

Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato

Articulation of the use of evidence and the model of energy flow in ecosystems in arguments from 12th-grade students

Beatriz Bravo Torija
Universidad de Zaragoza
bbtorija@unizar.es

María Pilar Jiménez Aleixandre
Universidade de Santiago de Compostela
marilarj.aleixandre@usc.es

RESUMEN • Este estudio examina el uso del modelo de flujo de energía y su articulación con pruebas situadas en diferentes niveles epistémicos por estudiantes de segundo de bachillerato. La muestra analizada (N = 254) procede de los exámenes de la Prueba de Acceso a la Universidad. La tarea solicita al alumnado justificar la limitación en el número de niveles de una cadena trófica. Los resultados muestran: *a*) que el uso del modelo teórico por el alumnado es más sofisticado que el uso de pruebas y *b*) que del 12,2% de los estudiantes que utilizan pruebas en tres o cuatro niveles epistémicos, la mayoría (11% del total) usan un modelo complejo de flujo de energía. Una implicación es que, aunque el conocimiento conceptual es necesario para articular pruebas, no es suficiente, siendo necesario llevar a cabo actividades para promover el uso de pruebas en la clase de ciencias.

PALABRAS CLAVE: uso de pruebas; competencia científica; aprendizaje de ecología; argumentación.

ABSTRACT • This study examines the use of the model of energy flow and its articulation with evidence at different epistemic levels by 12th grade students. The sample (N = 254) was obtained from an external standardized examination. The task requires students to justify the limitation on the number of levels in a trophic chain. The results show that: *a*) the students' use of the theoretical model is more sophisticated than their use of evidence; and *b*) from 12,2% of students that use evidence in three or four epistemic levels; the majority of them (11% from the total number) employ a complex model of energy flow. One implication is that although content knowledge is necessary in order to articulate evidence, it is not enough, and there is a need to carry out activities in order to promote the use of evidence in science classroom.

KEYWORDS: use of evidence; scientific competence; ecology learning; argumentation.

Fecha de recepción: julio 2013 • Aceptado: enero 2014

Bravo Torija, B., 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, pp. 425-442

INTRODUCCIÓN

En la actualidad hay consenso en considerar la argumentación como parte integral de la enseñanza de las ciencias, tanto en términos de justificar conclusiones según las pruebas como de apropiación de las prácticas científicas (Jiménez Aleixandre y Erduran, 2008). El uso de pruebas es considerado una dimensión central en la argumentación (Jiménez Aleixandre, 2010), y también un componente clave de la competencia científica (OCDE, 2006). Sin embargo, los estudiantes tienen dificultades en su desempeño, por ejemplo al coordinar datos con conclusiones (Sandoval y Millwood, 2005) o al utilizar criterios apropiados para evaluar la validez de una conclusión (Hogan y Maglienti, 2001). Estas dificultades podrían relacionarse con un insuficiente conocimiento conceptual.

Algunos estudios han explorado las mutuas influencias entre el conocimiento conceptual y la competencia argumentativa. Por ejemplo, Zohar y Nemet (2002) examinaron el efecto de integrar argumentación enseñada explícitamente dentro de una unidad sobre genética. Los resultados mostraron que al finalizar la instrucción el alumnado mejoraba en ambos aspectos. Sadler y Donnelly (2006) estudiaron la influencia del conocimiento en la calidad de los argumentos, sugiriendo la necesidad de un valor umbral para poder argumentar correctamente. Von Aufschnaiter *et al.* (2008) mostraron que, al construir argumentos, los alumnos familiarizados con el contenido de la tarea eran capaces de utilizar su conocimiento para generar argumentos de un mayor nivel de abstracción.

En este trabajo se explora la articulación entre la argumentación, en particular el uso de pruebas, y el uso de modelos de ecología. Se analiza cómo los alumnos apoyan sus conclusiones apelando a pruebas, tanto teóricas como empíricas, situadas en distintos niveles epistémicos. Nuestro propósito es contribuir al conocimiento de cómo construye el alumnado sus argumentos y qué papel juegan las pruebas en ellos. Para llevar a cabo la tarea, justificar el número limitado de niveles tróficos, es necesario: *a)* aplicar conocimientos de ecología, en particular el modelo de flujo de energía, y *b)* coordinar estos conocimientos teóricos con datos empíricos proporcionados en el ítem. Aunque hay estudios acerca del aprendizaje de ecología, solo un reducido número ha explorado las dificultades experimentadas al aplicar nociones complejas como el flujo de energía a contextos como los ecosistemas marinos.

Desde la perspectiva de la investigación en argumentación, estudios como el de Erduran, Simon y Osborne (2004) han explorado la calidad argumentativa utilizando instrumentos centrados en el análisis de las justificaciones y las refutaciones. En este artículo se examina la calidad de las pruebas en términos de su articulación con un contenido disciplinar complejo. Los objetivos de investigación son:

- Examinar la aplicación por parte del alumnado del modelo de flujo de energía en una pregunta sobre el número limitado de niveles tróficos.
- Examinar el uso de pruebas para justificar esta limitación en distintos niveles epistémicos.
- Comparar la calidad del uso del conocimiento conceptual con la calidad del uso de pruebas en las respuestas individuales.

APRENDIZAJE DE ECOLOGÍA Y USO DE PRUEBAS

El trabajo se enmarca en dos cuerpos de conocimiento: estudios sobre aprendizaje de ecología y estudios sobre argumentación y uso de pruebas.

Aprendizaje de ecología: el modelo de flujo de energía

En las últimas décadas se ha incrementado la presencia de la ecología en los currículos de ciencias. Los problemas ecológicos y sus consecuencias, por ejemplo el cambio climático o la gestión de recursos,

aparecen de forma recurrente en los medios de comunicación, y son conocidos, al menos a nivel superficial, por el público. Sin embargo, la comprensión de la ecología no está exenta de dificultades, ya que el uso de modelos de ecología como el flujo de energía para explicar fenómenos o resolver problemas requiere una comprensión tanto de los conceptos discretos como de las complejas *relaciones* que se establecen entre ellos. Es decir, teniendo en cuenta la complejidad teórica y epistemológica del modelo, para poder entender la dinámica de los ecosistemas y utilizar estos conocimientos el alumnado necesita no solo estar familiarizado con conceptos como energía o consumidor, sino también comprender cómo estos conceptos se relacionan entre sí, en otras palabras, los procesos y las relaciones dinámicos, como el flujo de energía y el ciclo de materia, además de los conceptos discretos.

El aprendizaje de la ecología ha sido objeto de estudio de la didáctica de las ciencias desde el trabajo de Griffiths y Grant (1985) sobre la comprensión de las redes tróficas. Estos investigadores mostraron el gran número de conceptos interrelacionados en nociones de ecología como el ciclo de la materia. Hogan y Fisher (1996) encontraron que alumnado de 10 a 12 años tenía problemas en concebir el alimento como materia en la que se encuentra contenida la energía, y en comprender que la energía procedente del sol era transformada en energía química por la fotosíntesis. El desarrollo de la comprensión del modelo de ciclo de la materia también fue analizado por Leach *et al.* (1996) en un estudio longitudinal con alumnado de 5 a 16 años. Encontraron que los estudiantes apenas consideraban los procesos de fotosíntesis, respiración y descomposición como parte de este ciclo. El aprendizaje del proceso de descomposición de la materia orgánica y el papel de los seres vivos en él ha sido analizado por Ibarra, Carrasquer y Gil (2010), que muestran las dificultades del alumnado para comprender estas cuestiones. Utilizar estos conocimientos es necesario, por ejemplo, para predecir cambios en los ecosistemas, cuestión analizada para bachillerato por Ibarra Murillo y Gil Quilez (2009).

