgénica obtenida del maíz.
- *Dimensiones éticas.* Valoraciones que afectan al plano normativo, es decir lo que se considera aceptable o no. Un ejemplo es

Las dimensiones éticas afectan al plano normativo.

la investigación sobre clonación humana (la llamada terapéutica, pues sobre la reproductiva hay consenso en considerarla inaceptable), en la que se plantean cuestiones como: ¿es éticamente aceptable esta investigación?, ¿es aceptable pagar a mujeres por donar óvulos, lo que implica un tratamiento hormonal?, ¿habría razones similares para prohibir la donación remunerada de óvulos a las que llevan a prohibir la donación remunerada de sangre o de órganos? Federico y Jiménez Aleixandre (2006) proponen actividades para bachillerato sobre la clonación. Otro ejemplo de implicaciones éticas de la investigación genética puede ser la cuestión de las patentes de genes humanos, suscitada a partir de la presentación en 1991 de solicitudes de patentes por Craig Venter. Para una parte de la comunidad científica el genoma es parte del patrimonio común de la humanidad. En una de las directivas de la Unión Europea se acepta que pueden ser patentables las invenciones que sean susceptibles de aplicación industrial, aunque incluyan material genético. Otra derivación ética es la relativa a la biopiratería o apropiación de recursos genéticos, como patentar en Estados Unidos plantas nativas de países en desarrollo, quinua (Bolivia), arroz jazmín u *Hom-mali* (Tailandia) o plantas medicinales (Perú), que se basan en el conocimiento y la innovación de pueblos indígenas a lo largo de generaciones. Información actualizada de las demandas legales contra la biopiratería en distintos países latinoamericanos se puede encontrar, por ejemplo, en www.biopirateria.org

- **Dimensiones políticas.** Afectan a la organización de los derechos y libertades de las personas. En muchos casos se solapan con las sociales y las éticas. Por ejemplo, las regulaciones sobre el acceso a los recursos biológicos que pretenden evitar la biopiratería; los debates sobre el etiquetado de los alimentos que han sido fabricados con soja o maíz transgénicos, o el rechazo por el gobierno

Las dimensiones políticas afectan a la organización de los derechos y libertades de las personas.

boliviano en 2000 de la introducción de una patata transgénica resistente a los nematodos. Otros ejemplos de cuestiones socio-científicas con implicaciones políticas son las afirmaciones de James Watson de que los negros son genéticamente menos inteligentes que los blancos, sobre las que versa la actividad discutida más adelante, expresadas como justificación de su crítica a las políticas sociales de ayuda a África «basadas en la idea de que su inteligencia es igual a la nuestra», es decir justificando que se retire esa ayuda. Las declaraciones del papa Benedicto XVI, en marzo de 2009 en Camerún, de que «El problema del SIDA no puede ser solucionado con la distribución de condones (que) aumenta el problema» pueden ser evaluadas desde el punto de vista científico como falsas, pero desde el punto de vista de la educación sanitaria de la población pueden tener un gran impacto debido a la autoridad política e ideológica de quien las emite. Este impacto se refleja en las declaraciones de distintos gobiernos europeos y organismos internacionales, que mostraron su preocupación por los riesgos que suponen para las políticas de salud pública y de prevención de la epidemia.

- *Dimensiones ambientales.* Afectan a la protección y mejora del medio ambiente y los recursos naturales, y a veces no son fáciles de distinguir de las científicas, por ejemplo las relativas a la ecología. Podemos decir que están más próximas a valores como la preservación de un paisaje debido a sus cualidades estéticas o la conservación de un humedal por la biodiversidad que alberga. También los movimientos que solicitan que la economía contemple los costes ambientales. Un ejemplo puede ser el calentamiento global y el cambio climático: desde el movimiento ecologista se afirma que el actual modelo de desarrollo no es sustentable a escala del planeta. En la dimensión científica se valoran diferentes series de datos, en la dimensión ambiental se

Las dimensiones ambientales afectan a la protección y mejora del medio ambiente y los recursos naturales, y a veces no son fáciles de distinguir de las científicas.

propone que, aun cuando no se pueda afirmar con una certeza absoluta que las consecuencias del calentamiento sean las que se predicen (fusión de los hielos polares, aumento del nivel del mar, incremento de enfermedades ahora confinadas a países cálidos, desertización, etc.), la existencia de riesgos tan altos debería llevar, por el principio de precaución, a tomar medidas inmediatas para reducir las emisiones de CO₂ y otros gases que incrementan el efecto invernadero.

El reto es cómo integrar las distintas dimensiones en la toma de decisiones. Aikenhead (1985) propone ver cuáles son las dimensiones relevantes, valorarlas e identificar en cuál de ellas se toma la decisión final. Así en cuestiones de clonación podría ser el campo ético. Un buen ejemplo de integración de las dimensiones científicas, políticas y sociales es el estudio de Schweizer y Kelly (2005) sobre argumentación de alumnado de 12 años en una unidad didáctica sobre el cambio climático a lo largo de nueve semanas. Este trabajo muestra cómo es posible combinar la recogida e interpretación de extensas series de datos (actividad más próxima a la argumentación en el contexto de modelos causales) con escoger una decisión o postura. Los argumentos de ambos lados, afirmando o negando que la actividad humana contribuye al aumento de temperatura, están apoyados en numerosas justificaciones.

El reto es cómo integrar las distintas dimensiones en la toma de decisiones.

El pensamiento crítico y la educación para la ciudadanía

La argumentación en contextos sociocientíficos plantea algunos retos similares a implicar al alumnado en argumentación sobre cuestiones disciplinarias, y otros que son específicos. En contextos sociocientíficos resulta más fácil motivar al alumnado para que se implique activamente en la construcción de argumentos, en defender y justificar sus posiciones y en criticar las de otros. Sin embargo, hay que tener en

La argumentación en contextos sociocientíficos proporciona oportunidades para el desarrollo del pensamiento crítico.

cuenta las dificultades para integrar distintos dominios, científicos, sociales o éticos. Una cuestión especialmente compleja es la jerarquía de valores que se establece al tomar la decisión final. Por ejemplo en la decisión sobre el proyecto de saneamiento de las Gándaras de Budiño (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002), la mayoría de los grupos asignaron más valor a las consideraciones ambientales que a las económicas (mayor coste del proyecto más respetuoso con el entorno).

Es importante diseñar un ambiente y unas tareas que promuevan la valoración de las ventajas e inconvenientes de las distintas alternativas, evitando caer en oposiciones simplistas. En situaciones reales es difícil que haya una opción que tenga sólo ventajas. En el caso de Budiño, la mayor parte del alumnado fue capaz de reconocer al final de la unidad los aspectos positivos de la que no defendía, por ejemplo que era necesario construir un colector para evitar la contaminación del río.

Como indican Jiménez Aleixandre y Pereiro (2002), estas dificultades tienen relación con la naturaleza de estos proyectos y dilemas, que introducen en el aula un objeto de la vida real, pues los alumnos y alumnas no están acostumbrados a tener que abordar problemas que presentan la complejidad de la vida real. Sin embargo, ése es el objetivo de una educación que pretende desarrollar el pensamiento crítico y formar ciudadanos y ciudadanas, es decir capacitarlos para que puedan formar sus propias opiniones y participar en la toma de decisiones. En el caso de Budiño, estos alumnos y alumnas llegaron a considerarse expertos, productores de conocimiento, y a debatir con los expertos de fuera del aula (autor del proyecto y presidente de una asociación ecologista). Si bien sólo una pequeña proporción del alumnado llegará a participar en la investigación científica, todos viven en una sociedad donde tendrán interacciones con la ciencia, y los contextos sociocientíficos ofrecen la oportunidad de desarrollar estas capacidades.

El objetivo de una educación que pretende desarrollar el pensamiento crítico y formar ciudadanos y ciudadanas es capacitarlos para que puedan formar sus propias opiniones y participar en la toma de decisiones.

En resumen

Las cuestiones sociocientíficas son dilemas sociales con base en nociones científicas y relevancia para la vida de las personas. No es fácil delimitarlas de las disciplinarias y se propone contemplarlas como parte de un espectro. Tienen implicaciones en campos sociales, éticos, políticos y ambientales, siendo necesario identificarlas y valorar su relevancia.

La argumentación sobre ellas contribuye al aprendizaje de la ciencia y sobre la ciencia, poniendo de manifiesto que es un proceso construido socialmente, a veces influido por intereses particulares, que comparte aspectos de cooperación con otros de competencia. También ofrece oportunidades para el desarrollo del pensamiento crítico.

¿Son más inteligentes unas «razas» que otras?

El 14 de octubre de 2007 el especialista en genética James Watson, premio nobel en 1962 por el descubrimiento de la estructura del ADN, declaró al *Sunday Times* que los negros son menos inteligentes que los blancos. «Quienes tratan con empleados negros saben que esto [que todas las personas son iguales] no es cierto». Afirmó también que en unos diez años se podrían identificar los genes responsables de las diferencias en inteligencia.

Examina las siguientes informaciones e indica si apoyan, refutan o no se relacionan con las afirmaciones de James Watson (JW):

- a) Todos los ganadores de las medallas de oro de atletismo en 100 m masculinos en los juegos olímpicos de 1984 a 2004 son atletas de piel negra, cuatro nacidos y entrenados en Estados Unidos, y dos nacidos en Jamaica, pero emigrados de niños a Inglaterra y Canadá, donde fueron entrenados. Ninguno fue entrenado ni vivió en países de África.
- b) Diversos estudios en Argentina y otros países latinoamericanos mues-

tran la relación entre nutrición infantil y desarrollo intelectual. En los niños que sufren desnutrición crónica (hambre) y anemia hasta los 2 años, el rendimiento intelectual en la escuela disminuye, no se concentran, repiten curso y tienen problemas con el lenguaje.

COMENTARIO

La afirmación de Watson de que las diferencias en inteligencia entre blancos y negros se deben a los genes es un ejemplo de lo que se conoce como determinismo: la idea de que el desempeño de las personas depende en exclusiva de su información genética. En la actualidad existe consenso en la comunidad científica en que las características que presentan los organismos, las personas (*fenómeno a explicar*), son resultado de la interacción de los genes con el ambiente (*causa*), aunque la influencia del ambiente presenta un amplio rango, habiendo caracteres, como los grupos sanguíneos, en que no interviene. Los ejemplos que se citan, de 3.º de ESO, están tomados de la tesis de Blanca Puig (Puig y Jiménez Alexandre, 2010b). En primer lugar, comen-

tamos cómo relaciona el alumnado los datos con la conclusión de Watson y, en segundo, su posición respecto al determinismo (que no se preguntaba explícitamente).

En cuanto a la conexión entre datos y conclusión, la dificultad de ambas informaciones, *a* y *b*, es distinta, sólo el 12,5% fue capaz de relacionar la información *a* (atletismo) con la conclusión, frente al 46% en *b* (desnutrición). Un ejemplo de coordinación es el siguiente:

Suso (*b*): «Si esto es cierto James Watson podría acertar en el hecho de que algunos negros son menos inteligentes que los blancos, pero no en la causa: esto demuestra que este hecho no se debe a que no seamos iguales, sino a la desnutrición».

En la información *a*, la mayor parte del alumnado, 75%, no fue capaz de identificar el significado de la afirmación de Watson, ni de apreciar su relación con los datos (el 12,5% de respuestas en *a* y el 33% en *b* están en una categoría intermedia no comentada aquí).

TRINI (*a*): «Porque para ganar las medallas de oro de atletismo, no es necesario ser más o menos inteligente.»

Interpretamos que quienes dan respuestas como ésta no han identificado en la afirmación de Watson la idea de que los desempeños (sean atléticos, de inteligencia etc.) de las personas dependen sólo de los genes, e interpretan la frase como restringida a la inteligencia. El alumnado de secundaria tiene dificultades para percibir pautas, similitudes entre distintos casos que pueden ser ejemplos de un mismo fenómeno, en este caso la interacción entre genes y ambiente (o la posición de que todo es determinado por los genes). Tampoco ven en estos datos una prueba de la influencia del entrenamiento y la alimentación en el desempeño en atletismo (si fuera cuestión sólo de genes, también podrían ganar atletas africanos).

En cuanto a la posición del alumnado respecto al modelo de expresión de los genes, o relaciones entre genotipo y fenotipo, también la dificultad de ambas informaciones es distinta. En *a* sólo el 12,5% (se trata de los mismos que en el uso de pruebas) reconoce la interacción entre genes y ambiente, mientras que en *b* es el 75%, como la respuesta de Suso reproducida antes. El 42% de las respuestas a *a* muestran lo que interpretamos como determinismo implícito, sin poner en cues-

ción que los negros sean menos inteligentes, por ejemplo la respuesta de Trino de Rogelia:

ROGELIA: «JW dice que los negros son menos inteligentes que los blancos, pero eso no tiene que influir en que corran más».

Una cierta proporción de estudiantes, el 16% dan respuestas a a que consideramos explícitamente deterministas, mencionando diferencias innatas:

A18: «Sí [apoya a Watson]. Porque ese hecho tiene que ver con las diferencias genéticas entre negros y blancos, aunque no en la inteligencia, en la forma física».

Para nosotras (Puig y Jiménez Aleixandre, 2010b) esto muestra que la noción aceptada por la ciencia del fenotipo como resultado de la interacción genes-ambiente

no es utilizada por esta parte del alumnado, apuntando a la influencia de la representación social de raza, más próxima a las ideas deterministas dominantes en el siglo XIX. Por ello se sugiere abordar explícitamente la cuestión de las «razas humanas» que ha desaparecido de los libros de texto, precisamente para mostrar que no son categorías jerárquicas que permitan clasificar a las personas en «superiores» e «inferiores».

La actividad sobre Watson puede ser un ejemplo de evaluación de enunciados a la luz de los datos, con el objetivo de desarrollar el pensamiento crítico. Es una noticia que tuvo amplia repercusión en la prensa, pero parece que al alumnado (del último curso en que las ciencias son comunes) y quizá al público puede resultar difícil valorar su relación con los datos.



Para saber más...

FEDERICO, M.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2006): «¿Clonación terapéutica? Decisiones sobre dilemas éticos en el aula». *Alambique*, núm. 49, pp. 43–50.

En este artículo se discuten distintas dimensiones de la investigación sobre clonación terapéutica, como la adecuación del nombre, y se propone una actividad de debate en el aula sobre sus ventajas e inconvenientes.

PUIG, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «Use of evidence and critical thinking about determinist claims on race and intelligence». *Congreso de la European Science Education Research Association (ESERA)*.

Se presentan resultados de las opiniones escritas y orales de alumnado de ESO y universidad sobre la afirmación de Watson de que los negros son menos inteligentes que los blancos, analizándolas tanto desde el punto de vista del uso de pruebas como de sus posiciones respecto al determinismo.

SCHWEIZER, D.M.; KELLY, G.J. (2005): «An investigation of student engagement in a global warming debate». *Journal of Geoscience Education*, núm. 53(1), pp. 75–84.

Este trabajo sobre argumentación de alumnado de 12 años, en una unidad didáctica sobre el cambio climático, muestra cómo es posible combinar la recogida e interpretación de extensas series de datos (actividad más próxima a la argumentación en el contexto de modelos causales) con escoger una decisión.

SIMONNEAUX, L. (2000): «Cómo favorecer la argumentación sobre las biotecnologías entre el alumnado». *Alambique*, núm, 25, pp. 27–44.

Se comparan los resultados de un debate y un juego de simulación sobre la introducción de salmones transgénicos, comparando la calidad de los argumentos del alumnado y su uso de la retórica.

Aprender a argumentar implica comunicar, persuadir a una audiencia



«Aprender a argumentar implica comunicar, persuadir a una audiencia», tiene relación con aprender a comunicar en ciencias, hablar y escribir ciencias en clase; también se aprende a articular y construir una explicación que resulte convincente para otras personas.

