

2.3

¿Cómo sabemos lo que sabemos? Mediante la argumentación y el uso de pruebas, herramientas para aprender y desarrollar el pensamiento crítico

MARILAR JIMÉNEZ ALEIXANDRE



¿Cómo sabemos lo que sabemos? Las ciencias tienen como objetivo formular preguntas sobre el mundo natural, por ejemplo ¿De dónde viene la madera de los árboles? o ¿Por qué vuelan los aviones?, y responderlas. Poseen también una forma de construcción específica, que consiste en apoyarse en pruebas, contrastando las hipótesis y modelos sobre cómo funciona algo con los datos disponibles en cada momento. Si aparecen nuevos datos o cambia la forma de interpretarlos, como ocurrió con el movimiento aparente del Sol, el modelo puede cambiar. Hoy día existe consenso en que aprender ciencias, además del conocimiento de modelos y teorías científicos, es decir los *por qué*, debe incluir la práctica de relacionar las explicaciones con las pruebas que las sustentan, una comprensión de *cómo sabemos lo que sabemos* o *por qué creemos lo que creemos*¹. Se conoce como *argumentación* esa evaluación del conocimiento en base a pruebas, una de las tres grandes prácticas científicas, junto con la modelización y la indagación. En el mundo actual, en el que circulan afirmaciones pseudocientíficas no contrastadas y bulos, la argumentación es una herramienta para desarrollar el pensamiento crítico.²



SABÍAS QUE...

Al alumnado le resulta más difícil utilizar los datos de que dispone que explicar un fenómeno con conceptos o teorías.³

Tomar parte en la argumentación influye tanto en aprender a argumentar mejor como en aprender mejor los conceptos científicos.⁵

Las pruebas son herramientas que permiten al alumnado (y a la comunidad científica) distinguir conclusiones fundamentadas en datos de meras opiniones.

IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- Para que el alumnado desarrolle la capacidad de usar pruebas es necesario que practique repetidamente el uso de pruebas en clase.
 - El conocimiento de conceptos es necesario para articular pruebas, pero no suficiente; se precisa también la competencia en usarlas.³
 - A través de tareas adecuadas el alumnado es capaz de generar criterios sobre cómo debe ser un buen modelo o argumento.⁴
-
- Como todos los conocimientos prácticos –andar en bicicleta, cocinar–, a argumentar se aprende argumentando, y con ello se mejora la identificación de pruebas y el uso de justificaciones.
 - La investigación ha mostrado que participar en la argumentación también mejora el aprendizaje de los conceptos y modelos de ciencias^{5,6}, por ejemplo genética o respuesta inmune.
-
- Aunque en la vida diaria puede haber variedad de opiniones, por ejemplo sobre gustos, en ciencias y en la clase de ciencias las afirmaciones deben estar fundamentadas.²
 - Un ejemplo de mecanismo causal demostrado, para utilizar en clase, es el debate sobre las causas del cáncer de pulmón, fumar u otras como la contaminación. En 1996 se mostró que el benzopireno del humo del tabaco inactiva el gen p53, que detecta errores en el ADN.
 - Se debate la consideración de la homeopatía como tratamiento médico, pero ningún estudio avala su eficacia. Evaluar estos datos en el aula es útil para que el profesorado en formación cambie sus posiciones sobre esta cuestión.⁷



SABÍAS QUE...

Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones^{2,8} (figura 1).

- *Conclusión* es el enunciado de conocimiento que se está evaluando, por ejemplo una explicación causal (o una opción en los dilemas sociocientíficos).
- *Prueba* es la observación, hecho o experimento en que se sustenta la evaluación; un dato que tiene un papel en la evaluación se convierte en prueba.
- La *justificación* relaciona la conclusión con las pruebas, responde a: ¿cómo hemos llegado aquí?, ¿cómo prueban esos datos que la conclusión es adecuada?

A argumentar se aprende argumentando (figura 1), generando o identificando pruebas y usándolas para evaluar explicaciones u opciones.

IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- Se aprende a argumentar participando en la argumentación; es preciso que el alumnado distinga entre *conclusiones* –antes hipótesis– y las pruebas que las apoyan o refutan. Inicialmente puede ser difícil distinguirlas.⁹
- Las *justificaciones* permiten al alumnado interpretar las pruebas –el péndulo de Foucault parece girar– a la luz de la teoría pertinente –el plano de oscilación no se mueve, luego debe ser la Tierra la que gira–. Sin la justificación esas pruebas se “creerán” por la autoridad.^{2,10}
- En las operaciones argumentativas es necesaria la guía del profesorado: diseñar proyectos de larga duración o actividades en las se perciba la relación con la vida (auténticos); favorecer que diseñen experimentos u observaciones (*indagación*) para generar sus propios datos, o que busquen datos en estudios; guiar la interpretación de los datos para convertirlos en pruebas y evaluar modelos, explicaciones u opciones alternativas; guiar la conexión entre datos y teorías para elaborar justificaciones; planificar la evaluación entre iguales de argumentos de otros¹¹; favorecer que se hagan explícitos los criterios para comunicar bien.

-
- La mejor manera de aprender a usar pruebas para validar el conocimiento es practicar la argumentación, sea en infantil¹², primaria¹³ o secundaria.^{9,14}
 - La *indagación* y el trabajo por proyectos proporcionan oportunidades de argumentar; las prácticas de *modelización* y *argumentación* están relacionadas, al evaluarse y revisarse los modelos en función de las pruebas.^{15,16}





SABÍAS QUE...

La argumentación es una herramienta para desarrollar el pensamiento crítico, discriminar entre pseudociencia y conocimientos científicos, entre pseudoverdad (bulos) y conocimiento contrastado.

Los proyectos y actividades de argumentación pueden llevarse a cabo en dos tipos de contextos: 1) desarrollar explicaciones causales; o 2) decidir entre opciones en cuestiones socio-científicas.

IMPlicaciones para la enseñanza de las ciencias

- La práctica de argumentar contribuye a desarrollar una disposición a contrastar las afirmaciones con pruebas antes de aceptarlas, lo que es parte del pensamiento crítico^{7,8,17}. Otro aspecto del pensamiento crítico es desarrollar una opinión independiente.
 - Parte del pensamiento crítico es criticar discursos que justifican desigualdades², como el racismo o el sexism, que no tienen base científica, aunque lo pretendan.¹⁷
 - Evaluar pruebas puede contribuir a que el alumnado se forme opiniones fundamentadas sobre cuestiones como el calentamiento global.¹⁸
-
- En la modelización y desarrollo de explicaciones, por ejemplo sobre los cambios de estado¹⁹, o la expresión de los genes¹⁶, el alumnado trabaja con datos científicos.^{9,17}
 - En cuestiones sociocientíficas, como el cambio climático¹⁸, la evaluación de dietas¹⁴, la captura de animales en el campo^{13,20}, el alumnado debe tener en cuenta datos de distintos tipos, como científicos y económicos, y valores éticos y culturales. Es una práctica compleja, pero más conectada con la vida real.



Dedicar tiempo en clase a que el alumnado participe en la argumentación “quita” tiempo para los conocimientos de ciencias que deben aprender.

- El aprendizaje de las ciencias comprende no solo aprender conceptos, sino también ser capaz de llevar a cabo las prácticas mediante las cuales se generan y validan los conocimientos.^{1,2}
- La práctica de la argumentación influye también en la mejora del aprendizaje de conceptos, por ejemplo el de vacuna y respuesta inmune⁵, o los ecosistemas¹³. Más aún, usando pruebas pueden cambiar sus modelos.^{12,19}
- Las actividades de argumentación pueden durar desde unas sesiones de clase a proyectos a lo largo de varios meses, que es lo más idóneo.¹⁰



Hay cuestiones científicas, como la evolución, el cambio climático o las vacunas, sobre las que distintas personas pueden tener diferentes posiciones igualmente válidas.