¿A qué obstáculos epistemológicos se enfrenta el alumnado? Creemos que uno de los más importantes es el grado de abstracción del modelo. La construcción de una noción adecuada de flujo de energía requiere entender las cadenas tróficas como representaciones que muestran cómo es *transferida la energía* de unos organismos a otros, es decir, cómo circula una entidad abstracta, más que como representaciones de la relación depredador-presa, una entidad concreta. Gallegos, Jerezano y Flores (1994) identificaron como criterio básico, utilizado por alumnado de 9 a 12 años, para construir las cadenas tróficas, «quién come a quién». Para estos alumnos un organismo tenía que reunir dos criterios para poder ser carnívoro: ferocidad y tamaño. Además consideraban las plantas seres pasivos cuyo único papel era servir de alimento a los herbívoros. Al introducir en la tarea a un carroñero, estos autores encontraron que el 70% del alumnado tenía problemas al construir la cadena, porque no eran capaces de identificar la posición del organismo en ella. En resumen, identificaron problemas en la utilización de *criterios* adecuados en el uso del modelo, utilización de criterios que constituye un aspecto central de la cognición epistémica. Utilizar la relación depredador-presa como criterio principal para construir cadenas tróficas puede ser una de las causas de problemas de aprendizaje, como no comprender el significado de las flechas que conectan a los organismos en estos diagramas. Como muestran Grotzer y Basca (2003), parte de los estudiantes consideran que las flechas representan «quién come a quién» en lugar de la transferencia de energía. Sugerimos que una razón es que no se hace explícito que las flechas representan la *trayectoria de la energía*, de ahí que vayan de los niveles tróficos más bajos a los más altos, en lugar de «el organismo A es comido por el B», que es una relación menos abstracta y más inmediata para el alumnado. La falta de comprensión de estas complejas relaciones en las cadenas y redes tróficas puede explicar que el alumnado de 14-15 años experimente dificultades para explicar las consecuencias para un nivel trófico de los cambios producidos en otros (Fernández Manzanal y Casal Jiménez, 1995).

Una cuestión clave para entender las interacciones entre los organismos es el papel de la energía. Carlsson (2002) solicitó a profesores de primaria que explicasen de qué manera construirían un ecosistema en el que pudieran vivir 100 personas durante 600 años. Encontró diferentes formas de concebir

el papel de la energía, desde algo que solo necesitaban las plantas, hasta la comprensión de que la energía puede ser transformada, almacenada en los tejidos y utilizada por los organismos.

En resumen, estos estudios convergen hacia una visión del aprendizaje de la ecología en la que se aprenden los conceptos, pero no siempre se establecen o se reconocen *las relaciones*, sobre todo las más abstractas. No reconocer las relaciones como parte de los modelos ecológicos lleva a problemas, sobre todo cuando se trabaja con situaciones contextualizadas en la vida real. En un estudio previo sobre dinámica de los ecosistemas se solicitó a alumnado universitario de Biología justificar, en términos de eficiencia ecológica, si era más adecuado alimentarse de carnívoros terciarios o de carnívoros cuaternarios (Bravo Torija y Jiménez Aleixandre, 2013). El 73% de los estudiantes identificaron como más eficiente comer en niveles inferiores de la cadena, pero solo un 16% utilizaron nociones como el flujo de energía para apoyar sus conclusiones. Consideramos que una de las razones para explicar estos resultados es que al no reconocer la noción de eficiencia ecológica, y sus implicaciones, los estudiantes no fueron capaces de seleccionar las pruebas adecuadas para apoyar su elección. Como sugieren von Ausfchnaiter *et al.* (2008), para integrar conocimientos conceptuales en sus argumentos los estudiantes deben diferenciar los aspectos relevantes de los que no lo son en un contexto concreto.

En resumen, la revisión de la literatura sobre aprendizaje de la ecología muestra que establecer conexiones entre el flujo de energía y el ciclo de materia es crucial para entender la dinámica de los ecosistemas, cómo funcionan y, en consecuencia, cómo se deberían gestionar.

Desde el punto de vista de la práctica epistémica de uso de modelos, para resolver la tarea analizada, que solicitaba justificar la limitación en el número de niveles tróficos, el alumnado debe no solo conocer y describir el modelo de flujo de energía, sino también ser capaz de aplicarlo. Para ello debe considerar las consecuencias dinámicas del modelo en la estructura de los ecosistemas, en particular que a medida que se asciende en la cadena trófica se produce una disminución de energía de un 90%, quedando solo un 10% disponible para el siguiente nivel. En la naturaleza esto se traduce en una mayor magnitud, tanto en biomasa como en producción, de productores que de herbívoros, y de estos que de carnívoros, como refleja la tabla de datos proporcionada. Por ello, para elaborar una justificación sólida, el alumnado debe, por una parte, reconocer la pauta en los datos y, por otra, conectarla con el modelo teórico que los explica. Para construir su explicación deben moverse entre distintos niveles de abstracción, desde datos concretos proporcionados en la tarea hasta enunciados teóricos. El análisis de este proceso es el objeto de esta investigación.

Argumentación y uso de pruebas en el marco de las competencias científicas

Nuestro trabajo se enmarca en la perspectiva que considera la argumentación como la coordinación entre conclusiones y pruebas (Kuhn, 2005), o en otras palabras, la evaluación del conocimiento a la luz de las pruebas (Jiménez Aleixandre, 2010). De las dos dimensiones que forman parte de la argumentación, nuestro estudio se centra en la justificación. Reconocemos la relevancia de la persuasión, aunque no se examina en la tarea analizada, que era individual. Aunque autores como van Eemeren y Grootendorst (2004) conciben la argumentación solo en un contexto social, estamos de acuerdo con Kuhn en considerar la argumentación como un proceso cognitivo en el que la persona ha de ser consciente de sus propias teorías para poder reflejarlas y evaluar las de otros usando pruebas. Este trabajo se centra en uno de los componentes de la práctica argumentativa: el uso de pruebas, en particular cómo identifican los estudiantes las pruebas adecuadas para apoyar una conclusión. Consideramos *justificación* los enunciados que relacionan pruebas y conclusiones (Toulmin, 1958), es decir, que muestran cómo a partir de esos datos es adecuado llegar a tal conclusión.

La argumentación, entendida como la evaluación del conocimiento a la luz de las pruebas, ha recibido gran atención por parte de la investigación educativa en las últimas décadas, y esto se ha reflejado

en los currículos de distintos países (Jiménez Aleixandre y Erduran, 2008). Desde el punto de vista de las recomendaciones curriculares la argumentación y el uso de pruebas forman parte de la competencia científica, una de las competencias básicas recomendadas por la unión europea como núcleo central de la formación permanente (EU, 2006).

La noción de competencia usada tanto en estas recomendaciones como en el marco de PISA tiene dos características que constituyen una novedad: *a*) el énfasis en la *aplicación* del conocimiento a diferentes contextos y *b*) la *integración* de saberes conceptuales, procedimentales y actitudinales (Jiménez Aleixandre *et al.*, 2009). Este enfoque va en la dirección de superar problemas revelados por la investigación como las dificultades en la transferencia de conocimiento, o la fragmentación del currículo.