Hay otro tipo de herramientas, inmateriales y más sutiles, que permiten que el niño entre en contacto con sus semejantes, desarrollando y profundizando la comprensión de las relaciones entre los elementos y sus manifestaciones.

Nos referimos al lenguaje, el dibujo, la escritura, la imprenta y la lectura.

(Célestin Freinet, 1972)

¿En qué contribuye la argumentación a aprender a comunicar ideas de ciencias?

Aprender a argumentar tiene relación, además de con la evaluación, con aprender a comunicar ideas de ciencias. Es decir, de los tres tipos de prácticas asociadas a los procesos de construcción del conocimiento propuestos por Duschl, producir, evaluar y comunicar conocimiento, la argumentación, como se ha discutido en ideas clave ya expuestas, se identifica con la evaluación del conocimiento, pero también tiene una parte de comunicación de este proceso de evaluación, de hacerlo público. La comunicación de las ideas, conclusiones o pruebas es una parte sustancial de las prácticas científicas,

tanto porque requiere articular las propias ideas como porque en el proceso de debate en la comunidad científica se refinan y modifican a partir de las críticas y sugerencias de otras personas. Para que los nuevos conocimientos o modelos generen preguntas y líneas de trabajo es necesario que sean públicos. Así el modelo de la herencia particulada generó una fructífera línea de investigación sólo a partir de que el artículo de Mendel fuese «redescubierto», casi cuarenta años después de su publicación.

En la clase de ciencias, el trabajo sobre argumentación y uso de pruebas puede tomar la forma de una tarea en la que se solicite al alumnado un informe escrito sobre un problema o cuestión, por ejemplo la evaluación de un proyecto de gestión ambiental (Aznar y Pereiro, 1999) o la elección de un sistema de calefacción (Federico y otros, 2007), en el que tienen que justificar sus conclusiones o decisiones apelando a los datos disponibles. También el informe puede ser el producto final de un proyecto de investigación del alumnado sobre sus propias preguntas (Fernández López, 2009). En otros casos el alumnado tiene que preparar en pequeños grupos un debate oral, por ejemplo sobre las causas del color amarillo de los pollitos nacidos en granjas, del que ya hemos hablado en la idea clave 6 (véase pp. 114-118) (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000), o llegar a un acuerdo sobre un código de comportamiento en el campo (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007). A veces se trabajan ambos tipos de comunicación, escrita y oral. Así, en la evaluación ambiental y en la elección de calefacción, el alumnado preparó informes escritos y luego discutió las conclusiones de los informes en una puesta en común. En los proyectos de investigación del alumnado, además de realizar los informes escritos tuvieron que presentarlos oralmente en el aula y en el centro.

En esta idea clave se abordan ambos contextos: tareas que requieren escribir un informe o, en otras palabras, desarrollar un argumento por escrito, y tareas en las que tiene lugar un proceso de argumentación oral. Ambos contextos tienen muchas similitudes, pero también algunas diferencias. Por ejemplo, en los procesos orales en pequeño grupo que tienen como objetivo la producción de un informe conjunto, es frecuente la cooperación, es decir algunas personas ofrecen justificaciones o elementos de conocimiento básico a las conclusiones de otras, como Isa y Rita en el debate sobre el color de los pollitos reproducido en la idea clave 6. Decimos que hay coconstrucción de argumentos. Sin embargo, en los debates finales entre grupos; en contextos donde se agrupan los alumnos en parejas que mantienen posiciones enfrentadas, por ejemplo sobre la pena de muerte (Kuhn, 1991), o en simulaciones, puede predominar la oposición, el esfuerzo dirigido no sólo a sustentar la posición propia, sino a debilitar la contraria. Aunque la tensión entre cooperación y oposición se da tanto en contextos orales como escritos, parece interesante examinar qué condiciones favorecen una u otra.

Comunicación: enseñar a hablar y a escribir ciencias en clase

El lenguaje y la comunicación juegan un papel importante en el trabajo científico. Los resultados de las investigaciones deben ser interpretados, es decir narrados de otra forma, antes de pasar a ser considerados por la comunidad como parte del conocimiento científico (Jiménez Aleixandre, 2003b). Esto es así porque, como dice Toulmin (1977), cada uno de nosotros piensa sus propios pensamientos, pero los conceptos los compartimos con nuestros semejantes. Latour y Woolgar (1995) analizan procesos, como discusiones, conversaciones e informes escritos, que forman parte del discurso en un equipo científico, y mediante los cuales se construyen significados para los datos y observaciones.

En el aprendizaje y la enseñanza de las ciencias (y en general), se reconoce el papel del lenguaje, en una perspectiva deudora de Vigotsky y sus continuadores, que atribuye a las prácticas comunicativas humanas una función crucial en el surgimiento de las funciones mentales individuales (Wertsch, 1993). El aprendizaje del lenguaje en la clase de ciencias tiene varias dimensiones, entre las cuales:

- *Aprender a leer textos de ciencias.* Esto significa, por una parte, controlar si se comprenden o no (Otero, 1990) y desarrollar mecanismos para regular la comprensión. Por otra, como propone el grupo LIEC (Marbá, Márquez y Sanmartí, 2009), el profesorado puede diseñar estrategias con el objetivo de reducir la distancia entre el texto y el lector o lectora, ayudándole a construir su significado científico. Estas autoras han diseñado actividades encaminadas a lo siguiente:
 - Diferenciar niveles de lectura (literal, inferencial, evaluativa o creativa).
 - Lectura cooperativa, identificando la idea principal, las preguntas sugeridas por el texto y las respuestas proporcionadas.
 - Lectura crítica, identificando además las ideas, creencias e in-

El aprendizaje del lenguaje en la clase de ciencias comprende dimensiones como aprender a leer, escribir y hablar ciencias, y algunos de los recursos del lenguaje científico.

Aprender a leer textos de ciencias significa controlar si se comprenden o no y desarrollar mecanismos para regular la comprensión.

tereses que subyacen, así como las pruebas que sustentan las afirmaciones.

Aprender a escribir textos de ciencias es apropiarse de las formas lingüísticas utilizadas por la comunidad científica y transmitidas sobre todo a través de textos escritos.

- *Aprender a escribir textos de ciencias* (también denominado *escribir ciencias*, para subrayar que el alumnado puede participar en esta construcción del conocimiento). Apropiarse de las formas lingüísticas utilizadas por la comunidad científica y transmitidas, sobre todo, a través de textos escritos (Sanmartí, 1997). Para favorecer en el alumnado la capacidad de expresarse científicamente, Sanmartí propone actividades encaminadas a que elabore textos científicos:
 - De tipo descriptivo, solicitando que describa, y también que indique, diga, resuma, compare, etc.
 - De tipo justificativo / argumentativo, por ejemplo, solicitando las razones o justificaciones para una conclusión determinada (aunque esta autora no lo utiliza en el mismo sentido en que empleamos el término «argumento» en este libro).
- *Aprender a hablar ciencias*. Esta expresión ha sido acuñada por Lemke (1997) para caracterizar las clases donde se produce verdadera comunicación entre el alumnado sobre cuestiones de ciencias, es decir cuando discuten entre ellos problemas, redactan informes de experiencias o de otro tipo, hacen preguntas, etc., en vez de limitarse a contestar a preguntas del docente.
- *Aprender algunos de los recursos y herramientas del lenguaje científico*. Por ejemplo, que no tiene únicamente una función de etiquetado, sino también de interpretación (Sutton, 1997), que sirve para dar sentido a observaciones o experiencias. Alguno de estos recursos puede ser el uso de metáforas y analogías, que está relacionado con la modelización.

Aprender a hablar ciencias es característico de las clases donde los alumnos discuten problemas, redactan informes, hacen preguntas, etc.

En la evaluación del conocimiento, en la construcción de argumentos, sean escritos u orales, y sobre todo en su comunicación, se ponen en

juego todas estas dimensiones. Incluso, aunque pueda parecer menos relacionada, la de leer textos científicos, pues para evaluar un enunciado es indispensable comprender su contenido. Así, en el ejemplo de la afirmación de Watson, discutida en el apartado «En la práctica» de la idea clave anterior, una parte del alumnado pasaba por alto la referencia a los genes, interpretándola como una frase sobre los peores resultados académicos de las personas negras.

Criterios para valorar la argumentación en un informe: el pan bendito

Un modelo que nos parece riguroso y completo es el propuesto por Kelly, Regev y Prothero (2008) para analizar las líneas de argumentación en informes escritos. Fue elaborado con el objetivo de valorar trabajos de alumnado universitario y representado en esquemas como el utilizado en el cuadro 13 (p. 110) para la evolución. Para analizar la argumentación escrita de alumnado de secundaria puede adaptarse, como hemos hecho en otro trabajo (Eirexas y otros, 2005), o simplificarse. Kelly, Regev y Prothero consideran ocho criterios: por un lado, cinco que llaman epistémicos, aquí llamados de *razonamiento*, referentes a la construcción del conocimiento a través de líneas de razonamiento (LR). Y, por otro, tres que llaman retóricos, a los que nos referimos como de *persuasión*, sobre la articulación de estas líneas en un argumento convincente.

El modelo se resume en el cuadro 18 (véase la página siguiente) ilustrándolo con el ejemplo de un informe de investigación realizado por Jorge López Carracedo, un alumno de 3.º de ESO del instituto Carlos Casares (Viana do Bolo, Ourense), sobre «el pan bendito» (Fernández López y López Carracedo, 2005). La investigación parte de una pregunta formulada por el propio alumno, que pretende buscar una explicación causal a un fenómeno: la conservación de roscas de pan sin enmohecerse durante muchos años. Según la tradición local, que Jorge López

Los criterios para evaluar la argumentación en un informe escrito comprenden tanto dimensiones de razonamiento (preguntas, conclusiones, líneas de razonamiento) como de persuasión.

documentó entrevistando a nueve vecinos, este pan se vuelve «eterno» en la fiesta de la Trinidad al pasearlo nueve veces alrededor de la imagen del Padre y al tocar su manto. Dirigido por su profesor de ciencias (Luis Fernández), Jorge diseñó una batería de cuatro experimentos en los que, a lo largo de dos meses, comparó la evolución de muestras de pan bendito (obtenido de personas que lo habían llevado a bendecir previamente y creían en el efecto del rito) y no bendito. Las condiciones experimentales examinadas fueron distintas combinaciones de temperatura y humedad. Jorge concluyó que la conservación del pan dependía de la ausencia de humedad, no de si estaba bendito o no. La investigación mereció el primer premio de la *Casa das Ciencias de A Coruña*, la atención de la prensa y tuvo un gran impacto social en el pueblo. El autor mejoró, a partir de ese momento, sus resultados académicos y su interés por las ciencias, lo que le llevó a cursar estudios universitarios.

Cuadro 18. Criterios para evaluar argumentación en informes escritos (Kelly, Regev y Prothero, 2008) adaptados e ilustrados con el ejemplo del «pan bendito» (Fernández López y López Carracedo, 2005)

CRITERIOS	CARACTERIZACIÓN	EJEMPLO: «EL PAN BENDITO»
Razonamiento: pregunta		
1. Formulación pregunta.	Pregunta que se pueda resolver investigación.	¿Por qué no se estropea el pan bendecido en la fiesta del Padre Eterno de Quintela de Humoso?
2. Apoyo de la tesis en pruebas.	La tesis o conclusión debe ser apoyada por las pruebas.	La conclusión de que la conservación del pan depende de si se almacena en lugar seco o húmedo, no de la bendición, es apoyada por pruebas de cuatro experimentos.
Razonamiento: líneas (LR)		
3. Convergencia de LR.	Las distintas LR deben converger proporcionando pruebas que se apoyen entre sí.	LR1 <i>No hay diferencias</i> entre el pan bendito (B) y no bendito (NB) en ninguno de los experimentos.

CRITERIOS	CARACTERIZACIÓN	EJEMPLO: «EL PAN BENDITO»
		LR2 La aparición o no de moho se debe al grado de <i>humedad</i> .
		LR3 La <i>temperatura</i> influye en el tipo de mohos y el tiempo de degradación.
		LR4 El pan bendito <i>no es imperecedero</i> , en condiciones adecuadas crece moho en él.
		LR5 La explicación de la conservación durante años es la <i>pérdida de agua</i> al ser almacenado en un lugar seco.
4. Suficiencia de LR.	Las LR deben proporcionar suficientes pruebas.	LR1 B y NB se enmohecen o conservan de forma idéntica.
		LR2 Aparecen mohos en todas las muestras húmedas en los 4 casos.
		LR3 La temperatura no cambia la aparición o no de moho, sí el tipo.
		LR4 muestras de B se enmohecen en los 4 experimentos.
		LR5 Las muestras en seco no se alteran en los 2 meses.
5. Validez de LR.	Las LR deben construirse con inferencias válidas.	EJEMPLO: el pan B no es eterno si humedeciéndolo se degrada.
Persuasión		
6. Progresiva construcción de pruebas.	Progresar de inferencias de menor a mayor nivel.	EJEMPLO: de la influencia de la humedad a las líneas LR1/2 y luego a las conclusiones LR4/5.
7. Coherencia de LR.	Coherencia dentro de cada línea y entre ellas.	Interna entre experimentos en LR1/ 2/ 3; entre LR1/2 /3 y LR4/5.
8. Coordinación de pruebas en distintos niveles de abstracción.	Hacer explícito cómo los datos concretos apoyan las conclusiones más teóricas.	Aportar tanto datos específicos de resultados, cifras o tipos de moho, como explicaciones causales, LR5.

En conclusión, un buen informe como este constituye un argumento estructurado o un conjunto de líneas argumentales que se apoyan en las pruebas o datos concretos obtenidos en el experimento, como la comparación entre muestras de pan bendito y no bendito, el tiempo que tardan en aparecer los mohos a distintas temperaturas (de 7 a 17 días), la conservación de las muestras secas a cualquier temperatura, etc. Estas pruebas son utilizadas en los argumentos de primer nivel para establecer conclusiones como las expresadas en LR1 sobre la variable B/NB, LR2 sobre la variable humedad y LR3 sobre la variable temperatura. Estas tres líneas de razonamiento son utilizadas para establecer inferencias de segundo nivel, LR4, que el pan bendito no es imperecedero, y LR5, la propuesta de explicación de la conservación por pérdida de agua. Cabe señalar que las pruebas aportadas cumplen los criterios discutidos en la idea clave 5 (véanse las pp. 85-97); son suficientes (no hay un solo experimento, sino varios en distintas condiciones); específicas (sobre la degradación por mohos), y refutan la explicación alternativa, que la conservación se debía al rito.

Proponemos, como ejercicio para comprender esta articulación entre pruebas e inferencias, pedir al alumnado de secundaria, o al profesorado en formación, que analice el artículo de Fernández López y López Carracedo (2005) en *Alambique*, donde se resume la investigación, y que identifique en él las distintas líneas de razonamiento (que no figuran en el orden en que las presentamos aquí) y cómo se relacionan con las pruebas y entre sí.

La argumentación en diálogos orales: «ganar» o persuadir

Al definir la argumentación, en la presentación, se indicaba que en la evaluación del conocimiento, además del componente de justificación en base a las pruebas disponibles, hay que tener en cuenta el proceso social en el que se pretende convencer a una audiencia, persuadir. La

audiencia a la que nos referimos puede estar presente físicamente, en las situaciones de debates orales, o tratarse de la comunidad a la que va dirigido un texto escrito. Aunque en este apartado tratamos específicamente el primer tipo de audiencia, el componente de persuasión también debería formar parte de la argumentación escrita, como se refleja en los tres últimos criterios del modelo de Kelly, Regev y Prothero (2008).