- Los conocimientos científicos se validan a través de la argumentación, evaluando distintas alternativas en base a las pruebas disponibles.²
- Puede haber más de un modelo (evolución, otros) que explique un fenómeno como el origen de los seres vivos, pero una vez contrastado con las pruebas, se acepta hasta que aparezcan nuevos datos.^{2,8}
- Al alumnado le cuesta comprender primero que puede haber más de una teoría para explicar un fenómeno, y más adelante que hay procesos para decidir qué explicación es mejor.⁸



El alumnado puede investigar del mismo modo que los científicos y científicas.

- No debe confundirse a niños y niñas con “científicos en miniatura”. La participación en las prácticas científicas pretende que sean “profanos competentes” (*competent outsiders*).²¹
- El objetivo de la enseñanza de las ciencias debe ser que puedan utilizar estos conocimientos y prácticas como la argumentación, la evaluación de pruebas, en la vida real, cotidiana.²²
- Un aspecto en el que deben ser similares las prácticas científicas en el aula y en la investigación es la cooperación en equipo.^{9,11}



✗ Las pruebas válidas son únicamente las experimentales.

- Tanto las pruebas generadas por el alumnado mediante experimentos como mediante la observación intencional (*purposeful observation*) son datos de primera mano, útiles para evaluar y revisar conocimientos.^{12,19}
- La observación intencional, planificada y reflexiva, es adecuada para infantil y primaria, si a estos alumnos y alumnas les cuesta más diseñar experimentos.¹²
- Hay temas en los que se usan datos secundarios, de investigaciones que no es posible realizar en clase. Identificar y usar estos datos es también parte de la práctica de argumentar. Lo importante es no solo manipular (*hands on*) sino activar la actividad intelectual (*minds on*).

✗ La argumentación puede enseñarse explicándola bien en una clase magistral.

- El alumnado argumenta si su papel en clase es el de *construir conocimiento* en vez de adquirirlo, si se le pide evaluar conocimientos, usar pruebas.
- Los mejores ambientes para aprender prácticas científicas –modelización, argumentación e indagación– y conceptos son los proyectos de cierta duración, que den oportunidades al alumnado para reflexionar sobre lo aprendido y revisar sus conocimientos.^{12,14,23,24}

✗ Los niños y niñas de infantil y primaria no son capaces de usar pruebas y argumentar.

- Los niños y niñas tanto de educación infantil como de primaria son capaces de elaborar y revisar modelos, de usar pruebas y argumentar, y de diseñar y llevar a cabo experimentos, si se les da oportunidades de hacerlo.^{12,23,24}
- Los ambientes de aprendizaje y contextos más adecuados para la argumentación y modelización parten de los intereses del alumnado.
- El alumnado que diseña soluciones a problemas, construye modelos, evalúa afirmaciones, interioriza que puede llegar a ser científico@ o ingeniero@.²³

✗ Aprender a argumentar requiere únicamente apoyar las conclusiones propias con pruebas.

- Aprender a elaborar argumentos de buena calidad requiere tener en consideración no solo los argumentos propios, sino también los alternativos, sea para criticarlos, sea para aceptarlos.
- Es necesario un clima de aula en el que haya verdadero diálogo, atendiendo a lo que dicen otras personas e incorporándolo a los argumentos propios.

EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(4º ESO, tesis de Beatriz Bravo; en los recursos)¹⁷



¿Qué pescar para alimentar a la población el mayor tiempo posible?

Una localidad costera ha sufrido el paso de un huracán, sus cosechas han sido destruidas y se ha perdido el ganado. El principal recurso para sobrevivir es la pesca de arenques, sardinas y salmones.