La competencia científica es definida como *la capacidad de emplear el conocimiento científico para identificar preguntas y obtener conclusiones basadas en pruebas, con el fin de comprender y poder tomar decisiones sobre el mundo natural y sobre los cambios que la actividad humana produce en él* (OCDE, 2006: 23).

En ella pueden distinguirse tres capacidades básicas requeridas para su desarrollo: 1) identificar cuestiones investigables por parte de las ciencias y el camino que hay que seguir para investigarlas; 2) explicar o predecir fenómenos científicamente, es decir, usar modelos, y 3) usar pruebas, que entendemos como argumentar. Aunque a efectos analíticos estas tres capacidades se traten por separado, se encuentran estrechamente vinculadas (Jiménez Aleixandre *et al.*, 2009). Este estudio se centra en dos: la aplicación de modelos de ecología para explicar la limitación en el número de niveles tróficos y el uso de pruebas para apoyar la explicación.

Desde el punto de vista teórico, la argumentación y el uso de pruebas pueden enmarcarse en la participación del alumnado en las *prácticas científicas*, en la aplicación de las formas de construir el conocimiento científico (Jiménez Aleixandre, 2010). Estas prácticas constituyen el eje del nuevo currículo de ciencias en Estados Unidos (NRC, 2012), e incluyen desarrollar y usar modelos, construir explicaciones y argumentar a partir de pruebas.

Cabe señalar que estamos interesadas únicamente en los argumentos sustantivos, ya que concebimos la argumentación y el uso de pruebas como parte del aprendizaje de ciencias, y por consiguiente conectado con objetivos como el aprendizaje de las nociones teóricas o la participación en la indagación. El contenido conceptual de la tarea, la transferencia de energía a través de los niveles tróficos, requiere que los estudiantes sean capaces de utilizar nociones complejas para apoyar sus explicaciones. Por esta razón se decidió examinar la articulación entre el conocimiento conceptual y el uso de pruebas a través del análisis del estatus epistémico de las respuestas escritas de los estudiantes. Este análisis se basa en el trabajo de Kelly y Takao (2002), combinando el esquema de argumentación de Toulmin con el análisis de textos de Latour, sobre cómo el discurso se mueve entre enunciados de distinto estatus epistémico. El estatus epistémico de los enunciados hace referencia a diferentes *niveles de abstracción* o inducción, desde datos concretos, por ejemplo datos numéricos o cualitativos, gráficos, dibujos o tablas, a enunciados generales, como el primer principio de la termodinámica, pasando por enunciados teóricos relacionados con el problema, como el modelo de flujo de energía. Este estudio también examina la calidad de los argumentos escritos, considerando, como Kelly y Takao (2002), argumentos de mayor calidad los que articulan pruebas situadas en un mayor número de niveles epistémicos, más que aquellos en que todas las pruebas están situadas en niveles altos de abstracción, ya que la apelación a enunciados teóricos no necesariamente indica mejor calidad argumentativa. Este enfoque requiere tener en cuenta el conocimiento disciplinar relevante, por lo que la herramienta es específica para cada disciplina.

El uso de pruebas ha sido estudiado por Hogan y Maglienti (2001), que compararon los criterios usados por estudiantes y por expertos al evaluar la significatividad de las pruebas. La mayor diferencia radicaba en que los expertos ponían más énfasis en los criterios de consistencia empírica y plausibi-

lidad, mientras que los estudiantes se basaban en la coherencia entre la información facilitada y sus ideas personales. Maloney (2007) estudió cuántas pruebas usaban alumnos de 10 y 11 años para tomar decisiones en pequeño grupo, y cuántas de sus conclusiones se apoyaban en pruebas. Encontró que aunque algunos utilizaban muchas de las pruebas disponibles, otras eran ignoradas. Estos resultados coinciden con los de Sandoval y Millwood (2005) sobre argumentos escritos de alumnado de 14-15 años acerca de la selección natural. Con frecuencia estos no fueron capaces de citar pruebas suficientes para apoyar una conclusión, y tuvieron dificultades para explicar cómo una prueba determinada apoyaba la conclusión. Las causas eran que no entendían los datos o que no eran capaces de reconocer las pruebas suministradas. Las dificultades analizadas apuntan a la necesidad de que los estudiantes practiquen el uso de pruebas con dos fines, por una parte, aprender qué es una prueba y, por otra, ser capaces de coordinar las pruebas con la conclusión.

Una línea reciente de trabajo aborda las relaciones entre las prácticas de argumentación y modelización (construcción, evaluación y revisión de modelos). Böttcher y Meisert (2011) inciden en la importancia de la argumentación en la evaluación del conocimiento científico, en particular en la evaluación de la validez de un modelo teórico para explicar un fenómeno. Estos autores proponen una herramienta de análisis en función del papel que juegan los argumentos en la evaluación del modelo, por ejemplo al considerar la idoneidad de unos modelos frente a otros o en la elección de los datos que apoyan un determinado modelo. Mendonça y Justi (2013) examinan el papel de la argumentación en el proceso de modelización del enlace iónico y de las interacciones intermoleculares, en particular en qué fases de este proceso tiene lugar la argumentación y cómo esta práctica influye en su desempeño. Los resultados muestran que el proceso argumentativo está presente no solo en la fase de evaluación del modelo, sino también durante su construcción y reelaboración, ya que los estudiantes han de justificar las decisiones tomadas durante el proceso de transformación de sus modelos mentales a sus modelos expresados, simulaciones o dibujos que explican qué ocurre con los enlaces de distintas sustancias cuando se funden.

En este estudio examinamos cómo aplica el alumnado el modelo de flujo de energía para justificar la existencia de una limitación en la cadena trófica, más que cómo lo construye o evalúa. Lo que pretende añadir a este cuerpo de conocimiento es un análisis sobre la articulación del conocimiento de ecología con el uso de pruebas en distintos niveles epistémicos. Específicamente se examina cómo respaldan sus argumentos al justificar el número limitado de niveles tróficos, apelando al modelo del flujo de energía y a las pruebas suministradas.

METODOLOGÍA

Este estudio combina metodologías cualitativas y cuantitativas. El estudio de cómo el alumnado aplica los modelos de ecología y cómo usa pruebas se realiza a través de análisis de contenido y del discurso, utilizando herramientas construidas en interacción con los datos. Por otra parte utilizar una muestra representativa permite realizar un análisis cuantitativo.

Muestra y contexto: se seleccionó una muestra representativa de exámenes de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de las pruebas de acceso a la universidad (PAU) realizadas en Galicia en 2008. De los 1.780 exámenes se escogió aleatoriamente una muestra de 480, que, de acuerdo con los criterios de Krejcie y Morgan (1970), es representativa.