Es necesario favorecer las prácticas de persuasión. Para ello las estrategias de agrupamiento de alumnado y de diseño de tareas ofrecen distintas ventajas e inconvenientes.

Sin embargo, como ponen de manifiesto Berland y Reiser (2009) en su análisis de las prácticas científicas favorecidas por el currículo IQWST (más información en el enlace www.iqwst.northwestern.edu/finches-download.html), el alumnado usa las pruebas para construir argumentos en mayor medida que presta atención a persuadir a otros de sus ideas y explicaciones. Berland y Reiser atribuyen esta menor atención a la persuasión al tipo de interacciones más frecuentes en la mayoría de las clases, que adoptan el formato de pregunta-respuesta-evaluación, sugiriendo que las interacciones sociales necesarias para persuadir a otras personas de una idea o explicación son inhibidas o no favorecidas en las clases tradicionales. Estos autores proponen estrategias como:

- Diseñar tareas que requieran la distinción entre pruebas e inferencias (justificaciones en términos de Toulmin).
- Crear comunidades de aprendizaje en las que uno de los objetivos del currículo sea la persuasión y las tareas requieran que el alumnado sea la audiencia para los argumentos de los demás.

Algunas de las estrategias relacionadas con las prácticas de persuasión en contextos de debate oral son, por ejemplo:

- Agrupar al alumnado en *parejas* en las que ambas personas mantengan posiciones opuestas (Kuhn, 1991).
- Diseñar las unidades didácticas de modo que los distintos equipos tengan que discutir sus explicaciones u opciones en una *puesta en común* (Federico y otros, 2007; Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002).

- Tomar las decisiones sobre cómo llevar a cabo un estudio y, en concreto, sobre unas normas para seguir en el campo, como se aborda en la idea clave siguiente, por *consenso* de toda la clase (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007).
- Realizar una *simulación* en que distintos estudiantes tengan que adoptar roles que podrán corresponderse o no con sus propias posiciones, por ejemplo sobre salmones transgénicos (Simonneaux, 2000).

Cada una de estas estrategias puede presentar distintas ventajas e inconvenientes. Por ejemplo, el debate en parejas de posiciones antagónicas puede favorecer la construcción de refutaciones y argumentos de mayor calidad, pero no la colaboración en la construcción conjunta de argumentos. En contextos en que el alumnado llega a un acuerdo en el seno de un pequeño grupo y después discuten sus posiciones con el resto de la clase, hemos encontrado que en el pequeño grupo hay cooperación y puede haber una negociación, aunque a veces un alumno o alumna que percibe estar en minoría acepta la posición mayoritaria sin estar convencido (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000) y, sin embargo, en los debates con toda la clase, se alinea con las posiciones de su propio grupo (Federico y otros, 2007; López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007), defendiéndolo a veces con estrategias retóricas, provocaciones, descalificaciones, más que con apelaciones a las pruebas, como se ilustra en el debate sobre la calefacción al final de esta idea clave. En otras palabras parece que se preocupan más por «ganar», o lo que hemos llamado en otro lugar (Jiménez Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000) «hacer de estudiante», que por persuadir, que equivaldría a lo que llamamos «hacer ciencias».

Otro aspecto que hay tener en cuenta es que tanto las decisiones en un pequeño grupo como las oposiciones y refutaciones a argumentos de otras personas pueden estar influidos por interacciones sociales

como la competencia por el liderazgo (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007). La dirección del docente es crucial para guiar el proceso de debate hacia el contraste entre ideas y pruebas, y evitar confrontaciones personales.

La dirección del docente es crucial para guiar el proceso de debate hacia el contraste entre ideas y pruebas, y evitar confrontaciones personales.

Según ha mostrado Simonneaux (2000), en su comparación entre simulaciones y debates, los argumentos son de mejor calidad en el segundo caso, cuando cada persona expresa sus propias opiniones, que en el primero, cuando deben adoptar un rol, en el que hay más apelaciones retóricas y menos argumentos de calidad.

En resumen

Aprender a argumentar no es sólo evaluar conocimiento, sino también aprender a comunicar ideas de ciencias, persuadir a otras personas de que una determinada explicación es la que mejor da cuenta de un fenómeno, de que una opción tiene más ventajas que otras. En otras palabras, comunicar equivale a hacer público el proceso de evaluación, sea por escrito u oralmente.

El lenguaje y la comunicación juegan un importante papel en la construcción del conocimiento científico, y por ello es necesario prestar atención a aprender a leer ciencias, hablar ciencias y escribir ciencias en clase, es decir leer textos controlando su comprensión y de forma crítica; hablar ciencias en el sentido de verdadera comunicación entre el alumnado y entre éste y el profesorado, y escribir informes, resúmenes, argumentos y otros tipos de textos de ciencias. Un buen informe de investigación constituye un argumento estructurado o un conjunto de líneas argumentales apoyadas por pruebas, que puede ser evaluado con criterios referentes a las preguntas, conclusiones y líneas de razonamiento, y a las dimensiones de persuasión.

Para favorecer las prácticas de persuasión del alumnado es necesario prestarle una atención específica en el diseño de actividades y estrategias, con el objetivo de que se propongan «persuadir» a los demás, más que «ganar» en una discusión.

Informes sobre elección de un sistema de calefacción

Aunque en este libro se discuten actividades para favorecer la argumentación, hay que tener en cuenta que las mejores condiciones se crean en unidades didácticas a lo largo de varias sesiones. La elección de un sistema de calefacción forma parte del trabajo de Fins Eirexas (2006; Federico y otros, 2007) en una unidad sobre la energía, sus fuentes y usos, en una perspectiva ciencia-técnica-sociedad, en 2.º de bachillerato, dos cursos, siete pequeños grupos, de la que aquí se presenta el problema central y algunos resultados. Su puesta en práctica en otras clases puede requerir adaptaciones, por ejemplo, en el contexto local o en el dossier.

Para redactar vuestro informe, podéis utilizar los apuntes y libros de texto, y acceder a Internet. Recomendamos, por ejemplo, la consulta del siguiente material:

- Información sobre el costo de la calefacción de un edificio con distintos sistemas (OCU).
- Información relativa a la «energía verde» de los grupos ecologistas, por ejemplo: Greenpeace o Adena.
- Información sobre energías renovables de las empresas eléctricas, por ejemplo: Iberdrola o Endesa.
- Información de las empresas suministradoras de gas, electricidad, gasóleo, etc., y sobre sus productos y servicios,

Carta (simulada) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC)

El Vicerrectorado de Calidad y Planificación estratégica de la USC informa:

Ante la puesta en marcha por parte de la Universidad de Santiago de Compostela de un Plan de Optimización Energética (POE), el primero de sus características en una universidad española, en el que se propone: + eficiencia y - impacto (ambiental).

SOLICITA a ustedes:

- Que le sea remitido, a la mayor brevedad posible, un informe sobre la opción de calefacción que considere más adecuada para la construcción de los nuevos edificios de la Facultad de Ciencias de la Salud. Es necesario dejar claras las razones alegadas para la toma de decisión, considerando que:
- Los gastos de primera instalación no se tienen en cuenta, sólo los gastos de mantenimiento (lo que pagará la facultad por la calefacción).
- Hay que tener en cuenta tanto el precio (coste mensual de la calefacción) como el impacto ambiental.
- Entre las posibles opciones están las que aparecen en la tabla de la revista de la OCU y otras procedentes de fuentes renovables.
- Puedes hacer otras recomendaciones que te parezcan relevantes para el objetivo de reducir costes y generar el menor impacto ambiental posible.

por ejemplo: Unión Fenosa, Gas natural o Repsol.

- Noticias de prensa sobre las ofertas de «energía verde» y el cambio climático.

(Nota: estas informaciones se suministraron en un dossier, parte en papel y parte en formato electrónico, al alumnado. En Jiménez Aleixandre y otros (2009) se indican algunas páginas web relevantes).

COMENTARIOS: el diseño de la tarea como un problema auténtico, en el que es visible la relación con la vida real (para reforzarla se utilizaron recortes de prensa sobre el Plan de Optimización y sobre la nueva Facultad de Medicina), promovió la implicación del alumnado y la realización de los siete informes escritos de cada grupo, todos de buena calidad.

La tarea es de carácter abierto, es decir que no hay una solución única, ya que con los dos criterios propuestos, mayor eficiencia económica y menor impacto ambiental, no hay ningún sistema de calefacción que pueda considerarse «ideal». Hay otros factores que los estudiantes tuvieron en cuenta, como el contexto local, es decir si determinada fuente es accesible en Santiago de Compostela o la viabilidad de contratar el suministro energético procedente únicamente de

fuentes renovables (en España no es posible por ahora). Un ejemplo del informe del grupo A (informes traducidos del gallego):

«La mejor opción sería la energía geotérmica, que consiste en la energía térmica que procede del interior de la Tierra, pero no es aprovechable en Santiago de Compostela, ya que sólo se puede dar en lugares con alto gradiente geotérmico, que suele ser 3° C cada 100 m. Sería aprovechable por ejemplo en Ourense».

Este carácter abierto da lugar a una variedad de soluciones diferentes: Gas natural (3 grupos), electricidad con tarifa nocturna (1 grupo), energía solar combinada, bien con gas natural (2 grupos) o con electricidad (1 grupo). Estos tres últimos grupos pretendían utilizar únicamente energía renovable, pero eran conscientes de la imposibilidad, con la tecnología actual, de suministrar calefacción a una facultad sólo a partir de energía solar. Ninguno escogió la energía publicitada como «verde». En palabras del profesor (Xulio Gutiérrez) en el debate final, todos los grupos escogieron la opción que consideraban «menos mala».

Al tener que defender su opción, tanto en el informe escrito como en el debate final, cada grupo tuvo que estructurar sus

argumentos, aportando pruebas y justificando la opción elegida. Al analizar la calidad de estos informes (en la investigación didáctica), se tuvieron en cuenta distintos criterios, algunos basados en el modelo de Kelly, Regev y Prothero (2008), como la suficiencia de pruebas, y el uso de pruebas en distintos niveles de abstracción, y otros propios, como:

– El uso de pruebas y justificaciones de distintos campos disciplinarios, en coherencia con el carácter sociocientífico del problema. El mayor número de campos en un informe (el A) es 7: ambiental, técnico, económico, químico, físico, geológico y salud; tres grupos utilizaron 6 campos; dos grupos, 5, y un grupo, 4, los mencionados en primer lugar.

- El tipo de líneas de razonamiento:
 - Requeridas por la tarea, es decir que aportaban datos sobre el bajo coste y el menor impacto ambiental.
 - Otras ventajas de la opción elegida, por ejemplo su poder calorífico.
 - Los datos y justificaciones de por qué se descartaban otras posibles opciones, como la energía geotérmica.
 - El reconocimiento explícito de las desventajas de la opción escogida, por ejemplo el gas natural no es re-

novable o la energía solar es intermitente.

- Sugerencias sobre cómo superar problemas o mejoras técnicas que incrementan la eficiencia de la opción escogida, por ejemplo la orientación del edificio.

En Federico y otros (2007) se comentan con más detalle ejemplos de cómo estos aspectos fueron contemplados en los informes. Por ejemplo, nos parece importante el reconocimiento de las desventajas de la opción elegida.

En el debate oral de la última sesión se pusieron de manifiesto algunas cuestiones sobre la persuasión discutidas en esta idea clave, como las intervenciones en defensa de la opción del propio grupo. Por ejemplo en este fragmento entre alumnado (identificado con seudónimos) de los grupos A (gas natural), D (solar + electricidad) y E (electricidad), después de que Damián afirmase que las opciones de los tres grupos que elegían gas natural eran «antiéticas».

DAMIÁN: «No podría dejar de respirar, sin embargo, podemos evitar el consumo de gas natural».

AINOA: «Pero... ¿tú vives sin electricidad? Como quieres evitar... como quieres

evitar consumirla si no puedes vivir sin ella...».

DAMIÁN: «Pero podemos producirla con otros métodos, la energía solar es renovable».

DIANA: «Pero el gas natural no es renovable».

(turnos no reproducidos, se apunta que la electricidad tiene origen nuclear)

ESTER: «También de la hidráulica y de la eólica que son fuentes de energía renovables».

AINOA: «Pero la nuclear no, y la eléctrica viene de la nuclear».

EVA: «Pero hay otras fuentes que sí... el gas natural ya no es renovable».

AINOA: «Bueno, pero que no sea renovable no significa que contamine más».

En esta discusión se percibe, por un lado, el énfasis en la descalificación del argumento opuesto, como «antiético», o de origen nuclear, más que en la defensa del propio con pruebas y justificaciones. Por otro lado, la última afirmación de Ainoa muestra que entiende el criterio de «bajo impacto ambiental» únicamente como menos contaminación, y no como contribución al menor agotamiento de recursos no renovables. Esta idea, que aparece en otros momentos, es coherente con los resultados de otro estudio (Federico y Jiménez Aleixandre, 2003) con una amplia muestra que considera *problema ambiental* equivalente a *contaminación*, mientras que la conservación de recursos no se tiene en cuenta en la misma medida. Actividades como ésta proporcionan la oportunidad de utilizar y refinar estas nociones en su contexto de uso.



Para saber más...

FEDERICO, M., y otros (2007): «Un sistema de calefacción sustentable: decisiones sobre un problema auténtico». *Educatio Siglo XXI*, núm. 25, pp. 51-68.

Se analiza la experiencia llevada a cabo en dos cursos de 2.º de bachillerato sobre la elección de un sistema de calefacción con el menor impacto ambiental posible. Se describe la unidad didáctica y se discuten las contribuciones de este tipo de trabajos al desarrollo de la conciencia ambiental y el espíritu crítico.

FERNÁNDEZ LÓPEZ, L.; LÓPEZ CARRACEDO, J. (2005): «Un pan eterno ¿ciencia o metafísica?». *Alambique*, núm. 45, pp. 105-110.

Se resume la investigación realizada por Jorge López y dirigida por su profesor, Luis Fernández, sobre las razones de la conservación durante décadas del pan llevado a la fiesta de Quintela. El estudio mostró que el factor más relevante en la degradación del pan era la humedad. Causó un gran impacto social en el pueblo y recibió el premio Casa das Ciencias.

SANMARTÍ, N. (1997): «Enseñar a elaborar textos científicos en la clase de ciencias». *Alambique*, núm. 12, pp. 51-61.

Se presentan propuestas para favorecer que el alumnado aprenda a expresarse científicamente, es decir a apropiarse de las formas lingüísticas usadas por la comunidad científica. Por ejemplo, elaborar textos descriptivos y justificativos.

SANMARTÍ, N. (coord.) (2003): *Aprender Ciencia tot aprenent a escriure ciències*. Barcelona. Edicions 62.

Este libro coordinado por Neus Sanmartí recoge la experiencia de su grupo de investigación sobre cómo aprender a escribir textos de ciencias y a utilizar los lenguajes de las ciencias en clase. Contiene numerosas actividades para el aula.

El alumnado argumenta si su papel en clase lo requiere



«El alumnado argumenta si su papel en clase lo requiere». Esto ocurre si el diseño de tareas y del ambiente, clima o cultura del aula, lo favorece. Una clase que favorece la argumentación es un tipo de clase constructivista, con énfasis en la evaluación del conocimiento.

*No invento para ti un miserable paraíso de momias de ratones
tan ajeno a tus huesos como el fósil del último invierno en el desván
ni absurdas metamorfosis, ni vanos espejos de leyendas doradas.*

*Sé que preferirías ser tú misma
esa protagonista de menudos sucesos archivados en dos o tres memorias.*

(Olga Orozco)

¿Cómo diseñar tareas y ambientes de clase que promuevan la argumentación?

¿Cómo diseñar tareas y ambientes de clase que promuevan la argumentación? ¿Es necesario enseñar a argumentar formalmente o es mejor que el alumnado practique la argumentación? ¿Es igual el diseño de una clase que favorece la argumentación e indagación al de una clase constructivista?