Formáis parte de una ONG, enviada para ayudar a gestionar la pesca mientras cultivos y ganado se recuperan. **El objetivo es decidir cómo gestionar la bahía para alimentar a la población durante el mayor tiempo posible.** Tendréis que encontrar la forma más eficiente de aprovechar los recursos pesqueros disponibles. Informaciones útiles:

- Dieta del salmón:** principalmente sardinas y arenques, en proporción de 1:5, para cada kilo de salmón son necesarios 5kg de arenques y sardinas.
- Dieta de arenques y sardinas:** plancton herbívoro y carnívoro.

3. Tabla de datos de producción y biomasa de esta cadena trófica

	Producción (kg/km ² /año)	Biomasa (kg/km ²)
Salmones	70	540
Sardinas y arenques	900	1800
Plancton carnívoro	11000	5400
Plancton herbívoro	110 000	18 000
Plancton vegetal (algas microscópicas)	1825000	10 000

4. Cadena trófica

Energía solar → Plancton vegetal → Plancton herbívoro → Plancton carnívoro → Sardinas y arenques → Salmones

5. Recordad las figuras de pirámides tróficas elaboradas anteriormente.

Aprender de su puesta en práctica: es necesaria una interpretación adecuada de los datos para integrar el modelo de transferencia de energía con la información proporcionada y tomar una decisión. Cuestiones clave son por ejemplo los datos de la dieta del salmón (proporción 5:1) o los de biomasa y producción del salmón, comparados con los de sardinas y arenques. El alumnado experimenta dificultades para interpretar datos y pruebas, y para establecer conexiones entre diferentes conjuntos de datos, necesitando apoyo del profesorado.¹⁵



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(Educación infantil 3(5-6 años), tesis de Sabela F. Monteira, 2018; en detalle)¹²

¿Qué hay dentro de la boca de los caracoles?

Las niñas y niños usan datos de observación intencional, experiencias e informaciones secundarias para revisar sus ideas iniciales acerca de la boca de los caracoles —que tenían en clase en una caja— a lo largo de 7 sesiones de enero a mayo.

- Enero, última semana: dibujaron lo que hay “dentro de su boca”, representando “lengua” y “dientes” como los humanos.
- 17 de febrero: experiencia, miran por debajo de un vidrio a un caracol comiendo harina, observando que su “lengua” es muy pequeña.
- 24 de febrero: al limpiar la caja observan en las zanahorias “túneles” largos; deciden estudiar cómo son sus “dientes”. Consideran las marcas pruebas de que tienen dientes “no como los nuestros” para poder hacer esos profundos “agujeritos”.

- 17 de marzo: traen de casa información e imágenes (de Internet) solicitadas por la maestra, incluyendo el nombre, rádula, con “forma de cinta” y pequeños “piquitos” como de sierra, “para raspar la comida”; deciden que no son “dientes”.
- 21 de marzo: visionado de un vídeo de YouTube de un caracol comiendo.
- 24 de marzo: revisión crítica de los dibujos de enero; la maestra les pide que expliquen por qué los dibujaron así y que los comparan con sus observaciones, las marcas, el video: “Los piquitos tienen ganchos [forma de]”; imitan al caracol sacando y metiendo la lengua rápidamente; comunicación no verbal.
- 12 de mayo: observan una rádula de lapa a través del estereomicroscopio digital, proyectando las imágenes en la pantalla y discutiéndolas colectivamente. Tiene lugar una nueva revisión de ideas, proponiendo analogías como “cremallera” (traducido del gallego):

Maestra: *¿Y cómo funcionará [la “lengua”] para que haga los agujeros?*

Elena: *La estirarán, pillarán la comida y la volverán a meter en la boca.*

Marta: *Es verdad, como las mariposas.*



Alberto: *Tiene que ser rugoso para que la raspen, [la comida] porque si no es rugoso no, no, no... No raspa... Seguro que mientras está girando la rádula se va metiendo porque hace agujeros grandes.*

La maestra los anima a proponer explicaciones, el “cómo”. Elena y Marta proponen un primer mecanismo y la analogía con las mariposas, relacionando los datos nuevos con conocimientos anteriores. Alberto propone que gira y perfora (como un taladro), lo que explica los túneles. Proponer mecanismos, un nivel más alto del pensamiento causal, es más difícil que identificar causas.