Tarea: el examen comprendía cuatro preguntas, de las que el alumnado debía responder a dos, y una tabla de datos de biomasa y producción de un ecosistema marino. Dado el objetivo del estudio, examinar cómo justifican la limitación del número de eslabones en las cadenas tróficas, solo se analiza la pregunta *c*. Se seleccionaron los 254 exámenes que respondían a esta cuestión. Se reproduce la pregunta completa para proporcionar una idea del contexto:

Observa los datos de la siguiente tabla y contesta a 2 de las actividades que se proponen a continuación:

TIEMPO DE RENOVACIÓN	PRODUCCIÓN (Kg/km ² / año)	BIOMASA (Kg/km ²)	
2 días	1.825.000	10.000	Plancton vegetal
60 días	110.000	18.000	Plancton fitófago
180 días	11.000	5.400	Plancton carnívoro
700 días	900	1.800	Peces

- Esta tabla contiene los datos de biomasa y producción de cuatro niveles tróficos de plancton marino. Calcula la productividad de cada uno de ellos. ¿Qué conclusión se deduce del comportamiento de este parámetro trófico?
- ¿Qué ocurre con el tiempo de renovación a lo largo de la cadena trófica? ¿Cómo explicas la diferencia en la producción entre el primer nivel y el último?
- En las cadenas tróficas el número de eslabones es limitado. ¿Por qué?
- Explica brevemente por qué hablamos de flujo para describir la circulación de energía de un ecosistema, mientras que usamos ciclo cuando nos referimos a la materia que circula por él.

Herramientas de análisis: una respuesta adecuada debe apelar a la transferencia de energía entre niveles tróficos, en particular a la pérdida del 90% de un nivel al siguiente, y respaldar la limitación en el número de niveles, articulando estas nociones teóricas con los datos proporcionados en la tabla. Las herramientas, discutidas en los resultados, son:

Objetivo 1: Para analizar cómo aplican el modelo de flujo de energía se elaboró un modelo de referencia de las relaciones entre los conceptos implicados, teniendo en cuenta: *a)* el currículo (MEC, 2007); *b)* tres libros de texto de la asignatura; *c)* los criterios de evaluación de las PAU (CIUGA, 2008), y *d)* la literatura sobre aprendizaje de ecología revisada más arriba.

Objetivo 2: Para examinar el uso de pruebas en distintos niveles epistémicos se diseñó una herramienta basada en el esquema de Kelly y Takao (2002) para oceanografía. Las categorías se establecieron en interacción con los datos tras varios ciclos de análisis. También se analiza cuántos niveles epistémicos se utilizan en cada una de las respuestas, considerando que los argumentos de mayor calidad son los que articulan pruebas en el mayor número de niveles.

RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados de los tres objetivos de investigación, discutiendo también las herramientas.

Aplicación del modelo de flujo de energía

La cuestión solicita al alumnado justificar por qué en las cadenas tróficas el número de eslabones es limitado. Esta justificación requiere aplicar el modelo de flujo de energía, apelando a la transferencia de energía y a su disminución a lo largo de las cadenas tróficas. Para ello consideramos que el alumnado necesita utilizar estas ideas: *a)* la energía que llega a los ecosistemas procede del sol y es transformada en energía química por los productores; *b)* la energía química se almacena, como biomasa, en las moléculas orgánicas, y se transfiere a lo largo de la cadena trófica a los consumidores y descomponedores, y *c)* en cada nivel trófico solo una fracción de energía, alrededor de un 10%, queda disponible para el siguiente nivel, mientras que el 90% se consume en mantenimiento y respiración.

De estas nociones se derivan dos criterios para la categorización de las respuestas: 1) identificar el flujo de energía y su disminución en cada nivel trófico, y 2) establecer conexiones entre el flujo de energía y procesos biológicos como la fotosíntesis. De la interacción entre estos dos criterios y el examen de los datos, sometidos a varios ciclos de análisis, resultan cuatro categorías –que cumplen los requisitos de exhaustividad y exclusividad– situadas en un continuo desde las explicaciones más sofisticadas que conectan el flujo de energía y su disminución con los procesos biológicos, hasta las que justifican el número limitado de niveles apelando a otro tipo de relaciones como la de depredador-presa (tabla 1). Cada categoría se ilustra con ejemplos (reproducidos literalmente). Las aclaraciones aparecen entre corchetes.

Tabla 1.
Aplicación del modelo de flujo de energía (N = 254)

<i>Categorías</i>	<i>Respuestas</i>
Conectar el flujo de energía con los procesos biológicos	75 (29,5%)
Identificar el flujo de energía y su pérdida en cada nivel	101 (39,8%)
Identificar el flujo de energía entre los distintos niveles	26 (10,3%)
Explicar el número de niveles por otro tipo de relaciones	52 (20,5%)

Conectar el flujo de energía con los procesos biológicos

Las respuestas cumplen ambos criterios, explicando el número limitado de niveles tróficos a través de la conexión de la transferencia de energía con procesos biológicos como la fotosíntesis o la respiración, lo que explica la disminución en la energía disponible. Del casi 30% que se incluyen en esta categoría, solo ocho indicaron que la energía entra en el ecosistema a través de la fotosíntesis:

A124: Los productores captan la energía de la fotosíntesis que junto con el CO₂ y H₂O formarán compuestos orgánicos de manera que la energía de la luz es utilizada para transformarla en energía química, pero según la regla del 10% la energía que pasa de un eslabón a otro es el 10%, por eso los eslabones limitados, ya que la energía química que es transmitida en forma de materia orgánica va disminuyendo cada eslabón. También de las pérdidas entre la respiración y la materia ingerida respecto de la asimilada provoca que el número de eslabones sea reducido.

Identificar el flujo de energía y su pérdida en cada nivel

Las respuestas (39,8%) cumplen solo el primer criterio, justifican el número limitado de eslabones en la disminución de energía entre los niveles tróficos, cuantificándola en términos de lo que en la ciencia escolar se denomina «la regla» del 10%. Algunas mencionan principios generales como la primera ley de la termodinámica:

A64: Este [número limitado de eslabones] se explica a partir de la ley del 10%, que dice que la energía que pasa de un nivel a otro es el 10% de la acumulada en este, por lo que el número de niveles está muy limitado siendo 5 como máximo. En el proceso de cambio de un nivel a otro se *pierde* una gran parte de la energía. (Se transforma en otro tipo de energía) ya que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma.

Identificar el flujo de energía entre los niveles tróficos

El número limitado de niveles se explica apelando a la transferencia de energía entre niveles y a la existencia de una disminución, pero de forma general, sin referirse al proceso causante de la disminución, ni a la cuantificación de esta. Un 10,3% de las respuestas se incluyen en esta categoría:

A6: En las cadenas tróficas el número de eslabones es limitado porque la energía que pasa de unos seres a otros es cada vez menor con lo que no llega. Suele haber: productores, consumidores primarios y consumidores secundarios. Los consumidores terciarios no son frecuentes.

Explicar el número de niveles por otro tipo de relaciones

En las respuestas (20,5%) se explica el número limitado de eslabones apelando a otro tipo de relaciones como depredador-presa o el ciclo de materia:

A53: En las cadenas tróficas el peldaño más bajo es el que más abundancia hay. Los peldaños de arriba se alimentan de los de abajo así sucesivamente. Llega un momento que la cabeza de la cadena se termina ya que no hay quien cace a esos animales ...

Los resultados pueden resumirse en:

Primero, en un 29,5% de las 254 respuestas se aplica la versión más compleja del modelo, relacionando el flujo de energía con los procesos biológicos. El hecho de que solo ocho indicasen que la energía entra al ecosistema a través de la fotosíntesis es coherente con los resultados de Leach *et al.* (1996), quienes mostraron que solo el 10% del alumnado de 16 años establecía esta relación, que es clave para apreciar la complejidad del flujo de energía.