A lo largo de este libro hemos discutido cuestiones que constituyen respuestas parciales a estas preguntas y presentado actividades de distintos tipos diseñadas con el objetivo de implicar al alum-

nado en prácticas de argumentación. Lo que pretende esta idea clave es abordar esas ideas, que fundamentan las actividades presentadas, de forma más explícita y sistemática. Creemos necesario hacerlo así, pues la experiencia muestra que la argumentación y el uso de pruebas no son frecuentes en el aula, y que es preciso contar con recursos y sugerencias que ayuden al profesorado a hacer realidad estas prácticas.

Comenzando por la tercera pregunta, la relación entre ambientes de aprendizaje que favorecen la argumentación y el **constructivismo**, hay que indicar que las clases en las que se promueve la argumentación y el uso de pruebas son clases que adoptan una perspectiva constructivista, es decir que parten de la idea de que las personas construyen sus propios conocimientos. En particular, son clases en las que se pretende crear una comunidad de aprendizaje (Jiménez Aleixandre, 2003a), en las que el aprendizaje no es una cuestión individual, sino una tarea del grupo, que resuelve problemas en común y reflexiona sobre lo que aprende y cómo lo aprende. Podemos decir que el alumnado se convierte en protagonista de su propio aprendizaje. Las clases en las que se argumenta coinciden con las clases constructivistas en la manera de entender el papel del alumnado y el profesorado, en el tipo de currículo y en la evaluación, es decir en sus principios de diseño, tratados con detalle en otro trabajo (Jiménez Aleixandre, 2008) y de los que abordamos tres en los siguientes apartados. En otras palabras, son un tipo de clase constructivista en la que se presta especial atención a la evaluación del conocimiento en función de las pruebas. Esta evaluación de enunciados, teorías u opciones es lo específico de las clases en las que se argumenta.

¿Enseñar a argumentar o proporcionar experiencia?

Antes de discutir algunos de los principios de diseño comunes a las clases en las que se pretende favorecer la argumentación, conviene abordar un aspecto respecto al cual distintas líneas de trabajo adoptan posiciones diferentes: la cuestión de si es necesario enseñar a argumentar formalmente o si es mejor que el alumnado practique la argumentación.

El proyecto IDEAS (Osborne, Erduran y Simon, 2004) propone que se dediquen algunas sesiones a enseñar el concepto de *argumentación*,

así como los componentes de un argumento, según Toulmin, discutidos en la idea clave 4 (pp. 69-80). En una fase posterior, hay sesiones en las que se introducen tareas de argumentación en relación con las ciencias, como evaluar y mejorar el informe experimental de otro estudiante, o elegir entre dos teorías que explican un fenómeno seleccionando distintas pruebas. Osborne, Erduran y Simon (2004) también indican que la introducción de la argumentación precisa dos tipos de cambios en el aula: por un lado, en cuanto a la construcción del conocimiento, proponiendo una pluralidad de interpretaciones, más que una sola explicación; y, por otro, en cuanto a la estructura social de la clase, favoreciendo el diálogo y las interacciones entre el alumnado.

Reiser y colaboradores, en el proyecto IQWST (Reiser, 2010; Sandoval y Millwood, 2008), utilizan para promover la argumentación, en algunas unidades, tanto enseñanza explícita como rúbricas con criterios para evaluar conclusiones, pruebas y justificaciones (que a veces llaman «razonamientos»). Al mismo tiempo, integran las prácticas de argumentación en el diseño de actividades y proporcionan apoyo (andamiaje), por ejemplo, con un *software* específico en el que el alumnado puede seleccionar pruebas, simular distintas situaciones, etc. Estos autores han comparado clases en las que se enseña y no se enseña explícitamente, y han concluido que la influencia decisiva es lo que llaman la cultura (o clima) del aula, por ejemplo la forma en que el profesorado gestiona las ideas del alumnado.

La perspectiva que adoptamos en el proyecto RODA es que la argumentación y el uso de pruebas, como otras competencias, necesitan ser practicadas para desarrollarse, y que la enseñanza explícita de los componentes de un argumento no es lo más importante. En esto coincidimos con autores como Kuhn (1991), que propone estrategias basadas en proporcionar al alumnado experiencias de argumentación, más que enseñanza explícita, y Kelly. Proponemos que una forma de examinar las características de una clase que sustenta el desarrollo de la compe-

La argumentación y el uso de pruebas, como otras competencias, necesitan ser practicadas para desarrollarse. La influencia decisiva para favorecer la argumentación parece ser el clima o cultura del aula.

tencia argumentativa es lo que Toulmin (1977) llama *ecología intelectual*, es decir las condiciones para que unas ideas se desarrollen o cambien. Para el caso de la argumentación, esta ecología comprende dimensiones pedagógicas, como las estrategias del profesorado; cognitivas, la forma en que el alumnado percibe su papel en el proceso de aprendizaje; comunicativas, y sociales.

En el proyecto RODA, que el alumnado practique la argumentación se logra por ejemplo, como Cristina Pereiro en su clase con alumnado de 17 años, pidiéndoles que elaboren informes sobre un proyecto de saneamiento de un humedal, para el que tienen que manejar datos reales de la fauna y flora, la contaminación del río, el proyecto técnico, etc. (Aznar y Pereiro, 1999; Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002). A lo largo de las diecisiete sesiones de la unidad, el alumnado articuló conceptos relevantes con valores ambientales, modificando sus posiciones iniciales. Otro ejemplo es la toma de decisiones en 4.º de primaria sobre qué estudiar, cómo estudiarlo y cómo comportarse durante una salida de campo para estudiar una charca (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007), a lo largo de diez sesiones. En los siguientes apartados se discuten algunos ejemplos de cómo en ambos casos es el propio alumnado quien protagoniza su aprendizaje.

Un trabajo en el que la argumentación se favorece mediante la creación de una comunidad de aprendizaje es el estudio longitudinal de Lucía Mason sobre ecología y educación ambiental (1998) con cinco grupos de primaria a lo largo de los cursos 4.º y 5.º. Debían, por ejemplo, elaborar cadenas alimentarias y evaluarlas en debates, y escribir informes reflexionando sobre su propia comprensión. Mason concluye que estos niños y niñas tomaron la responsabilidad de su propio aprendizaje llevando a cabo un «aprendizado» cognitivo (en el sentido de aprender un oficio practicándolo) sobre razonamiento científico y argumentación.

En conjunto puede decirse que tanto en uno como en otro caso la condición más relevante es la creación de una cultura o un clima de

clase apropiado para favorecer la argumentación. En los siguientes apartados se discuten tres aspectos de estas clases en relación con el tipo de currículo, el papel del alumnado y el del profesorado.

Actividades auténticas y prácticas científicas: el currículo

Los procesos de argumentación no se producen en cualquier situación escolar, ni con cualquier tipo de currículo. En unas clases en las que se presentan los conocimientos, sea por el texto o por el profesorado, como algo completo y acabado, en las que el alumnado no tiene la oportunidad de realizar sus propias indagaciones o de expresar sus ideas, sino únicamente contestar preguntas que tienen una sola respuesta correcta, es difícil que encontremos argumentos.

Hay un amplio consenso en cuanto a la relación entre argumentación e indagación (*inquiry*, a veces traducido como «pequeñas investigaciones»), es decir un currículo basado en unidades en las que el alumnado debe resolver un problema o llevar a cabo un proyecto de investigación tomando parte en prácticas científicas. Lo que se entiende en este caso por prácticas científicas no son necesariamente prácticas idénticas a las de la comunidad científica, pues ni el tipo de problemas ni las tareas son iguales. Y, aunque a veces se identifica acercar la ciencia al alumnado con llevarlo a un laboratorio donde pueden manipular aparatos o practicar técnicas sofisticadas como marcadores genéticos fluorescentes, creemos que ésta es una idea poco productiva (los experimentos espectaculares sí pueden mejorar el interés del alumnado por la ciencia).

¿Qué significa entonces que el alumnado tome parte en las prácticas científicas? Si tenemos en cuenta que el trabajo científico no es sólo experimentación, sino que tiene una parte que llamamos cognitiva y discursiva, es decir proponer, revisar y evaluar ideas; seleccionar e interpretar datos; identificar pautas; proponer explicaciones, y otras se-

El currículo que favorece la argumentación está basado en problemas auténticos, situados en el contexto de la vida real y que requieren que el alumnado participe en el proceso de indagación.

mejantes, las prácticas que sí pueden llevar a cabo en el aula son las de proponer y evaluar ideas a la luz de pruebas, es decir argumentar o seleccionar e interpretar datos, y proponer explicaciones o modelos y revisarlos, es decir modelizar. En términos de las competencias científicas, diríamos que está desarrollando la capacidad de usar pruebas y de explicar fenómenos mediante modelos.

Para ello el currículo debe estar organizado en torno a lo que llamamos problemas o actividades auténticos (Jiménez Aleixandre, 2003a y 2008). El cuadro 19 resume problemas auténticos de distintos proyectos, que comparten las características que se discuten a continuación.

Cuadro 19. Ejemplos de problemas y prácticas auténticos

TAREA, TEMA, CURSO	PROBLEMA (RESUMEN)	PROYECTO, REFERENCIA
Elección de calefacción Energía y sus usos (c. de la Tierra y medio ambiente) 2.º bachillerato.	La Universidad de Santiago de Compostela solicita un informe sobre el sistema de calefacción para la nueva Facultad de Medicina, con los criterios de menor impacto ambiental y mayor eficiencia económica.	RODA FEDERICO, M., y otros (2007): «Un sistema de calefacción sostenible: decisiones sobre un problema auténtico». <i>Educatio Siglo XXI</i> , núm. 25, pp. 51-68.
El tubo de Budiño Gestión ambiental (biología y geología) 1.º bachillerato.	La consejería de medio ambiente de la <i>Xunta de Galicia</i> solicita un informe sobre la construcción de una red de colectores, parte del plan de saneamiento de las riberas del Louro. Si el informe es negativo, debe proponerse una alternativa.	RODA AZNAR, V.; PEREIRO, C. (1999): «Una consultora en 3.º de BUP. «¿Construir un colector?» <i>Alambique</i> , núm. 20, pp. 29-36.
Sintiendo el ambiente Adaptaciones de las plantas	¿Por qué son distintas las plantas en montañas diferentes? Construir una explicación a partir de experiencias de laboratorio y	BGuILE SANDOVAL, W.A.; MILLWOOD, K.A. (2008): «What can ar-

TAREA, TEMA, CURSO	PROBLEMA (RESUMEN)	PROYECTO, REFERENCIA
<p>al ambiente (ciencias naturales, USA) 1.º ESO (Grade 7).</p>	<p>datos del entorno virtual sobre el tamaño de las hojas, humedad, temperatura e intensidad de luz en las distintas zonas.</p>	<p>gumentation tell us about epistemology?», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.) (2008): <i>Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research</i>. Dordrecht. Springer.</p>
<p>Al rescate del U201 Wolf Flotación (física y química) 4.º ESO.</p>	<p>El ayuntamiento convoca un concurso para sacar a flote el submarino U-201 Wolf de la segunda Guerra Mundial hundido en la ría de Vigo. Hay que construir un modelo de «submarino», hundirlo y sacarlo a flote.</p>	<p>RODA BERNAL, Á.; ÁLVAREZ, V.; ALEIXANDRE, M.P. (1997): «Ao rescate do U-201 Wolf: unha experiencia no proxecto RODA». <i>Boletín das Ciencias</i>, núm. 32, pp. 61-66.</p>
<p>¿Salmones o sardinas? Flujo de energía en ecosistemas (biología) 4.º ESO.</p>	<p>Un pueblo ha sufrido un huracán que ha destruido cosechas y ha matado el ganado. Durante una temporada el único recurso para alimentarse serán los peces de una bahía. Para poder alimentar a la máxima población durante el mayor tiempo posible, ¿qué sería mejor: alimentarse de arenques y sardinas o de salmón?</p>	<p>RODA BRAVO, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2010): «¿Salmones o sardinas? Una unidad para favorecer el uso de pruebas y la argumentación». <i>Alambique</i>, núm. 63, pp. 19-25.</p>
<p>¿Cómo puedo oler a distancia? Modelo corpuscular de la materia (física y química) 6.º educación primaria.</p>	<p>Construir una explicación sobre experiencias: cómo podemos oler a distancia, qué pasa al comprimir un recipiente lleno de aire; por qué el papel indicador cambia de color en presencia de amoníaco (sin tocarlo); por qué un colorante se difunde antes en agua caliente que en fría.</p>	<p>IQWST REISER, B. (2010): «Volviendo a pensar la enseñanza de las ciencias: implicando a alumnado y profesorado en las prácticas científicas». <i>Enseñanza de las Ciencias</i>. [en prensa]</p>

- Constituyen un verdadero *problema*, es decir que no tiene una solución inmediata ni obvia. No se trata de una pregunta retórica cuya respuesta puede encontrarse en un libro. Por ejemplo: ¿cómo podemos reflotar un submarino que está hundido en la ría de Vigo? (Bernal, Álvarez y Jiménez Aleixandre, 1997).
- Son *relevantes* para el alumnado, están situados en un contexto de la vida real; presentan situaciones familiares (esto no quiere decir necesariamente domésticas o locales), de forma que los estudiantes puedan reconocer su relación con la vida real, su utilidad. A veces los problemas auténticos son también verdaderos, pero no siempre tiene que ser así. El ejemplo del submarino parte de un caso real, pero también puede ser una situación inventada.
- Requieren *procesos de indagación* para su resolución: seleccionar datos e interpretarlos para buscar una explicación, por ejemplo: ¿por qué son distintas las plantas que viven en unas montañas locales de las que viven en otras? (Sandoval y Millwood, 2008). En ese proceso, a través de un entorno virtual, los estudiantes pueden analizar cómo la temperatura, humedad e intensidad de la luz afectan al tamaño de las hojas. Es decir se pide bien que elaboren una explicación, o bien que relacionen los datos disponibles con alguna de las explicaciones propuestas, y que descarten otras hipótesis en función de los datos. En otros casos puede tratarse de realizar experimentos, como el estudio del pan bendito.
- Son *abiertos*, en el sentido de poco estructurados, como son los problemas de la vida real. Es deseable que generen una variedad de respuestas posibles (aunque a veces, en cuestiones puramente disciplinarias sólo una sea adecuada), como la elección de un sistema de calefacción discutida en la idea clave anterior, pues esta variedad favorece tanto el debate como que cada solución deba apoyarse con pruebas y justificaciones. La apertura puede en-

tenderse también como distintos procesos o caminos que pueden seguirse para resolver los problemas.

Como hemos visto, estos procesos requieren *tiempo*, no se pueden llevar a cabo en un par de sesiones o tres. Sería necesario un cambio del currículo que redujese el número de temas obligatorios, dejando tiempo para llevar a cabo estos proyectos en clase.

Sería necesario un cambio del currículo que redujese el número de temas obligatorios, dejando tiempo para llevar a cabo estos proyectos en clase.

Los alumnos y alumnas como productores y evaluadores del conocimiento

En las clases diseñadas para promover la argumentación, como en otras clases constructivistas, el alumnado desempeña un papel activo como productor del conocimiento más que como consumidor de conocimiento producido por otros (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002). Este protagonismo por parte del alumnado de su propio aprendizaje puede enmarcarse en lo que Bereiter y Scardamalia (1989) llaman aprendizaje intencional, que es aquel deseado y controlado por la persona que aprende. Estos autores proponen que las destrezas que desarrolla un estudiante en la instrucción son las requeridas por su papel. En el caso de la argumentación, esto significa que para desarrollar competencias argumentativas, por ejemplo relacionar una conclusión con las pruebas que la sustentan, su papel en clase tiene que demandar esas competencias. No pueden limitarse a escuchar y contestar brevemente a preguntas cerradas, sino que tienen que tomar parte en prácticas de evaluación del conocimiento que implican, por ejemplo:

En las clases argumentativas el alumnado desempeña un papel activo como productores y evaluadores de conocimiento justificado en pruebas.