Cabe destacar la forma de trabajar de la maestra, revisando continuamente las ideas anteriores, las pruebas y su interpretación, promoviendo la reflexión. En gran medida las pruebas proceden de la observación intencional, sistemática y prolongada. El resumen es que estos niños y niñas son capaces de generar pruebas, y usarlas para revisar sus ideas, cuando se dan oportunidades para ello.



Figura 2(tesis de S. F. Monteira, 2018). Dibujo de niña de 6 años, conclusiones del experimento: “Los caracoles huele porque pusimos binagre (sic) y agua y fueron al agua”.

REFERENCIAS

1. Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *J Sci Teacher Educ.*, 25(2), 177-196. <http://dx.doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.
2. Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: ed. Graó.
3. Bravo-Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 32-3, 425-442. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1281>.
4. Pluta, W. J.; Chinn, C. A. y Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 486-511.
5. Maguregi González, G.; Uskola Ibarluzea, A. y Burgoa Etxaburu, B. (2017). Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación con futuros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29-50. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017v35n2/edlc_a2017v35n2p29.pdf.
6. Zohar, A. y Nemet, F. (2001). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-627.
7. Uskola, A. (2016). ¿Los productos homeopáticos pueden ser considerados medicamentos? Creencias de maestras/os en formación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 574-587. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2991/2761>.
8. Erduran, S. y Jiménez Aleixandre, M. P. (eds.) (2008). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer.
9. Jiménez Aleixandre, M. P.; Bugallo, A. y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson or doing science": Arguments in high school genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
10. Jiménez Aleixandre, M. P.; Gallástegui Otero, J. R.; Eirexas Santamaría, F. y Puig Mauriz, B. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela, Danú. Descargable en www.rodausc.gal.
11. Custodio, E.; Márquez, C. y Sanmartí, N. (2015). Aprender a justificar científicamente a partir del estudio del origen de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 33-2, 133-155. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/293269/381769>.
12. López Rodríguez R, Jiménez Aleixandre, MP. ¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio de una charca. *Enseñanza de las Ciencias*, 2007;25(3): 309-324. .
13. Monteira, S. F. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: The role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232-1258. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87929/216419>.
14. Brocos, P. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2019). El impacto ambiental de la alimentación: argumentos de alumnado de magisterio y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), en prensa.
15. Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2013). ¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 145-158. <http://doi.org/10498/15111>.
16. Puig, B.; Ageitos, N. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2017). Learning gene expression through modelling and argumentation: A case study exploring connections between the worlds of knowledge. *Science & Education*, 26(10), 1193-1122.
17. Puig, B.; Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). *Argumentación en el aula: Dos unidades didácticas*. Santiago de Compostela, Danú. Descargable en www.rodausc.gal.

18. Sezen-Barrie, A.; Shea, N. y Borman, J. H. (2017). Probing into the sources of ignorance: Science teachers' practices of constructing arguments or rebuttals to denialism of climate change. *Environmental Education Research*. <http://dx.doi.org/10.1080/13504622.2017.1330949>.
19. Monteira, S. F. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2019). ¿Cómo llega el agua a las nubes? Construcción de explicaciones sobre cambios de estado en educación infantil. *Rev Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2101.
20. Evagorou, M.; Jiménez Aleixandre, M. P. y Osborne J. (2012). "Should we kill the grey squirrels?". A study exploring students' justifications and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428.
21. Feinstein, N. (2011). Salvaging science literacy. *Science Education*, 95(1), 168-185.
22. Duncan, R. G.; Chinn, C. A. y Barzilai, S. (2018). Grasp of evidence: Problematizing and expanding the next generation science standards' conceptualization of evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 55, 907-937.
23. Kelly, G. J. y Cunningham, C. M. (2019). Epistemic tools in engineering design for K-12 education. *Science Education*, 103, 1080-1111.
24. Lehrer, R. y Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96(4), 701-724.