Segundo, en un 39,8% se aplica una noción de transferencia de energía en la que se identifica su disminución y se cuantifica, en términos de lo que la ciencia escolar denomina *regla* del 10%. Aunque en algunos casos se confunde el fenómeno (disminución de energía) con el enunciado, atribuyéndole un estatus de causa. En total, entre la primera y segunda categoría, un 69%, es decir, dos tercios, construyen una explicación aceptable, aplicando la idea de transferencia de energía.

Tercero, un 10,3% de las respuestas apelan a la noción de flujo de energía y a la disminución de energía disponible, pero ni la cuantifican, ni la conectan con los procesos biológicos. En otro 20,5% no son capaces de aplicar estas nociones y en su lugar usan otro tipo de relaciones como la de depredador-presa. El uso de la idea de «quién come a quién» –en lugar de la transferencia de energía– para explicar la dinámica de los ecosistemas es consistente con estudios como el de Grotzer y Basca (2003).

Por último cabe indicar que hay respuestas que justifican la limitación en el número de niveles debido a los problemas de espacio. Si bien esta es una de las razones por las que los ecosistemas son finitos, interpretamos que no reconocen como pruebas los datos de la tabla, que apuntan a las cuestiones de transferencia de energía arriba indicadas.

Uso de pruebas en la justificación de la limitación del número de niveles tróficos

Para el diseño de las categorías en el análisis de uso de pruebas nos basamos en la herramienta desarrollada por Kelly y Takao (2002), que examina cómo articulan pruebas los estudiantes en argumentos escritos. Las pruebas se categorizan según su estatus epistémico, desde datos específicos de tablas o gráficos, hasta enunciados teóricos generales que no son específicos para la tarea, como el primer principio de la termodinámica. En esta herramienta el mejor argumento es considerado aquel en el que se

combinan pruebas en el mayor número de niveles epistémicos posibles (Kelly y Takao, 2002). En este caso, para justificar la limitación en el número de niveles tróficos, deben tenerse en cuenta tanto los datos de la tabla como la disminución de energía en el ecosistema.

La herramienta fue adaptada para nuestra propuesta de examinar las justificaciones sobre el número limitado de eslabones, tanto en lo que se refiere al contenido disciplinar como a las pruebas disponibles. También se modificaron las etiquetas de las categorías, sustituyendo el sistema numérico por nombres, para evitar su interpretación como una jerarquía.

La unidad de análisis es el enunciado que contiene o bien una justificación que integra una prueba, o bien solo una prueba (excluyendo la conclusión, dada en la pregunta). Cada frase se identificó y separó teniendo en cuenta: puntuación, conectores como *porque*, o uso de distintas pruebas. Se construyó una primera versión de la herramienta y se analizaron las respuestas, revisando después las categorías teniendo en cuenta los datos, proceso que se repitió tres ciclos más. La herramienta final está compuesta de seis niveles que se definen e ilustran con ejemplos en la tabla 2.

Tabla 2.
Niveles epistémicos para el análisis del uso de pruebas

<i>Nivel</i>	<i>Definición</i>	<i>Ejemplo</i>
Enunciados teóricos generales.	Justificaciones que describen procesos científicos generales relacionados con el problema pero no específicos de este.	A64 «... se convierte, se transforma en otro tipo de energía, ya que la energía ni se crea ni se destruye, se transforma».
Enunciados teóricos específicos en términos de conceptos abstractos.	Justificaciones que describen procesos específicos en términos de nociones abstractas como la transferencia de energía.	A13 «En las cadenas tróficas el número de eslabones es limitado porque [...] se gasta mucha energía en los procesos de respiración y también se pierde mucha energía por la materia no utilizada o asimilada».
Enunciados teóricos específicos en términos de entes o procesos concretos.	Justificaciones que hacen referencia a organismos o procesos concretos y específicos como las relaciones alimentarias, «quién come a quién».	A16 «El número de eslabones es limitado porque los organismos también son limitados, por lo tanto unos se van comiendo a otros».
Relaciones específicas para la tarea.	Justificaciones que apelan a relaciones expresadas como principios o leyes, como «la ley del 10%».	A180 «El número de eslabones es limitado debido a la regla del 10%, que establece que la energía que queda a disposición del nivel siguiente [...] es el 10% del total».
Datos recuperados.	Pruebas que hacen referencia a datos que el alumnado ha recuperado de su conocimiento, por ejemplo en forma numérica.	A8 «... así si tomamos un nivel trófico productor que tiene 1.000 KJ de energía [...] solo pasará al consumidor [...] el 10%, esto es, aproximadamente 1.000 KJ».
Datos proporcionados por la tarea.	Pruebas que hacen referencia explícita a datos de la tabla.	A245 «... podemos ver en la tabla que en los peces la producción al año es de 900 kg/m ² ...».

Una vez caracterizados los niveles epistémicos, se analiza: *a)* cómo están distribuidos los enunciados (de las respuestas) en los diferentes niveles epistémicos, y *b)* la calidad argumentativa de las respuestas en cuanto al número de niveles en una misma respuesta.

Distribución de los enunciados en los diferentes niveles epistémicos

El número total de enunciados es 641, con una media de 2,5 frases por respuesta individual. La tabla 3 resume la frecuencia de enunciados en cada nivel.

Tabla 3.
Distribución de enunciados en los niveles epistémicos (N = 641)

<i>Niveles epistémicos</i>	<i>Enunciados</i>
Enunciados teóricos generales (ETG)	21 (3,3%)
Enunciados teóricos específicos en términos de conceptos abstractos (ETE-A)	287 (44,8%)
Enunciados teóricos específicos en términos de entes o procesos concretos (ETE-C)	55 (8,6%)
Relaciones específicas para la tarea (RE)	247 (38,5%)
Datos recuperados (DR)	16 (2,5%)
Datos proporcionados por la tarea (DP)	15 (2,3%)

Como se resume en la tabla 3, casi la mitad de las frases, el 44,8%, corresponde a enunciados teóricos específicos en términos de conceptos abstractos ETE-A. La gran frecuencia de enunciados en niveles teóricos concuerda con resultados de otros estudios como el de Kelly y Takao (2002). Esto muestra que es frecuente que el alumnado aprenda la teoría, pero que tenga dificultades para conectarla con datos de una situación concreta. En otras palabras, no podríamos determinar si estas nociones son comprendidas por el alumnado o si está repitiendo algo memorizado.

En cuanto a la segunda en frecuencia, relaciones específicas para la tarea RE, interpretamos que la alta frecuencia de este nivel es debida a que los estudiantes consideran de gran relevancia este tipo de relaciones numéricas, por ejemplo la «regla» del 10%. Esto podría explicarse por dos razones: 1) la importancia que la instrucción da a estas relaciones, la *regla* del 10% aparece en la mayoría de los libros de texto, y 2) la posibilidad de recordar y usar con mayor facilidad una relación numérica que un enunciado teórico complejo.

Los niveles más descriptivos, datos recuperados DR y proporcionados por la tarea DP, y enunciados teóricos generales ETG, fueron utilizados con una frecuencia de 2,5, 2,3 y 3,3%, respectivamente. Mientras que la baja frecuencia en la categoría de mayor abstracción concuerda con lo encontrado en otros estudios, esperábamos más explicaciones apelando a los datos proporcionados por la tabla, ya que el enunciado de la actividad solicitaba explícitamente que se utilizasen para responder a las preguntas: *observa los datos de la siguiente tabla y contesta a 2 de las actividades*. La frecuencia en el uso de datos recuperados es también baja. Este escaso uso de los datos específicos se discute en las conclusiones.