- *Elaborar productos que puedan ser comparados y evaluados.* Como modelos físicos, maquetas (Gómez Galindo, Sanmartí y Pujol, 2007; Reiser, 2010), experimentos diseñados por ellos mismos (Fernández López, 2009), o informes escritos (Aznar y Pereiro, 1999; Federico y otros, 2007). Producir respuestas en forma de explicaciones, soluciones a problemas, decisiones, críticas a

enunciados, acuerdos, etc. O realizar predicciones (Candela, 1999).

- *Elegir entre dos o más alternativas en base a las pruebas disponibles.* Por ejemplo, distintas explicaciones de un fenómeno físico o natural, como el comportamiento de la luz (Osborne, Erduran y Simon, 2004), las causas de los terremotos (Duschl, 1997) o la supervivencia de unos pinzones (Reiser, 2010). O tomar decisiones sobre opciones que se podrían seguir, por ejemplo qué comer para que unos recursos duren más (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2010), qué tipo de ventana instalar (Kolstø y Ratcliffe, 2008), si se debe establecer o no una granja de salmones transgénicos (Simonneaux, 2000), o si se debe autorizar la clonación terapéutica y en qué condiciones (Federico y Jiménez Aleixandre, 2006).
- *Intentar persuadir a otras personas o alcanzar acuerdos.* Por ejemplo sobre su propio comportamiento en una salida al campo (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007), sobre qué tipo de calefacción causa menos impacto ambiental (Federico y otros, 2007), o sobre el papel de las plantas en un ecosistema (Mason, 1998).
- *Apoyar sus conclusiones u opciones en pruebas.* Pueden ser datos empíricos obtenidos en experimentos como el del pan bendito (Fernández López, 2009; Fernández López y López Carracedo, 2005), datos suministrados en la tarea (Bravo y Jiménez Aleixandre, 2010; Osborne, Erduran y Simon, 2004), o datos que deben seleccionar y procesar de un dossier informativo o un entorno en línea (Aznar y Pereiro, 1999). Además, utilizar *criterios* adecuados para evaluar las pruebas y la calidad de los argumentos, por ejemplo sobre la marea negra del *Prestige* (Federico, 2004).

Estas prácticas forman parte de un conjunto, están relacionadas entre sí, pues los estudiantes elaboran productos que pueden ser comparados, eligen entre ellos en base a pruebas y persuaden a otros.

El papel del profesorado

El protagonismo del alumnado en los contextos argumentativos y, en general, en las clases constructivistas no significa que el docente sea uno más. En las comunidades de aprendizaje el profesor o profesora es responsable de dirigir las indagaciones, de orientar la actividad hacia los objetivos de aprendizaje. Detenta la autoridad intelectual, que no cabe confundir con autoritarismo. Contemplar el aprendizaje como un proceso social implica que el docente actúe necesariamente como modelo de las competencias que el aprendizaje va a desarrollar. En términos de Vigotsky es la experta o experto, el tutor que guía la práctica. ¿En qué se concreta este papel de favorecer la argumentación de niños y niñas o de adolescentes? Por ejemplo:

- *Actuar como modelo y dirigir la indagación, la investigación del alumnado.* Como se discute en el apartado sobre el currículo, indagación y argumentación están conectadas, comparten objetivos. Actuar como modelo significa que el docente investiga, pregunta, usa pruebas, debate, habla y escribe ciencias, llevando a cabo (modelando) las actividades que deseamos que realice el alumnado.
- *Promover que el alumnado use pruebas.* Por ejemplo mediante el diseño de tareas en las que se solicite la justificación de las explicaciones u opciones, mediante preguntas abiertas que animen a hacer explícitas las pruebas (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007), solicitando aclaraciones o estimulando generalizaciones (Mason, 1998), o atendiendo a las preguntas y propuestas del alumnado, aunque éstas hagan cambiar el rumbo del discurso (Candela, 1999).
- *Compartir con el alumnado los objetivos de aprendizaje, los criterios para seleccionar explicaciones u opciones.* Es decir los criterios para evaluar las propias pruebas y para construir argumentos de calidad. En algunos casos puede tomar la forma de

El papel del profesorado en ambientes argumentativos es proporcionar andamiaje y ejercer de modelo para la indagación y la evaluación del conocimiento.

una rúbrica proporcionada al alumnado (Osborne, Erduran y Simon, 2004). En otros el docente comparte con el alumnado la autoridad para evaluar lo aprendido (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007).

- *Estimular la reflexión del alumnado.* Acerca de su propio aprendizaje (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2005; Mason, 1998) y cómo regularlo o de los cambios en sus posiciones entre el comienzo y el final de la unidad o proyecto (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002).

La evaluación continua y la regulación del aprendizaje son otras características relevantes que contribuyen a crear una comunidad de aprendizaje.

Aunque nos hemos centrado en el papel del alumnado, el profesorado y el currículo, otras características relevantes de estos ambientes de aprendizaje son la evaluación continua y la regulación del aprendizaje. Ambas son complementarias y contribuyen a crear una comunidad de aprendizaje.

En resumen

El alumnado argumenta si su papel en clase lo requiere. Esto ocurre si el diseño de tareas y del ambiente, clima o cultura del aula, favorece sus experiencias con la argumentación. En algunos casos puede ser útil combinarlo con la enseñanza de algunas ideas sobre la argumentación. Como otras competencias, la argumentación y el uso de pruebas necesitan ser practicadas para desarrollarse.

Las clases argumentativas son un tipo de clases que adoptan una perspectiva constructivista, constituyen comunidades de aprendizaje y de pensamiento en las que lo característico son las prácticas de evaluación del conocimiento. En ellas se llevan a cabo indagaciones, se trabaja sobre problemas auténticos, en los que los estudiantes pueden reconocer su relación con la vida real, problemas que requieren trabajar con datos y seleccionar explicaciones u opciones.

Los niños y niñas que protagonizan su aprendizaje toman parte en argumentos. En estas clases el alumnado tiene un papel activo, elabora productos que pueden ser evaluados y comparados, escoge entre alternativas en base a pruebas e intenta llegar a acuerdos. El profesorado

en estos ambientes ejerce el papel de modelo, guía estos procesos y favorece que el alumnado controle sus aprendizajes y reflexione sobre sus propias ideas. Son clases en las que circula el conocimiento y éste se usa como una herramienta.

Una comunidad de aprendizaje en clase de ciencias

¿En qué se concreta el protagonismo del alumnado en su propio aprendizaje? Los fragmentos de diálogos que se reproducen a continuación tienen lugar en una clase de 4.º de primaria (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007) que está preparando una salida al campo, en la que la maestra (siguiendo la metodología del centro) comparte con el alumnado las decisiones sobre cómo comportarse en el campo (sesiones 1 y 2), qué estudiar en una charca (sesiones 3 y 4) y cómo estudiarlo (sesión 5). Los nombres son seudónimos.

En la sesión 3 los niños y niñas han preparado en grupos propuestas sobre lo que les interesa estudiar y lo debaten con el conjunto de la clase para llegar a un acuerdo:

PROFESORA: «Está bien... a ver, más cosas que os interesen de la charca».

NÉSTOR: «La cadena alimentaria... es que... tenemos...».

FINA: «Lo que queremos saber es qué comen los animales de la charca».

PROFESORA: «A ver, Fina. Explícalo bien, venga...».

FINA: «Queremos saber qué comen los animales ¿no?, y cómo se van comiendo

unos a otros y cuáles son los que comen a cuáles».

PROFESORA: «¿Y eso cómo lo vais a estudiar?».

LINO: «Primero miraremos en los libros, y después observamos...».

TINA: (...) «A ver si es verdad...».

LINO: «Observamos a ver si es verdad, o a lo mejor están confundidos... a lo mejor el libro está refiriéndose sólo a una charca y no a todas las del mundo. Entonces hay que mirar y ver lo que hay».

PROFESORA: «No sé bien lo que quieres decir. ¿Puedes explicarte mejor?».

LINO: «Bueno, quiero decir... que a lo mejor el libro dice lo que comen los tritones o las ranas o los sapos... Pero después en esta charca a lo mejor no las hay... y por eso tenemos que observar; para saber primero lo que hay, y después ver si comen lo que dice el libro».

En este diálogo se puede observar, en primer lugar, cómo los niños y niñas proponen estudiar «la cadena alimentaria», lo que constituye una categoría abstracta y supone un nivel de desempeño cognitivo mayor que mencionar ejemplos de la categoría como «lo que comen los tritones». En su segunda intervención, Fina muestra que entiende lo que significa cadena ali-

mentaria, aclarándolo. En segundo lugar, las intervenciones de Lino y Tina son un ejemplo de que estos niños se consideran productores de conocimiento, y que no aceptan sin cuestionar la autoridad del libro, sino que se proponen contrastarla con sus observaciones.

En cuanto al papel de la maestra, sus intervenciones favorecen que el alumnado «hable ciencias», animándolos a que expliquen sus propuestas, solicitando aclaraciones o preguntando «¿cómo lo vais a estudiar?», es decir asignándoles un papel activo.

Después de una animada discusión, tanto en esta sesión como en la 4.^a, y algunos conflictos, se llega a un acuerdo sobre qué cuestiones estudiar, y en la sesión 5 la maestra propone decidir cómo estudiarlas: si todos los temas todos, o si unos, unas cosas y otros, otras:

HUGO: «El origen de la charca, yo creo que sería mejor que lo hiciéramos todos porque es un tema importante, saber el origen de la charca».

FINA: «Yo también creo que sí, y además es una cosa que vamos a poder investigar todos, porque la charca allí está y no se va a ir».

ZOILLO: «Bueno, yo, sin embargo, no lo considero tan importante para que todos

nos dediquemos a eso. Y además, si lo hace un grupo, cuando lo descubra, cuando sepa el origen de la charca, nos lo podrá contar a todos los demás, ¿no?».

HUGO: «Hombre, claro que lo pueden contar, pero no es lo mismo descubrirlo por uno mismo que nos lo cuenten».

Hugo argumenta su propuesta de estudiarlo todos en que «no es lo mismo descubrirlo por uno mismo», en referencia a un modo de aprendizaje que considera mejor que «que nos lo cuenten». Consideramos esta frase, y otras parecidas que aparecen más tarde, como un ejemplo de cómo el alumnado de esta clase percibe el aprendizaje y su papel.

Estos son algunos ejemplos de un clima o cultura de aula (y en este caso del centro) que promueve la participación activa. En ese clima la profesora valora y presta atención a las ideas de los niños y niñas y éstos pueden ver cómo sus propuestas son llevadas a cabo. Se les pide que justifiquen sus propuestas y opciones y se favorece la persuasión, pues todas las decisiones se toman tras llegar a acuerdos. Los alumnos y alumnas argumentan porque éste es el papel que se requiere de ellos. En otro trabajo (López Rodrí-

guez y Jiménez Aleixandre, 2007), se analizan con detalle los argumentos a lo largo de toda la unidad y en particular la elaboración de un código de campo, centrado en el respeto por el medio y los seres vivos. Cabe indicar que un factor importante a la hora de trabajar de este modo es el tiempo. La unidad se desarro-

lló a lo largo de diez días, siete en el aula y tres en el campo, y la profesora empleó cinco de ellos en el proceso de toma de decisiones, incluyendo períodos para leer libros sobre los temas que había que estudiar y discutir en pequeño grupo. Los resultados indican que este tiempo fue bien empleado.



Para saber más...

AZNAR, V.; PEREIRO, C. (1999): «Una consultora en 3.º de BUP. ¿Construir un colector?». *Alambique*, núm. 20, pp. 29-36.

Se describe una unidad sobre gestión ambiental en las gándaras de Budiño, centrada en el proyecto de colector que pretendía solucionar la alta contaminación de la zona, pero al mismo tiempo implicaba grandes alteraciones de un frágil ecosistema.

CANDELA, A. (1999): *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. Barcelona. Paidós.

Un estudio sobre la enseñanza de ciencias en primaria en México, en aulas donde los niños y niñas explican sus observaciones, proponen ideas distintas a las de la maestra, argumentan y, también, buscan el consenso a través de la persuasión.

LÓPEZ RODRÍGUEZ, R.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2007): «¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio de una charca». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 25(3), pp. 309-324.

En este artículo se presentan resultados de una unidad didáctica en 4.º de educación primaria en la que las decisiones sobre qué estudiar en una charca, cómo estudiarlo y cómo comportarse en el campo son tomadas por los propios estudiantes, que se convierten así en protagonistas de su aprendizaje. Se analizan sus argumentos sobre un código de campo.

Un buen argumento tiene en cuenta los argumentos opuestos



«Un buen argumento tiene en cuenta los argumentos opuestos», además de apoyarse en las pruebas pertinentes, debe considerar las hipótesis alternativas, sean explícitas (conclusiones opuestas) o potenciales. El pensamiento crítico implica la evaluación de argumentos de otros.

Más bien sería lo verdaderamente nuestro (lo positivo de Occidente) la facultad crítica: la flexibilidad de la razón para volverse contra sus propios productos y denunciar la falsedad de sus ideas.

(Agustín García Calvo, 1965)

¿Cómo enseñar a evaluar argumentos de otros en base a pruebas?

Uno de los contextos de desarrollo de la argumentación es el análisis y crítica de enunciados de otras personas. Esta capacidad forma parte del pensamiento crítico, de las competencias que permiten a una persona ejercer la ciudadanía activamente. Permite, por ejemplo, leer críticamente noticias de prensa relacionadas con cuestiones polémicas, como pueden ser la autorización de cultivos transgénicos, la producción de energía en centrales nucleares, la regulación de los usos del suelo, la gestión del agua o la clonación humana llamada terapéutica, y formarse su propia opinión sobre ellas, que puede no coincidir con la de quien escribe el artículo o quien resume la información. Dicha capacidad

hace posible que la ciudadanía participe (en la medida en que el contexto político lo permita) en la toma de decisiones sobre estas cuestiones, en vez de dejarlas únicamente en manos de los técnicos.

Esto no siempre es fácil y, como se ilustra en la idea clave 7 con el ejemplo de las afirmaciones de Watson sobre las diferencias de inteligencia entre razas (pp. 134-136), al alumnado y al público en general le puede resultar difícil valorar si un enunciado es una simple opinión o si está apoyado por pruebas, incluso cuando se suministran informaciones que, para la ciencia, sí constituirían pruebas.

Una situación en la que también es necesario criticar las conclusiones o enunciados de otras personas es el debate entre dos o más propuestas, sean explicaciones de un fenómeno, predicciones u opciones diferentes. En el aula decimos que son procesos de argumentación dialógica.

En esta idea clave se aborda esta dimensión de las competencias en argumentación y uso de pruebas, en primer lugar, discutiendo en qué medida ser capaz de apoyar con pruebas los enunciados propios y criticar los opuestos constituye un criterio de calidad de la argumentación, y, en segundo lugar, examinando las condiciones que favorecen los diálogos argumentativos en clase de ciencias. También se discute un tipo especial de argumento, basado en la condición de experto de quien lo emite, y cómo lograr que el alumnado adopte el papel de experto en estos contextos.

¿Qué criterios hay que utilizar para evaluar la calidad de la argumentación?

Los argumentos de más calidad tienen en cuenta las posibles hipótesis alternativas, llegando a cuestionar las pruebas que las apoyan.

Para valorar la calidad de la argumentación, es decir qué argumentos son mejores que otros y cómo se progresa en la competencia argumentativa, partimos de la idea de que un buen argumento, además de apoyarse en las pruebas pertinentes, tiene en cuenta los argumentos opuestos. En otras palabras, además de aportar pruebas para sustentar las conclusiones u opciones propias, debe considerar las hipótesis alternativas. Éstas a veces son explícitas, por ejemplo cuando se trata de las conclusiones opuestas sobre la interpretación de un fenómeno natural, como las teorías geocéntrica y heliocéntrica, las hipótesis de los miasmas y del contagio sobre las causas de las infecciones, la hipótesis del flogisto y la de Lomonósov / Lavoisier sobre la conservación de la masa, o la hipótesis de la eficacia de un rito frente a la de las condicio-

nes de sequedad en la conservación del pan. También pueden ser explícitas cuando se trata de distintas opciones sobre una decisión, como la elección de un sistema de calefacción discutida en la idea clave 8. Otras veces se trata de alternativas potenciales que, aunque no hayan sido enunciadas, deben ser tenidas en cuenta al evaluar un dato o prueba: la posibilidad de que sea interpretado de una forma distinta, por ejemplo la prueba del ADN en el caso de Copérnico. Esta discusión de las interpretaciones alternativas a la propia es necesaria en el trabajo científico, sobre todo, al escribir un informe o un artículo.

Las hipótesis alternativas pueden ser explícitas o implícitas.

¿Qué quiere decir considerar o tener en cuenta los argumentos opuestos? Esta capacidad puede tener distintos grados. Una propuesta sobre las destrezas (*skills*) de argumentación utilizada o reelaborada en la literatura sobre argumentación es la de Kuhn (1991), en la que cada destreza supone el dominio de las anteriores. Las resumimos en el cuadro 20, partiendo de la simple distinción entre enunciado y prueba hasta la capacidad de generar refutaciones para las teorías alternativas a la propia. Hay que notar que en este caso refutación tiene un significado distinto del que le asigna Toulmin.

Cuadro 20. Destrezas de argumentación (D = Dato, Rf = Refutación)

DESTREZA	CARACTERIZACIÓN	EJEMPLO
Distinguir entre enunciado y prueba.	Capacidad de distinguir entre un enunciado, afirmación, hipótesis o teoría y las pruebas o datos que lo sustentan.	La distinción entre el enunciado «El fuel (del <i>Prestige</i>) no llegará a la costa» y los datos que (según quien habla) lo sustentan «una parte del fuel se evaporará» (Federico, 2004).
Apoyar los enunciados con pruebas.	Capacidad de aportar, identificar o seleccionar pruebas que sustentan la afirmación, hipótesis o teoría propia.	Pruebas identificadas por Semmelweis a favor de la hipótesis del contagio: más muertes en el pabellón 1; distintos estudiantes en 1 y 2; sólo los de 1 toman parte en las disecciones, etc.

DESTREZA	CARACTERIZACIÓN	EJEMPLO
Generar enunciados alternativos al propio.	Capacidad de formular una conclusión o hipótesis distinta de la propia o contraria a ella.	«La mejor opción [de calefacción] sería la energía geotérmica» indica el grupo A que escoge gas natural (Eirexas y otros, 2005).
Generar contraargumentos completos, incluyendo pruebas.	Capacidad de formular un argumento: 1. Opuesto al propio. 2. En contra del opuesto, identificando pruebas que lo apoyen.	(2) Contraargumento al de que el pan se conserva si está bendito: el pan se conserva si se almacena en un lugar seco. Pruebas: el idéntico comportamiento de pan bendito y no bendito en todos los experimentos y el que la humedad sea el factor que condiciona la aparición o no de moho (Fernández López y López Carraçado, 2005).
Generar refutaciones para las teorías alternativas a la propia, incluyendo pruebas.	Capacidad de criticar no sólo el enunciado o conclusión opuesto, sino las pruebas o justificaciones en las que se apoya.	Argumentos opuestos de alumnado de 4.º de primaria sobre si coger ranas (Eloy) o no hacerlo (Ovidio): ELOY: «Pues yo en mi casa tengo peces en un acuario y no se mueren (D1) y están muy bien (D2)». OVIDIO: «No se mueren porque los cuidas, porque si no los cuidas muy bien se mueren (Rf a D1)... y eso de que están bien habría que preguntárselo a ellos (Rf a D2). (López Rodríguez y Jiménez Aleixandre, 2007).

Fuente: elaboración propia a partir de Kuhn (1991)

Las capacidades señaladas en primer y segundo lugar, distinguir entre enunciado y prueba, y apoyar los enunciados con pruebas, constituyen un paso indispensable en el proceso de argumentación. Debemos señalar que, en nuestra opinión, un aspecto al que Kuhn presta menos

atención es el de las justificaciones, es decir las conexiones entre las pruebas y la conclusión, que como se ha discutido en otras ideas clave tienen gran importancia en el aprendizaje de las ciencias. Creemos que los argumentos que, además de enunciados y pruebas, cuentan con justificaciones son de mejor calidad que los argumentos que cuentan simplemente con pruebas. Estas dos capacidades (tres si contamos la capacidad de conectar las pruebas con las conclusiones) no siempre implican tener en cuenta otras hipótesis alternativas.

Sin embargo, si consideramos además de la dimensión de justificación la de persuasión, es decir si tenemos en cuenta la audiencia (esté presente físicamente en una situación de debate, o virtualmente, en un texto escrito), es importante ser capaz de representarse o generar la alternativa o alternativas que, potencialmente, pueden oponerse a la propia. Así, por ejemplo, lo hacen dos libros publicados con motivo del bicentenario de Darwin en 2009, *Por qué la teoría de la evolución es verdadera* de Jerry Coyne (2009), y *Evolución* de Richard Dawkins (2009b), que dirigen su argumentación explícitamente contra el creacionismo y sus diferentes versiones como el «diseño inteligente». Un grado más sería generar no sólo una hipótesis alternativa, sino identificar las pruebas que podrían apoyarla. Por ejemplo, Coyne discute algunas de las pruebas representadas en el argumento sobre la evolución del cuadro 13 (p. 110), como la universalidad del código genético o la presencia de órganos vestigiales, contrastándolas con la hipótesis del diseño, ya que, si los organismos actuales fuesen resultado del diseño, no tendrían por qué conservar rasgos como el apéndice, que no tiene ninguna función y es una fuente de problemas. En la argumentación de mejor calidad, la crítica se dirige no sólo a la conclusión o enunciado alternativo, sino a las pruebas o datos que lo sustentan: es más que enunciar una oposición, constituye una refutación.

Para Kuhn el desarrollo de estas capacidades requiere determinado estadio del desarrollo cognitivo: en la infancia se parte del nivel «rea-

Los argumentos que, además de enunciados y pruebas, cuentan con justificaciones son de mejor calidad que los argumentos que cuentan simplemente con pruebas.

Si tenemos en cuenta a la audiencia, es importante ser capaz de representarse o generar la alternativa o alternativas que, potencialmente, pueden oponerse a la propia.

En la argumentación de mejor calidad, la crítica se dirige no sólo a la conclusión o enunciado alternativo, sino también a las pruebas o datos que lo sustentan.

lista», en el sentido de considerar los enunciados como copias de la realidad externa; más adelante se pasa al «absolutista», reconociendo las representaciones mentales como productos de la mente, que pueden ser ciertas o no; en la adolescencia se accede al nivel «multiplista», reconociendo que puede haber desacuerdo sobre enunciados de conocimiento, con el riesgo de pensar que todas las opiniones pueden ser igualmente adecuadas, y en el último nivel, el «evaluativista», se reconoce que no todas las explicaciones son iguales, que pueden ser evaluadas y que unas son sustentadas por pruebas y justificaciones mientras que otras no lo son.

¿Qué condiciones favorecen los diálogos argumentativos?

En cierto sentido puede decirse que la argumentación es, por naturaleza, dialógica. Esto es así si, siguiendo a Bajtín, consideramos situaciones dialógicas no sólo el debate en voz alta, sino el proceso por el que una persona articula un enunciado teniendo en cuenta otras ideas además de las propias, por ejemplo las de su audiencia. Éste puede ser el caso de un profesor o profesora que presenta un modelo en el aula, por ejemplo sobre fuerza y movimiento, y lo hace discutiendo las ideas previas del alumnado. En ese sentido buena parte de los teóricos de la argumentación la consideran como un proceso social, incluso cuando se trata de un razonamiento individual, en la medida en que se dirige a una audiencia potencial.

Sin embargo, suele denominarse argumentación dialógica en sentido estricto a un proceso de debate entre varias personas. En la idea clave 8 hemos abordado la argumentación en informes escritos, así como algunas cuestiones que hay que tener en cuenta sobre la argumentación en debates orales. Aunque autores como Kuhn tratan la argumentación dialógica casi como sinónimo de situaciones en que se enfrentan dos argumentos opuestos, como puede ser el caso de los ejemplos del cuadro 20 (pp. 175-176), en nuestra opinión éste no es el

La argumentación dialógica puede tener lugar en contextos de cooperación, en los que domina la persuasión, o bien en contextos de oposición, en los que la refutación es uno de los criterios para evaluar su calidad. En ambos casos es crucial el papel que se requiere del alumnado.

único contexto en el que se producen diálogos. Hay que tener en cuenta, además de la oposición, contextos de cooperación, como sería el diálogo en los pequeños grupos, previo a la puesta en común (o el apoyo mutuo entre alumnado del mismo pequeño grupo), en los ejemplos de la marea negra del *Prestige*, la elección de calefacción o la decisión sobre si se debían capturar ranas o no. Es decir, la capacidad de refutación es un criterio de calidad en contextos en los que se enfrentan dos posiciones, pero también hay otros criterios de calidad, como las pruebas aportadas, las justificaciones, la coherencia entre líneas de razonamiento o las estrategias de persuasión, que debemos tener en cuenta en los contextos de cooperación.

La capacidad de refutación es un criterio de calidad en contextos en los que se enfrentan dos posiciones, pero también hay otros criterios de calidad, como las pruebas aportadas, las justificaciones, la coherencia entre líneas de razonamiento o las estrategias de persuasión, que debemos tener en cuenta en los contextos de cooperación.

¿Qué condiciones favorecen los diálogos argumentativos? Por una parte, como docentes, debemos promover la cooperación y persuasión en la construcción de argumentos en el seno de pequeños grupos. Para ello son importantes las dimensiones del diseño de ambientes de aprendizaje que promuevan la evaluación del conocimiento, como las discutidas en la idea clave 9: tareas que impliquen al alumnado en prácticas científicas y en la resolución de problemas auténticos, papel activo del alumnado, docente que dirija las indagaciones, o clima de confianza mutua. Por otra parte, en contextos de contraste entre dos posiciones, los estudios de argumentación han identificado condiciones que favorecen la justificación y la refutación, por ejemplo la oposición explícita: cuando todos los participantes están de acuerdo, puede considerarse innecesario justificar un enunciado, al contrario de situaciones en que existe un desafío explícito a una posición. En la idea clave 8 se han resumido algunas estrategias relacionadas con la persuasión.

¿Quién es experto? El alumnado como experto

El análisis de la argumentación puede hacerse desde otros puntos de vista que tienen en cuenta, además de las pruebas y justificaciones, di-

El análisis de la argumentación puede hacerse desde otros puntos de vista que tienen en cuenta, además de las pruebas y justificaciones, dimensiones como el tipo o categoría de argumentos.

mensiones como el tipo o categoría de argumentos, siguiendo a Walton (1996). De los tipos de argumentos discutidos por Walton, hay dos que consideramos de especial interés para la argumentación en el aula, los argumentos de experto y la cara explícita e implícita de los enunciados. Ambos aspectos son relevantes para el desarrollo del pensamiento crítico.

Walton define como experto en un campo determinado del conocimiento a la persona que está en posición de saber (o conocer) sobre los enunciados en ese campo, por lo que su opinión «en general se supone que tiene peso a su favor» (Walton, 1996, p. 64). Puede decirse que el experto es considerado socialmente como tal, y que su posición tiene un valor mayor que el de otras personas no expertas. Para Walton hay cinco preguntas que podemos hacernos sobre el experto o experta:

1. ¿Es un auténtico experto en el campo?
2. ¿Enunció la proposición que se le atribuye?
3. ¿Es relevante el enunciado o proposición para la cuestión que se discute?
4. ¿Es consistente el enunciado con lo que dicen otros expertos en el campo?
5. ¿Es consistente el enunciado con las pruebas que se conocen en el campo?

En la utilización de esta categoría de argumentos de experto para el análisis de la argumentación del alumnado sobre la marea negra (Federico, 2004), que se discute más adelante, hemos considerado las cuestiones 1, 4 y 5, dando por supuesto que las respuestas a 2 y 3 son afirmativas. No obstante, hay que tener en cuenta que un análisis minucioso de noticias de prensa o de publicidad debería incluir también la consideración de si el experto ha dicho lo que se le atribuye o si se han distorsionado sus afirmaciones, y si el enunciado es relevante para la cuestión discutida. Así, en las recensiones de prensa sobre la clona-

ción humana anunciada por Hwang en 2004 (que después se reveló como un fraude), los calificadores modales como «seguramente» o «probablemente» presentes en el artículo original fueron eliminados o sustituidos. Por ejemplo «se espera que (los trasplantes) no produzcan rechazo» se transformó en «trasplantes que el paciente nunca rechazará». Igualmente cabe preguntarse si lo que se afirma es relevante para la cuestión discutida o no lo es. Por ejemplo, un principio de la homeopatía, considerada una pseudociencia por la medicina, afirma que «lo semejante se cura con lo semejante», es decir que los síntomas producidos por una sustancia tóxica pueden ser curados con la misma sustancia tóxica muy diluida. Las ciencias médicas sostienen que ese principio no guarda ninguna relación con los procesos de las enfermedades que se pretenden curar.

En cuanto a las cuestiones 1, 4 y 5, en primer lugar cabe preguntarse si el experto o experta lo es realmente. En la argumentación sobre la marea negra (Federico y Jiménez Aleixandre, 2005) el alumnado puso en duda este carácter de experto de una de las personas. En la comunidad científica se presta atención a la coherencia entre los enunciados de distintos expertos de un campo dado: si en un artículo o informe nuestras afirmaciones se contradicen con las de otras personas, será necesario justificarlas con más detalle, y puede que en un primer momento no sean aceptadas, como ocurrió con la atribución, por parte de Warren y Marshall, de las úlceras estomacales al *Helicobacter pylori*, que tardaría muchos años en ser reconocida, al ser contraria a las causas que se le atribuían en trabajos anteriores. En segundo lugar, la consistencia con las pruebas es la dimensión central de la argumentación en el sentido en que se ha discutido en este libro.

Puede surgir la cuestión de si esta categoría de argumentos de expertos es lo que en otras ideas clave hemos denominado argumento de autoridad. En nuestra opinión, aunque tienen algunas semejanzas, como la mayor valoración social atribuida a la posición de los expertos,

una distinción importante es que los argumentos de autoridad se basan únicamente en la confianza en la persona (por ejemplo Galeno), texto (Biblia) o institución que avala ese conocimiento, sin atender a las pruebas. En la propuesta de Walton, sin embargo, se tienen en cuenta distintos aspectos, entre ellos las pruebas.