Análisis de la calidad argumentativa de las respuestas

Partiendo de la premisa de que el mejor argumento es aquel en el que se encuentran articuladas pruebas en todos los niveles epistémicos (Kelly y Takao, 2002), en esta sección examinamos cuántos niveles epistémicos articulan en sus respuestas. Cabe señalar que en una respuesta podemos encontrar dos o tres enunciados situados en un mismo nivel, como se ilustra más adelante. La tabla 4 resume los resultados.

Tabla 4.
Número de niveles en cada respuesta (N = 254)

<i>N.º de niveles epistémicos</i>	<i>Respuestas</i>
Cuatro	7 (2,8%)
Tres	24 (9,4%)
Dos	127 (50%)
Uno	96 (37,8%)

Se distinguen cuatro grupos: un 2,8% de respuestas articulan pruebas en cuatro niveles; un 9,4%, en tres; un 50%, en dos, y un 37,8% usan pruebas en un solo nivel. No encontramos ninguna respuesta en la que se articulen pruebas en cinco o seis niveles.

Para ilustrar el análisis realizado reproducimos una respuesta en la que se articulan enunciados en 4 niveles epistémicos. Los enunciados se separan por //, incluyendo los niveles, entre corchetes.

A31: En las cadenas tróficas el número de eslabones está limitado [conclusión] // debido a la cantidad de energía recibida [ETE-A] // la mayor parte de la energía procede en última instancia del sol pero no toda la energía llega sino que por reflexión, absorción en otras capas, se pierde [ETG] // Así pues, solo llega entre el 0,1 y el 1% del total a la tierra [DR] // una vez que llega es necesario para fijar la materia orgánica por los productores [ETE-A] // de tal modo que solo el 10% de la energía total es empleada por un nivel [RE] // Por lo tanto el 10% de la energía total será empleado por el nivel siguiente hasta que la energía se gaste [RE] // Estos gastos son debidos a gastos fisiológicos como procesos como la respiración, alguna energía no es consumida por los organismos y otra se disipa [ETE-A] // De este modo como solo el 10% es empleado en un eslabón y solo podrá pasar a otro eslabón una parte, provoca que el número de eslabones sea limitado [ETE-A].

En esta respuesta identificamos ocho enunciados, situados en cuatro niveles epistémicos diferentes: uno en el nivel de mayor abstracción (ETG), ya que apela al comportamiento de la luz al incidir en un cuerpo. Este es relevante, pues considera que de toda la energía lumínica del sol solo una pequeña proporción llega a la Tierra, y sus consecuencias en los ecosistemas. Cuatro pertenecen al nivel ETE-A, haciendo referencia a cómo fluye la energía en el ecosistema, conectándola con procesos biológicos como la respiración. Dos se encuentran en el nivel RE, cuantificando la energía transferida en un 10%, y uno se sitúa en el nivel DR: el alumno utiliza el dato 0,1 a 1%, que no aparece en los datos aportados.

Para completar el análisis se examina el tipo de combinaciones de pruebas realizadas por los estudiantes. La combinación de mayor frecuencia es ETE-A y RE en 133 respuestas (52%). En la discusión de la distribución de los enunciados en los diferentes niveles epistémicos ya se indicó el escaso uso de pruebas específicas, tanto proporcionadas por la tarea como recuperadas. Interpretamos que los estudiantes tienen dificultades al articular la noción teórica de flujo de energía con sus consecuencias en los ecosistemas, disminución de producción y biomasa. Solo 11 respuestas usan datos proporcionados por la tarea; en cuatro de ellas, dos veces. Por ello hay 15 enunciados en la tabla 3.

En resumen, podría decirse que los estudiantes utilizan un número limitado de pruebas para construir sus explicaciones sobre la limitación de eslabones en una cadena trófica. Solo tienen frecuencias mayores del 10% dos niveles epistémicos, ETE-A y RE. El escaso uso de los datos proporcionados por la tarea es una cuestión que merece atención. Consideramos que estos resultados podrían deberse a que hasta ahora, en la mayoría de las aulas, la enseñanza no ha incluido como objetivo el desarrollo de destrezas argumentativas, ni el uso de pruebas. Por ello el alumnado podría no considerar necesario justificar una explicación con datos, apoyándose solo en la teoría.

Comparación entre el uso del conocimiento conceptual y el uso de pruebas

En este apartado se compara la calidad del uso de conocimiento con la calidad del uso de pruebas en la construcción de explicaciones sobre la limitación de los eslabones de una cadena trófica. Como muestran los resultados, el uso del modelo de flujo de energía por el alumnado es más sofisticado que el uso de pruebas: mientras que en el 69,3% de las respuestas se aplica un modelo de flujo de energía que podría considerarse adecuado, solo en el 12,2% se articulan pruebas en tres o cuatro niveles epistémicos. Entendemos que en un gran número de casos los estudiantes justifican su conclusión utilizando un modelo de flujo de energía complejo y, al mismo tiempo, usan pruebas situadas solo en uno o dos niveles epistémicos. En la tabla 5 se resumen los resultados de la comparación de ambas prácticas en las respuestas individuales, considerando todas las combinaciones posibles.

En la categoría de *modelo teórico complejo* agrupamos las respuestas situadas en las dos primeras categorías, es decir, las que usan un modelo que tiene en cuenta la transferencia de energía, lo conectan con procesos biológicos y lo cuantifican. En la categoría *modelo teórico simple* agrupamos las otras dos. Respecto a la calidad argumentativa, consideramos de *mayor calidad* aquellas respuestas en que se articulan pruebas en tres o cuatro niveles epistémicos, y de *menor calidad* las que combinan solo uno o dos.

Tabla 5.
Combinaciones entre la calidad
de conocimiento conceptual y calidad de uso de pruebas (N = 254)

<i>Combinaciones</i>	<i>Respuestas</i>
Modelo teórico complejo-mayor calidad argumentativa	28 (11%)
Modelo teórico complejo-menor calidad argumentativa	148 (58,3%)
Modelo teórico simple-mayor calidad argumentativa	3 (1,2%)
Modelo teórico simple-menor calidad argumentativa	75 (29,5%)

En un 69,3% de las respuestas se aplica un modelo complejo del flujo de energía, pero al apoyarlo con pruebas solo en un 11% son capaces de articular pruebas situadas en tres o cuatro niveles epistémicos. En el resto, 58,3%, únicamente son capaces de utilizar pruebas de uno o dos niveles, en la mayoría de los casos correspondientes a enunciados teóricos. Consideramos que una razón para explicar la diferencia en el desempeño de ambas prácticas podría ser que los alumnos no reconocen la necesidad de justificar sus conclusiones con pruebas.

En cuanto al uso de un modelo teórico simple, el 30,7% de las respuestas se encuentran situadas en esta categoría. Respecto a la calidad argumentativa, en el 29,5% de las respuestas se utilizan pruebas en uno o dos niveles epistémicos, mientras que solo en el 1,2% se utilizan en más de tres. Esto podría deberse a que al no reconocer el modelo teórico de flujo de energía, no son capaces de identificar y seleccionar las pruebas adecuadas para apoyar sus conclusiones, lo que coincide con lo observado por Sandoval y Millwood (2005).