Otro aspecto de los discutidos por Walton, mencionado al inicio de este apartado, es el de los compromisos explícitos e implícitos de los participantes en un diálogo, que expresa en términos de cara «iluminada» y cara «oscura»:

Una cara iluminada, conjunto de proposiciones conocidas o a la vista de todos los participantes, y una cara oscura, conjunto de proposiciones no conocidas o no visibles para todos o algunos de los participantes. Esta cara oscura representa los compromisos implícitos. (Walton, 1996, p. 26)

Un ejemplo de esta cara oscura puede ser el compromiso de Richard Doll (autor del trabajo sobre la relación entre fumar y el cáncer de pulmón) con las industrias químicas como Monsanto, y en qué medida el sueldo que recibía de estas empresas influía en sus informes, que descartaban la relación entre la dioxina, presente en el agente naranja, y el cáncer. Como se ha discutido en la idea clave 7, esta «cara oscura» sólo se conoció tras la muerte de Doll y, según autores como Hardell, debía haberse hecho pública. Puede decirse que Doll, al firmar esos informes como miembro de la asociación contra el cáncer, estaba apropiándose de una condición de experto que, de haberse sabido su vinculación con la empresa fabricante del agente naranja, habría sido puesta en duda. En los argumentos sobre la marea negra discutidos a continuación puede observarse que el alumnado tiene en cuenta esta cuestión.

En cuanto al trabajo en el aula, la cuestión que se plantea es si el alumnado puede actuar como una comunidad de expertos, es decir si puede, por una parte, sentirse con autoridad suficiente para evaluar

Los argumentos de experto y la cara iluminada y oscura de los compromisos de los participantes en un diálogo son otras dimensiones que hay que considerar en la argumentación. En condiciones adecuadas los alumnos y alumnas pueden asumir el papel de expertos.

alternativas y realizar propuestas y, por otra, si los criterios que utiliza para ello son coherentes con los de los expertos del campo. Ambas cuestiones se discuten, por ejemplo, en el caso de los informes sobre el plan de saneamiento de las gándaras (Jiménez Aleixandre y Pereiro, 2002), mostrando que a lo largo de las diecisiete sesiones de trabajo la autoestima del alumnado aumentó, desde poner en duda su propia capacidad para criticar el plan de la Administración hasta llegar a entrevistarse con su autor para plantearle alternativas fundamentadas. Además, la comparación entre los criterios utilizados por el alumnado y por dos expertos (uno de ellos el autor del plan) indica que son coherentes, aunque el grado de complejidad de los argumentos sea distinto. En otras palabras, como se ha discutido en la idea clave anterior, los alumnos y alumnas pueden llegar a actuar como productores de conocimiento y como expertos si éste es el papel que se demanda de ellos en clase y si reciben el apoyo adecuado por parte del profesorado. Desarrollar las competencias para desempeñar este papel contribuye al pensamiento crítico, que les permitirá ejercer una ciudadanía responsable.

Desarrollar las competencias en el alumnado para desempeñar este papel de productores de conocimiento y de expertos contribuye al pensamiento crítico, que les permitirá ejercer una ciudadanía responsable.

En resumen

Un buen argumento tiene en cuenta los argumentos opuestos, sean explícitos o incluso implícitos, es decir enunciados o explicaciones alternativas a la propia. El análisis y crítica de los enunciados de otras personas forma parte del pensamiento crítico.

La capacidad de considerar o tener en cuenta los argumentos opuestos tiene distintos grados que pueden ser útiles como instrumento para evaluar la calidad de la argumentación. Consideramos que un argumento que cuenta con pruebas es mejor que un simple enunciado, y uno que además establece justificaciones que conectan conclusión y pruebas es aún mejor. Si tenemos en cuenta la dimensión de persuasión, es decir la consideración de la audiencia, será mayor la calidad de la capacidad de formular hipótesis alternativas a la propia, de identificar pruebas que las apoyen y, finalmente, de refutar estas pruebas.

En el aula los diálogos argumentativos pueden tener lugar en contextos de cooperación en los que domina la persuasión, por ejemplo cuando se elabora un informe en pequeño grupo o en contextos de oposición, sea entre personas o entre grupos. En los contextos de oposición la refutación es uno de los criterios para evaluar su calidad.

Otros instrumentos para analizar y evaluar la argumentación pueden ser las categorías de argumento de experto y la cara iluminada (*explícita*) y oscura (*implícita*) de los compromisos de distintos participantes. En un ambiente de aprendizaje adecuado, los alumnos y alumnas desempeñan el papel de expertos, lo que contribuye al desarrollo del pensamiento crítico y, por tanto, a su formación como ciudadanos y ciudadanas.

La evaluación de la información sobre la marea negra en la prensa

Esta actividad forma parte del trabajo de Marta Federico Agraso (2004; Federico y Jiménez Aleixandre, 2005), en el contexto de la marea negra del *Prestige* en los últimos meses de 2002 y primeros de 2003. Un grupo de 2.º de bachillerato (23 estudiantes), en una unidad sobre el petróleo y los combustibles fósiles en ciencias de la Tierra y del medio ambiente, realiza una tarea de análisis de recortes de prensa que constituían predicciones sobre la evolución del vertido. Se entregaron dos fotocopias de periódicos A y B. A reproducía las declaraciones de K. Scanzel (S), identificada como «bióloga, miembro del ITOPF», quien afirmaba que el fuel procedente del barco hundido no alcanzaría la costa, porque parte de él se evaporaría y otra parte se rompería en pequeñas gotas que serían degradadas por los microorganismos. B reproducía declaraciones de G. Herrouin (H), portavoz del IFREMER (oceanográfico francés) y coordinador de las operaciones de análisis del accidente, quien negaba que el combustible se fuese a evaporar. B incluía declaraciones de otros científicos indicando que sólo un 5% del combustible era volá-

til y que los análisis mostraban una degradación del 12% en un mes. Las preguntas o tareas son:

1. Resumid la conclusión de Scanzel (u otras de A) y las razones en que se fundamenta.
2. Resumid la conclusión de Herrouin (u otras de B) y las razones en que se fundamenta.
3. A la vista de los argumentos de las dos partes, indicad vuestra opinión sobre el tema y las razones en que se fundamenta.

Para analizar las respuestas del alumnado, que trabajó en seis pequeños grupos, hay que tener en cuenta que los argumentos tenían conclusiones opuestas: A: el fuel no llegará a la costa, y B: el fuel llegará a la costa (implícitamente si habría marea negra o no). Para ello se basaban en cuatro tipos de pruebas del mismo campo, pero apelando a datos contradictorios:

- *Magnitud del vertido.* A, son «pequeñas gotas» y B, 80 toneladas/día.
- *Evaporación.* A, se evaporará parte y B, sólo el 5%.
- *Degradación.* A, se degradará parte y B, sólo el 12% al mes.

- *Pruebas empíricas en la costa.* (sólo B) la llegada de nuevas manchas.

Los seis grupos coincidieron en la respuesta a la pregunta 3, que el fuel alcanzaría la costa. Las pruebas más citadas, en 5 grupos, fueron la magnitud del vertido y los datos empíricos de su propia experiencia en la costa afectada, seguidas de la degradación.

Aunque no se solicitaba explícitamente la valoración de la posición de experto de Scanzel y Herrouin, todos los grupos la realizaron. El periódico A no aclaraba que era el ITOPF, y el contexto podía llevar a pensar que se trataba de un instituto de investigación oceanográfico como IFREMER, mas una búsqueda en Internet permitió identificar las siglas como *International Tanker Owners Pollution Federation* (Federación Internacional de Contaminación de Propietarios de Petroleros), lo que fue incluido en la información al alumnado. Esto restó credibilidad a la posición de experto de Scanzel, como puede verse en los informes escritos (traducidos del gallego, los nombres son seudónimos).

BEA: «En la opinión de nuestro grupo el fuel seguirá llegando a las costas porque salen 80 toneladas diarias y sólo se

degrada un 5%. Y además llega muy fragmentado, lo que impide su recogida en alta mar. Opinamos así porque Guy Herrouin está allí viendo día a día cómo sale y se degrada el fuel; mientras Kathy Scanzel pertenece a ITOPF y sólo defiende a los que le pagan. Además eso es algo que nosotros mismos podemos ver con tan sólo acercarnos a la costa».

ANTÓN: «Mi opinión es que en cierto modo Guy tiene razón, la densidad de los vertidos es notable, lo que dificulta su degradación. La teoría de Kathy es si cabe muy fantasiosa, con sólo ver dos imágenes o estar por la zona afectada se puede comprobar que el espesor de 0,001 mm de las capas se multiplica muchísimo en realidad. El hecho de llamar a las manchas con nombres culinarios da también aspecto de inofensivos a los vertidos. En este caso también hay cierta manipulación de la información».

Cinco de los grupos apoyaron la posición de Herrouin y el grupo D criticó las de ambos (pues la de Herrouin les parecía demasiado suave). La valoración de la posición de experto de Herrouin la justifican por su presencia en el lugar del hundi-

miento (por ejemplo Bea), así como en las justificaciones que ha dado sobre la pequeña tasa de degradación (Antón). Al contrario, Scanzel no es considerada como una experta independiente, por su vinculación a ITOPF (Bea), y otros aluden a que no ha estado en el lugar del accidente. Es decir, los estudiantes identifican la «cara oscura» del compromiso de Scanzel.

La capacidad de refutación se pone de manifiesto en la crítica de las pruebas o datos a los que apelaba Scanzel: como puede verse en los dos ejemplos, los estudiantes van más allá de exponer la conclusión opuesta (el fuel llegará a la costa), criticando la afirmación de que se degradará una parte importante (aunque Bea confunde la tasa de evaporación, 5%, con la de degradación), aludiendo tanto a su fragmentación como a la alta densidad. Antón también critica otro dato aportado por Scanzel en

cuanto al espesor del vertido, que ella cifraba en 0,001 mm.

La mayoría de los grupos hace referencia, tanto en los informes escritos como en el debate oral, a su propia experiencia en la costa (Bea), ya que participaron en la limpieza de las playas afectadas. Consideramos que se apropian del papel de expertos, sintiéndose con capacidad de criticar a los científicos y la información de la prensa. En este sentido es interesante la referencia de Antón a los términos culinarios, que fueron empleados profusamente, por ejemplo lentejas, galletas, lasaña o *mousse* de chocolate. Para este alumno, esos términos contribuyen a que los vertidos parezcan inofensivos, lo que califica de manipulación de la información.

En resumen, puede decirse que este tipo de tareas contribuye a desarrollar la capacidad de evaluar enunciados de otras personas, cuestionando incluso sus pruebas y desempeñando el papel de expertos.



Para saber más...

CANDELA, A. (1991): «Argumentación y conocimiento científico escolar». *Infancia y Aprendizaje*, núm. 55, pp. 13-28.

En este trabajo sobre la enseñanza de las ciencias en México, se analizan las características de un ambiente de clase que contribuye a crear las condiciones para la participación del alumnado de primaria en la construcción social del conocimiento científico. Se analiza la argumentación del alumnado y sus explicaciones alternativas.

JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2008): «Designing argumentation learning environments», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer, pp. 91-115.

En este capítulo se analizan las características y principios de diseño que promueven la argumentación, a partir de estudios publicados. Se presta especial atención a la evaluación del conocimiento por parte del alumnado y al papel que se requiere de ellos. Se discuten también los criterios para evaluar la argumentación.

MASON, L. (1998): «Sharing cognition to construct scientific knowledge in school contexts. The role of oral and written discourse». *Instructional Science*, núm. 26, pp. 359-389. (Trad. cast.: «Compartir el proceso de aprendizaje científico». *Indexnet*. Disponible en: <www.santillana.es>).

Se describe una comunidad de aprendizaje a lo largo de los cursos 4.º y 5.º de primaria, en la que los niños y niñas asumieron la responsabilidad de su propio aprendizaje sobre cuestiones de ecología y educación ambiental.



Glosario

APRENDER A APRENDER

Competencia básica que supone la capacidad para continuar aprendiendo a lo largo de la vida de manera cada vez más eficaz y autónoma.

ARGUMENTACIÓN

Proceso de evaluación de enunciados de conocimiento –por ejemplo hipótesis, conclusiones o teorías– en base a las pruebas disponibles en un momento dado.

ARGUMENTO

Producto del proceso de argumentación, en la forma de relaciones entre el enunciado sometido a evaluación y las pruebas, es decir de coordinación entre explicación y pruebas.

ARGUMENTO DE AUTORIDAD

Evaluación en la que las pruebas se sustituyen por la autoridad intelectual (no «autoritarismo») de una persona o institución experta en cuyos conocimientos se confía.

AUTORIDAD INTELLECTUAL O CIENTÍFICA

Crédito o fiabilidad que se concede a una persona o institución en determinado campo o materia.

COMPETENCIA

La capacidad de poner en práctica, de forma integrada, en contextos y situaciones diversas, los conocimientos, las destrezas y las actitudes personales desarrollados en el aprendizaje.

COMUNIDAD DE APRENDIZAJE

Grupo de personas implicadas en aprender conjuntamente unas de otras, adoptando un papel activo, protagonizando su aprendizaje. Pueden contemplarse como un tipo de comunidad de práctica.

COMUNIDAD DE PRÁCTICA	Grupo de profesionales (de un oficio, como comadronas, o de aprendizaje, como en un aula) en el que se comparten prácticas sociales y culturales, y en el que se aprende conjuntamente cómo mejorarlas.
CONCLUSIÓN	En un argumento, el enunciado que se pretende probar o refutar. En general, proposición que se deriva de otras que se admiten o demuestran.
CONSTRUCTIVISMO	Perspectiva educativa que considera que las personas aprenden construyendo sus propios conocimientos y no porque éstos sean transmitidos por otras. Por ello se propone crear en las clases oportunidades de aprendizaje mediante la participación activa.
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	Normas para juzgar un enunciado de conocimiento (hipótesis, conclusiones, teorías), particularmente, para valorar si constituyen explicaciones / interpretaciones válidas o no.
DATO	Antecedente necesario para llegar al conocimiento de algo. Puede ser una información, magnitud, cantidad, relación o testimonio para llegar a la solución de un problema o a la comprobación de un enunciado.
ESPECÍFICO/ ESPECIFICIDAD	Lo que es propio o característico de un problema, cuestión, fenómeno o cosa (en oposición a lo que es general).
EXPLICACIÓN	Exposición de las causas o razones de alguna cosa. En este libro se abordan las explicaciones causales que persiguen la interpretación de las causas de los fenómenos físicos y naturales.

EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO	Proceso de comparación entre diferentes opciones o explicaciones que compiten por interpretar un fenómeno natural o un acontecimiento social, en base a criterios consensuados en una comunidad (científica o escolar).
HIPÓTESIS	Enunciado o suposición que se establece provisionalmente y que puede ser confirmada o negada.
JUSTIFICACIÓN	Enunciado que relaciona la conclusión (el enunciado que se somete a evaluación) con las pruebas. A veces puede ser implícito.
MODELIZAR (REALIZAR MODELOS)	La modelización científica es una práctica de la ciencia que comprende elementos o desempeños de la práctica, como construir, usar, revisar y evaluar modelos, y el conocimiento sobre la naturaleza y función de los modelos (metaconocimiento).
MODELO	Un modelo científico es una representación abstracta y simplificada de un sistema que hace visibles sus rasgos clave y puede usarse para explicar y predecir fenómenos científicos.
PENSAMIENTO CRÍTICO	La capacidad de desarrollar una opinión independiente, adquiriendo la facultad de reflexionar sobre la realidad y participar en ella.
PERSUASIÓN / PERSUADIR	Inducir o convencer, con razones, a una audiencia para creer en algo, aceptar una perspectiva o realizar alguna acción.
PRUEBA	Observación, hecho, experimento, señal, muestra o razón con la que se pretende mostrar que un enunciado es cierto o es falso.

RACIONALIDAD	Capacidad de razonar; pensar, evaluar y comportarse de acuerdo con principios y criterios guiados por la razón (en oposición a los prejuicios).
REFUTACIÓN / REFUTAR	Rebatir, demostrar que un enunciado no es cierto o adecuado, llevando a descartarlo. En la actualidad, en los estudios de argumentación se entiende como cuestionar pruebas.
SOCIOCIENTÍFICA (CUESTIONES SOCIOCIENTÍFICAS)	Controversias sociales que tienen en su base nociones científicas; en las cuestiones sociocientíficas la ciencia está implicada en un debate social.
VALIDEZ/ VÁLIDO	Calidad de válido, que da solidez y fuerza a algo. En el contexto de investigación, si examina o mide lo que pretende examinar.