En cuanto a la calidad argumentativa se observa una clara diferencia entre las respuestas que usan un modelo complejo y las que lo usan simple. Del 12,2% del alumnado que utiliza pruebas en más de dos niveles epistémicos, casi todos (11%) utilizan un modelo de flujo de energía complejo. Estos resultados nos llevan a considerar que el nivel de conocimiento sería un requisito para un uso sofisticado de pruebas, ya que casi todas las respuestas con alta calidad argumentativa se encuentran relacionadas con un uso complejo del modelo.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

Este estudio busca aportar algo nuevo a la literatura sobre argumentación y uso de pruebas, examinando una muestra representativa de respuestas de alumnado de segundo de bachillerato expuesto a una enseñanza estándar de Ciencias, no a contextos donde la argumentación y el uso de pruebas ha sido abordado y promovido en el aula. Estos estudiantes realizaron el examen de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente tras superar el último curso de bachillerato. Por ello consideramos que el análisis de sus respuestas podría proporcionar algunas indicaciones acerca de cómo se enseña la ciencia en Galicia y en particular la atención prestada al desarrollo del uso de pruebas. El objetivo es contribuir a los estudios de las mutuas influencias entre el conocimiento conceptual y las destrezas de argumentación y uso de pruebas.

En cuanto a la aplicación del modelo de flujo de energía, el hecho de que en la mayoría de las respuestas (69,3%) los estudiantes apliquen el modelo de forma adecuada y de que en un 29,5% utilizaran la versión más sofisticada, apunta a una enseñanza de la biología y las ciencias ambientales que tiene éxito. A pesar de ello se han encontrado algunos problemas en su aplicación, por ejemplo solo ocho estudiantes reconocieron explícitamente que la energía entra en el ecosistema a través de la fotosíntesis, y en un 20,5% de respuestas se utilizaban nociones teóricas no relevantes para la tarea, como la idea de «quién come a quién». Estos resultados son coherentes con estudios como el de Gallegos *et al.* (1994), y en nuestra opinión apuntan a la necesidad de hacer explícita la estructura del modelo, las relaciones entre entidades abstractas.

La transferencia de un conocimiento abstracto de cierta complejidad, como el modelo de flujo de energía, a un caso concreto como la limitación en el número de niveles tróficos de un ecosistema no es un proceso obvio para el alumnado, pero es un requisito para entender por ejemplo las consecuencias que pescar o alimentarse en un nivel trófico determinado tiene para la gestión de recursos (por ejemplo, los pesqueros). Ser capaz de identificar estas consecuencias es uno de los criterios de evaluación del currículo para segundo de bachillerato (MEC, 2007). No cabe esperar que el alumnado sea capaz de alcanzarlo sin unas estrategias didácticas específicas, sin practicar esta transferencia en aplicaciones a situaciones concretas.

En cuanto al uso de pruebas, los resultados muestran que la mayoría del alumnado, un 87,8%, utiliza pruebas situadas en uno o dos niveles epistémicos, 37,8 y 50% respectivamente, mientras que solo un 12,2% las utilizan en tres o cuatro. Aunque este estudio no explora directamente cómo se enseñan las ciencias, los resultados obtenidos podrían apuntar a que la argumentación y el uso de pruebas no forman parte de la enseñanza más habitual de estas disciplinas en la mayoría de las aulas.

En particular, el uso tan escaso de los datos proporcionados en la tarea –ya que solo en un 2,3% de los 641 enunciados analizados aparecen pruebas relacionadas con la tabla de biomasa y producción del ecosistema marino– sugiere que el alumnado podría no haber tenido oportunidad durante el aprendizaje de seleccionar pruebas a partir de distintas fuentes de datos. Por el contrario, muchos estudiantes apelan a nociones teóricas; un 56,7% de los enunciados contienen alguna justificación en estos niveles. Basándonos en estos resultados interpretamos que el alumnado experimenta dificultades para conectar la noción teórica de flujo de energía con sus consecuencias en el ecosistema, en concreto con la disminución de biomasa y producción. Esto podría deberse a que no se plantean este tipo de cuestiones en el aula.

Consideramos que la herramienta de análisis de uso de pruebas en argumentos escritos, diseñada según la propuesta de Kelly y Takao (2002), muestra un gran potencial para explorar cómo articula pruebas el alumnado al considerar como criterio de calidad la articulación tanto de nociones teóricas como de datos específicos.

Los resultados respecto al tercer objetivo, comparar las dos prácticas examinadas, muestran que del 12,2% de las respuestas que utilizan pruebas en un mayor número de niveles, la mayoría, un 11%, aplica un modelo complejo del flujo de energía, mientras que solo un 1,2% utiliza un modelo simple. Interpretamos que esta gran diferencia podría deberse a que, al no reconocer el modelo teórico, los alumnos tienen dificultades al interpretar y seleccionar las pruebas relevantes. Este resultado es coherente con la propuesta de Sadler y Donnelly (2006) acerca de la necesidad de un valor umbral de conocimiento para ser capaz de argumentar. Aunque poseer este conocimiento, como han mostrado los resultados, no significa necesariamente que aumente la calidad argumentativa.

Una implicación que se deriva de este estudio es que, para que el alumnado sea capaz de transferir el conocimiento, creemos que ambas dimensiones, tanto el conocimiento conceptual como el uso de pruebas, son necesarias. El conocimiento conceptual para ser capaz de seleccionar las pruebas relevantes, y las destrezas de argumentación y de uso de pruebas para integrar de forma adecuada las pruebas con la teoría. Ambas dimensiones deberían integrarse en la enseñanza que pretende el desarrollo de la competencia científica, de acuerdo tanto con PISA (OCDE, 2006) como con las recomendaciones de la Unión Europea (EU, 2006).

Otra implicación es que la práctica de usar pruebas no se desarrolla a menos que se realicen tareas específicas para apoyarla. Tener un conocimiento de ciencias, incluso sofisticado, no es suficiente para ser capaz de utilizar las pruebas, incluso si estas son proporcionadas en la tarea. Los estudiantes necesitan practicar el uso de pruebas con el fin de tener la habilidad de integrar estas con la teoría.

Por último, también sugerimos que la investigación en argumentación debería explorar en profundidad la articulación entre el conocimiento y el uso de pruebas, y cómo promoverla en el aula.

AGRADECIMIENTOS

Al proyecto EDU2012-38022-C02-01 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad. Beatriz Bravo realizó su tesis gracias a una beca FPI, del Ministerio de Educación, código BES-2007-15075.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BÖTTCHER, F. y MEISERT, A. (2011). Argumentation in Science Education: a model-based framework. *Science & Education*, 20, pp. 103-140.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-010-9304-5>
- 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), pp. 145-158.
- CARLSSON, B. (2002). Ecological understanding 2: transformation – a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, 24 (8), pp. 701-715.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690110098877>
- COMISIÓN INTERUNIVERSITARIA DE GALICIA (CIUGA) (2008). Examen de Xuño de 2008 de Ciencias da Terra e do Medio Ambiente. Recuperado el 12 de abril de 2013, de <http://ciug.cesga.es/docs/probas/2008/paau2008%20CC%20Terra.pdf>
- ERDURAN, S.; SIMON, S. y OSBORNE, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88 (6), pp. 915-933.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20012>