Referencias bibliográficas

- ACHER, A.; ARCÀ, M.; SANMARTÍ, N. (2007): «Modeling as a teaching learning process for understanding materials». A case study in primary education. *Science Education*, núm. 91(3), pp. 398-418.
- AIKENHEAD, G.S. (1985): «Collective Decision Making in the Social Context of Science». *Science Education*, núm. 69, pp. 453-475.
- (2006): *Science education for everyday life: Evidence-based practice*. Nueva York. Teachers' College Press.
- AZNAR, V.; PEREIRO, C. (1999): «Una consultora en 3.º de BUP. ¿Construir un colector?». *Alambique*, núm. 20, pp. 29-36.
- BEREITER, C.; SCARDAMALIA, M. (1989): «Intentional learning as a goal of instruction», en RESNICK, L. (ed.): *Knowing, learning and instruction*. Hillsdale. Lawrence Erlbaum, pp. 361-392.
- BERLAND, L.K.; REISER, B. (2009): «Making sense of argumentation and explanation». *Science Education*, núm. 93, pp. 26-55.
- BERNAL, M.; ÁLVAREZ, V.; JIMÉNEZ M.P. (1997): «Ao resgate do U-201 Wolf: unha experiencia no proxecto RODA». *Boletín das Ciencias*, núm. 32, pp. 61-66.
- BOURDIEU, P. (1997): *Capital cultural, escuela y espacio social*. México, D.F. Siglo XXI.
- BRAVO, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura». *Congreso de Enseñanza de las Ciencias* (Barcelona, 7-10 septiembre). Barcelona. Universidad Autónoma de Barcelona.
- (2010): «¿Salmones o sardinas? Una unidad para favorecer el uso de pruebas y la argumentación en ecología». *Alambique*, núm. 63, pp. 19-25.
- BRAVO, B.; PUIG, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009): «Competencias en el uso de pruebas en argumentación». *Educación Química*, núm. 20, pp. 137-142.
- BRECHT, B. (1956): *Galileo Galilei*. Buenos Aires. Losange.
- CANDELA, A. (1991): «Argumentación y conocimiento científico escolar». *Infancia y Aprendizaje*, núm. 55, pp. 13-28.

- (1999): *Ciencia en el aula. Los alumnos entre la argumentación y el consenso*. Barcelona. Paidós.
- CAÑAS, A.; MARTÍN-DÍAZ, M.J.; NIEDA, J. (2007): *Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico*. Madrid. Alianza Editorial.
- CARR, W.; KEMMIS, S. (1988): *Teoría crítica de la enseñanza. La investigación-acción en la formación del profesorado*. Barcelona. Martínez Roca.
- COYNE, J. (2009): *Porqué la teoría de la evolución es verdadera*. Barcelona. Crítica.
- DAWKINS, R. (2007): *El espejismo de Dios*. Barcelona. Espasa Calpe.
- (2009a) «Heat the hornet». *The Times Literary Supplement* (TLS) (11 febrero 2009).
- 2009b: *Evolución*. Madrid. Espasa.
- DÍAZ DE BUSTAMANTE, J.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2008): «El desarrollo de competencias para usar la noción de célula en secundaria», en CALVO, P.; FONFRÍA, J. (eds.): *Recursos didácticos en ciencias naturales*. Madrid. Real Sociedad Española de Historia Natural, pp. 169-186.
- DOLL, R.; HILL, A.B. (1950): «Smoke and carcinoma of the lung. A preliminary report». *British Medical Journal*, 4682, pp. 739-748. También disponible en: <www.bmj.com/cgi/reprint/2/4682/739>. DOI: 10.1136/bmj.2.4682.739.
- DUSCHL, R.A. (1995): «As causas dos terremotos. Unha exploración sobre a posibilidade de explicacións antagónicas», en BRAÑAS, M.; GONZÁLEZ, M.C.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Traballando coas Ciencias da Terra*. Santiago de Compostela. ICE, Servicio de Publicacións de Universidade de Santiago de Compostela, pp. 105-120.
- (1997): *Renovar la enseñanza de las ciencias. Importancia de las teorías y su desarrollo*. Madrid. Narcea.
- DUSCHL, R.A.; GRANDY, R.E. (eds.) (2008): *Teaching scientific inquiry. Recommendations for research and implementation*. Rotterdam. Sense Publishers.
- EIREXAS, F. (2006): *A calidade da argumentación sobre un problema sociocientífico: niveis epistémicos, xustificacións e interaccións sociais na toma de decisións*. Tráballo de investigación tutelado. Universidade de Santiago de Compostela.
- EIREXAS, F., y otros (2005): «Calidad de las justificaciones, uso de conceptos y consistencia entre datos e inferencias en la toma de decisiones». *VII Congreso*

- Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias* (Granada, 7-10 septiembre). Granada. Universidad de Granada.
- ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.) (2008): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer.
- FEDERICO, M. (2004): *Conclusiones xustificadas e non xustificadas e criterios de avaliación en bacharelato: o vertido do Prestige*. Trabajo de investigación tutelado. Universidade de Santiago de Compostela.
- FEDERICO, M.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2003): «Percepción de los problemas ambientales por el alumnado: los recursos naturales». *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*, núm. 17, pp. 91-105.
- (2005): «Apropiación del discurso científico: niveles epistémicos en la justificación de enunciados sobre la marea negra». *VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias*. (Granada, 7-10 septiembre). Granada. Universidad de Granada.
- (2006): «¿Clonación terapéutica? Decisiones sobre dilemas éticos en el aula». *Alambique*, núm. 49, pp. 43-50.
- FEDERICO, M., y otros (2007): «Un sistema de calefacción sustentable: decisiones sobre un problema auténtico». *Educatio Siglo XXI*, núm. 25, pp. 51-68.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, L. (2009): «Los proyectos de investigación del alumnado para la adquisición de las competencias básicas». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 186.
- FERNÁNDEZ LÓPEZ, L.; LÓPEZ CARRACEDO, J. (2005): «Un pan eterno ¿ciencia o metafísica?». *Alambique*, núm. 45, pp. 105-110.
- FEYNMAN, R. (1969): «¿Qué es la ciencia?». *XIV Convención anual de la Asociación Nacional de Profesores de Ciencias de los Estados Unidos* (1966). *Physics Teacher* (septiembre).
- FREINET, C. (1972): *Por una escuela del pueblo*. Barcelona. Fontanella.
- FREIRE, P. (1970): *Pedagogía del oprimido*. Madrid. Siglo XXI.
- GÓMEZ GALINDO, A.; SANMARTÍ, N.; PUJOL, R. (2007): «Fundamentación teórica y diseño de una unidad didáctica para la enseñanza del modelo de ser vivo en la escuela primaria». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 25(3), pp. 325-340.
- HABERMAS, J. (1987): *Teoría de la acción comunicativa*. Madrid. Taurus.

- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (1991): «Cambiando las ideas sobre el cambio biológico». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 9(3), pp. 248-256.
- (1996): «La variabilidad en la descendencia: comparación de teorías explicativas». *Alambique*, núm. 8, pp. 33-41.
- (2002): «Aplicar la idea del cambio biológico ¿por qué hemos perdido olfato?». *Alambique*, núm. 32, pp. 48-55.
- (2003a): «El aprendizaje de las ciencias: construir y usar herramientas», en *Enseñar Ciencias*. Barcelona. Graó, pp. 13-32.
- (2003b): «Comunicación y lenguaje en la clase de ciencias», en *Enseñar Ciencias*. Barcelona. Graó, pp. 55-71.
- (2008): «Designing argumentation learning environments», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer, pp. 91-115.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; DÍAZ DE BUSTAMANTE, J. (2003): «Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias: cuestiones teóricas y metodológicas». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 21(3), pp. 359-378.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; ERDURAN, S. (2008): «Argumentation in science education: An overview», en (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-bases research*. Dordrecht. Springer, pp. 3-27.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; FERNÁNDEZ PÉREZ, J. (1987): «El “desconocido” artículo de Mendel y su empleo en el aula». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 5(3), pp. 239-246.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; PEREIRO, C. (2002): «Knowledge producers or knowledge consumers? Argumentation and decision making about environmental management». *International Journal of Science Education*, núm. 24(11), pp. 1171-1190.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; PUIG, B. (2010a): «Argumentation, evidence evaluation and critical thinking», en FRASER, B.; TOBIN, K.; MCROBBIE, C. (eds.): *Second international handbook for Science Education*. Dordrecht. Springer. [En prensa]
- (2010b): «Argumentación y evaluación de explicaciones causales en ciencias: El caso de la inteligencia». *Alambique*, núm. 63, pp. 11-18.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; BRAVO, B.; PUIG, B. (2009): «¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas?». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 186, pp. 10-12.

- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; BUGALLO, A.; DUSCHL, R.A. (2000): «Doing the lesson or doing science: Arguments in high school genetics». *Science Education*, núm. 84, pp. 757-792.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P., y otros (2009): *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela. Danú. [Hay edición en gallego y en inglés]. También disponible en línea en: <www.rodausc.eu>.
- JOHNSON, S. (1991): *Food for thought: The cookie analogy*. Center for Biology Education. Madison. University of Wisconsin.
- KELLY, G. J.; DRUKER S.; CHEN, C. (1998): «Students' reasoning about electricity: combining performance assessment with argumentation analysis». *International Journal of Science Education*, núm. 20(7), pp. 849-871.
- KELLY, G.J., REGEV, J.; PROTHERO, W. (2008): «Analysis of lines of reasoning in written argumentation», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer, pp. 137-157.
- KOLSTØ, S.D. (2001): «Scientific literacy for citizenship: tools for dealing with the science dimension of controversial socioscientific issues». *Science Education*, núm. 85, pp. 291-310.
- KOLSTØ, S.D.; RATCLIFFE, M. (2008): «Social aspects of argumentation», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer, pp. 117-136.
- KOLSTØ, S.D., y otros (2006): «Science students' critical examination of scientific information related to socio-scientific issues». *Science Education*, núm. 90(4), pp. 632-655.
- KUHN, D. (1991): *The skills of argument*. Cambridge. Cambridge University Press.
- (1992): «Thinking as argument». *Harvard Educational Review*, núm. 62, pp. 155-178.
- LATOUB, B.; WOOLGAR, S. (1995): *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*. Madrid. Alianza.
- LEGARDEZ, A.; SIMONNEAUX, L. (2006): *L'école à l'épreuve de la réalité. Enseigner les questions vives*. París. ESF.
- LEMKE, J. (1997): *Aprender a hablar ciencias. Lenguaje, aprendizaje, valores*. Barcelona. Paidós.

- LÓPEZ RODRÍGUEZ, R.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2007): «¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio de una charca». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 25(3), pp. 309–324.
- MARBÁ, A.; MÁRQUEZ, C.; SANMARTÍ, N. (2009): «¿Qué implica leer en clase de ciencias?». *Alambique*, núm. 59, pp. 102-111.
- MASON, L. (1998): «Sharing cognition to construct scientific knowledge in school contexts. The role of oral and written discourse». *Instructional Science*, núm. 26, pp. 359-389. (Trad. cast.: «Compartir el proceso de aprendizaje científico». *Indexnet*. Disponible en: <www.santillana.es>).
- MENSHUTKIN, B.: *Russia's Lomonosov*. Princeton. Princeton University Press, p. 120.
- OCDE (2006): PISA 2006. *Marco de la evaluación: Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y lectura*. Madrid. Santillana / Ministerio de Educación y Ciencia.
- OROZCO, O.: *Eclipses y fulgores*. Barcelona. Lumen.
- OSBORNE, J.; ERDURAN, S.; SIMON, S. (2004): *Ideas, Evidence and Argument in Science. In-service Training Pack, Resource Pack and Video*. Londres. Nuffield Foundation.
- OTERO, J. (1990): «Variables cognitivas y metacognitivas en la comprensión de textos científicos: El papel de los esquemas y el control de la propia comprensión». *Enseñanza de las Ciencias*, núm. 8(1), pp. 17-22.
- PEDRINACI, E. (2003): «La enseñanza y el aprendizaje de la geología», en JIMÉNEZ ALEIXANDRE M.P., y otros (coord.): *Enseñar Ciencias*. Barcelona. Graó, pp. 147-174.
- PERRENOUD, P. (2004): *Diez nuevas competencias para enseñar*. Barcelona. Graó.
- POSTMAN, N.; WEINGARTEN, C. (1973): *La enseñanza como actividad crítica*. Barcelona. Fontanella.
- PUIG, B.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2009a): «¿Qué considera el alumnado que son pruebas de la evolución?». *Alambique*, núm. 62, pp. 43-50.
- (2009b): «Use of evidence and critical thinking about determinist claims on race and intelligence». *Congreso de la European Science Education Research Association (ESERA)*.
- «Real Decreto 1631/2006, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria». *Boletín Oficial del Estado* (5 enero 2007), pp. 677 - 773.

- REISER, B. (2010): «Volviendo a pensar la enseñanza de las ciencias: implicando a alumnado y profesorado en las prácticas científicas». *Enseñanza de las Ciencias*. [En prensa]
- RIECHMANN, J. (2000): *Cultivos y alimentos transgénicos. Una guía crítica*. Madrid. Los libros de la Catarata.
- SADLER, T.D.; ZEIDLER, D.L. (2004): «The morality of socioscientific issues: Construal and resolution of genetic engineering dilemmas». *Science Education*, núm. 88, pp. 4-27.
- SANDOVAL, W.A.; MILLWOOD, K.A. (2008): «What can argumentation tell us about epistemology?», en ERDURAN, S.; JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (eds.): *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht. Springer, pp. 71-8. Dordrecht.
- SANMARTÍ, N. (1997): «Enseñar a elaborar textos científicos en la clase de ciencias». *Alambique*, núm. 12, pp. 51-61.
- (coord.) (2003): *Aprender Ciència tot aprenent a escriure ciències*. Barcelona. Edicions 62.
- SCHWARZ, C.V., y otros (2009): «Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners». *Journal of Research in Science Teaching*, núm. 46(6), pp. 632-654.
- SCHWEIZER, D.M.; KELLY, G.J. (2005): «An investigation of student engagement in a global warming debate». *Journal of Geoscience Education*, núm. 53(1), pp. 75-84.
- SIMONNEAUX, L. (2000): «Cómo favorecer la argumentación sobre las biotecnologías entre el alumnado». *Alambique*, núm. 25, pp. 27-44.
- SUTTON, C. (1997): *Ideas sobre la ciencia e ideas sobre el lenguaje*. *Alambique*, núm. 12, pp. 8-32.
- TANDY, V.; LAWRENCE, T.R. (1998): «The ghost in the machine». *Journal of the Society for Psychological Research*, núm. 62, pp. 360-364. También disponible en: <www.psy.herts.ac.uk/ghost/ghost-in-machine.pdf>.
- TOULMIN, S. (1958): *The Uses of argument*. Cambridge. Cambridge University Press. (Trad. cast: *Los usos de la argumentación*. Barcelona. Península, 2007).
- UNIÓN EUROPEA (2006): «Recomendación del Parlamento Europeo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente». *Diario Oficial de la UE* (30 diciembre 2006).

- WALTON, D. (1996): *Argumentation schemes for presumptive reasoning*. Mahwah. NJ. Lawrence Erlbaum.
- WATSON, J.D. (1968): *The double helix*. Londres. Penguin. (Trad. cast.: *La doble hélice*. Barcelona. Salvat, 1993).
- WERTSCH, J. (1993): *Voces de la mente*. Madrid. Visor.