- EUROPEAN UNION (2006). Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. *Official Journal of the European Union*, 30-12-2006, L 394/10-L 394/18.
- FERNÁNDEZ MANZANAL, R. y CASAL JIMÉNEZ, M. (1995). La enseñanza de la ecología. Un objetivo de la educación ambiental. *Enseñanza de las ciencias*, 13 (3), pp. 295-311.
- GALLEGOS, L.; JEREZANO, M.E. y FLORES, F. (1994). Preconceptions and relations used by children in the construction of food chains. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, pp. 259-272.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660310306>
- GRIFFITHS, A.K. y GRANT, B.A. (1985). High school students' understanding of food webs: Identification of a learning hierarchy and related misconceptions. *Journal of Research in Science Teaching*, 22, pp. 421-436.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.3660220505>
- GROTZER, T.A. y BASCA, B.B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38, pp. 16-29.
<http://dx.doi.org/10.1080/00219266.2003.9655891>
- HOGAN, K. y FISHERKELLER, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: Bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, pp. 941-970.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199611\)33:9<941::AID-TEA1>3.3.CO;2-O](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199611)33:9<941::AID-TEA1>3.3.CO;2-O)
- HOGAN, K. y MAGLIENTI, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), pp. 663-687.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.1025>
- IBARRA MURILLO, J. y GIL QUILEZ, M.J. (2009). Uso del concepto de sucesión ecológica por alumnos de secundaria: la predicción de los cambios en los ecosistemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 27(1), pp. 19-32.
- IBARRA, J., CARRASQUER, J. y GIL, M.J. (2010). Un proceso oscuro y anónimo: la descomposición de la materia viva. *Alambique*, 64, pp. 99-108.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P. y ERDURAN, S. (2008). Argumentation in science education: an overview. En S. Erduran y M.P. Jiménez Aleixandre (eds.). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer, pp. 3-27.
- JIMÉNEZ ALEIXANDRE, M.P.; BRAVO, B. y PUIG, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumno a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, pp. 10-12.
- KELLY, G.J. y TAKAO, A. (2002). Epistemic levels in Argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86, pp. 314-312.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.10024>
- KREJCIE, R.V. y MORGAN, D.W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational & Psychological Measurement*, 30, pp. 607-610.
- KUHN, D. (2005). *Education for thinking*. Cambridge: Harvard University Press.
- LEACH, J.; DRIVER, R.; SCOTT, P. y WOOD-ROBINSON, C. (1996). Childrens ideas about ecology 2: Ideas found in children age 5-16 about the cycling of matter. *International Journal of Science Education*, 18, pp. 19-34.
<http://dx.doi.org/10.1080/0950069960180102>
- MALONEY, J. (2007). Children's roles and use of evidence in science: an analysis of decision-making in small groups. *British Educational Research Journal*, 33, pp. 371-401.
<http://dx.doi.org/10.1080/01411920701243636>

- MENDONÇA, P.C. y JUSTI, R. (2013). The relationships between modelling and argumentation from the perspective of the model of modelling diagram. *International Journal of Science Education*, 35 (14), pp. 2047-2434.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2013.811615>
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA (MEC). (2007). *Real Decreto 1631/2006 por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria*. BOE 5/01/2007, Madrid.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC) (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, cross-cutting concepts and core ideas*. Washington, DC: The National Academies Press.
- OCDE (2006). *PISA 2006. Marco de la evaluación: Conocimientos, habilidades en Ciencias, Matemáticas y lectura*. Madrid: Santillana, Ministerio de Educación y Ciencia.
- SADLER, T. y DONNELLY, L.A. (2006). Socioscientific argumentation: the effects of content-knowledge and morality. *International Journal of science Education*, 28, pp. 1463-1488.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690600708717>
- SANDOVAL, W.A. y MILLWOOD, K.A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23 (1), pp. 23-55.
http://dx.doi.org/10.1207/s1532690xci2301_2
- TOULMIN, S. (1958). *The uses of argument*. Cambridge: University Press.
- VAN EEMEREN, F.H. y GROOTENDORST, R. (2004). *A systemic theory of argumentation: the pragma-dialectic approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- VON AUFSCHNAITER, C.; ERDURAN, S.; OSBORNE, J. y SHIRLEY, S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*, 45, pp. 101-131.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20213>
- ZOHAR, A. y NEMET, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, pp. 35-62.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.10008>

Articulation of the use of evidence and the model of energy flow in ecosystems in arguments from 12th-grade students

Beatriz Bravo Torija

Universidad de Zaragoza

bbtorija@unizar.es

María Pilar Jiménez Aleixandre

Universidade de Santiago de Compostela

marilarj.aleixandre@usc.es

Argumentation and the use of evidence are increasingly viewed as an integral part of science education (Jiménez-Aleixandre & Erduran, 2008). The use of evidence is also defined as a key dimension of scientific competence (OECD, 2006). Nevertheless, studies exploring the use of evidence reveal the difficulties experienced by students in coordinating data with claims, such as failing to see the patterns across data sets, or ignoring anomalous data (Maloney, 2007; Sandoval & Millwood, 2005). These difficulties may relate to a lack of conceptual understanding, and recent studies (Sadler & Donnelly, 2006) have explored the mutual influences between conceptual knowledge and argumentative competence. In this study, rather than examine the effect of science understanding on argumentation quality or the reverse, we sought to explore the process of articulation between argumentation and use of ecological models. The research objectives are: 1) to examine students' application of the energy flow model to justify the limitation on the number of trophic levels; 2) to examine students' use of evidence at different epistemic levels in justifying this limitation; and 3) to compare the quality of the use of the model of energy flow with the quality of the use of evidence in the individual answers. The study is framed in research about ecology learning and about argumentation and use of evidence.

The sample (N=254) was drawn from the Spanish external examination for university entrance. The task included a table with numerical data about biomass and production of a marine ecosystem and four questions. The one analysed in the study is "*The number of links in trophic chains is limited: Why it is so?*"

In order to examine how students apply the energy flow model, a reference framework was constructed, and then the students' data were subjected to three cycles of analysis, establishing criteria for sorting them in four categories according to the degree of complexity in the use of the model.

About the analysis of the relative epistemic status of students' evidenced claims, an instrument was designed, following Kelly and Takao (2002) framework, adapting it, both to the disciplinary content of the task and to the type of available evidence. The analysis focuses on how many epistemic levels are used in each written response, considered as a criterion for quality in their arguments.

The results show that 69.3% of the students applied the model in an acceptable way and 29.5% used the most complex, being able to relate energy transfer with relevant biological processes. Only 20.5% appeal to other ideas as predator-prey relationships or the cycle of matter. Regarding the use of evidence, 12.2% used evidence at three or four epistemic levels to justify their claims. None of them were able to coordinate data at more than four levels, and 50% combine only two. Therefore, the students' use of the ecology model is more sophisticated than their use of evidence.

There is a scarce use of concrete evidence; data are appealed only in 4.8% of the 641 propositions. By contrast, 56.7% appealed to theoretical notions to explain the low number of trophic levels. From these results, we interpret that students experience difficulties for connecting the notion of energy flow with its consequences in the marine ecosystem presented in the chart, perhaps because they have never been asked to do so in the classroom.

Regarding the comparison between the use of the model and the use of evidence, almost all the students that use evidence in three or four epistemic levels (12.2%) employ a complex model of energy flow (11% from the sample).

We suggest that the competence in the use of evidence is not developed unless specific tasks are designed to support it. Knowing science, even at a sophisticated, complex level, is not enough to automatically be able to use evidence. We also consider that argumentation research should explore in depth this articulation of conceptual knowledge and use of evidence and how to support it in science classrooms.