

¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura

Beatriz Bravo Torija¹ y María Pilar Jiménez Aleixandre²

¹Universidad de Granada, ²Universidade de Santiago de Compostela

Email: bbtorija@ugr.es y marilarj.aleixandre@usc.es

[Recibido en enero de 2013, aceptado en marzo de 2013]

El objetivo es analizar la influencia de la tarea en el uso de pruebas y modelos conceptuales al resolver un problema sobre la sustentabilidad de la acuicultura. Los participantes son 134 estudiantes universitarios de biología de tres cursos. La tarea solicitaba comparar desde el punto de vista de la eficiencia ecológica alimentarse de arenques y sardinas o de salmones. Se comparan resultados de un curso en el que habían realizado un mapa conceptual sobre la eficiencia ecológica con los de dos en los que no se había hecho. Los resultados muestran diferencias sustanciales tanto en el uso de modelos de flujo de energía y pirámide trófica como de pruebas. Estas diferencias ponen de manifiesto la necesidad de prestar atención al papel de los conceptos al diseñar actividades para desarrollar la competencia de uso de pruebas.

Palabras clave: uso de pruebas; competencia científica; aprendizaje de ecología; flujo de energía.

Would we raise lions in farms? Use of evidence and conceptual knowledge in a problem about aquaculture

The objective is to analyze the influence of the task in the use of evidence and scientific models while solving a problem about the sustainability of aquaculture. The participants are 134 biology undergraduates, from three consecutive years. The task asked them to compare the ecological efficiency of eating sardines and herrings or salmon. Results from one cohort when students had elaborated a concept map about ecological efficiency are compared with results from two cohorts when they had not. The findings show substantial differences both in the application of the models of energy flow or trophic pyramid and in the use of appropriate evidence to justify their claims. These differences point to the need to pay attention to the role of conceptual knowledge when designing activities in order to promote the development of the scientific competency in using evidence.

Keywords: use of evidence; scientific competence; ecology learning; energy flow.

Introducción: Relaciones entre uso de pruebas y conocimiento conceptual

Este trabajo forma parte de un estudio sobre uso de pruebas y de los modelos de flujo de energía y pirámide trófica en la resolución de un problema de gestión de recursos marinos. Está enmarcado en un proyecto que investiga el desarrollo de las competencias de uso de pruebas y de explicación científica de fenómenos, dos de las competencias científicas en la evaluación PISA (OCDE, 2006) y el currículo español (MEC, 2007). Los resultados obtenidos en este estudio, en particular en cuanto a las dificultades en el desempeño de estas competencias, se tuvieron en cuenta en el diseño de una unidad didáctica en secundaria sobre la sobreexplotación de los recursos pesqueros (Puig, Bravo y Jiménez Aleixandre, 2012).

El objetivo es analizar la influencia de las tareas realizadas en el aula en el desempeño en el uso de pruebas y modelos por parte de alumnado universitario de biología. Se comparan tres cohortes, A, B y C. De ellas solo en C se había trabajado explícitamente en el aula el concepto de eficiencia ecológica, relevante para resolver el problema. La tarea consiste en elegir entre la alimentación con arenques y sardinas (carnívoros terciarios) o con salmón (carnívoro cuaternario), justificando su opción (ver **anexo**). Se comparan los desempeños en el uso de pruebas y de modelos entre el alumnado que había trabajado la eficiencia ecológica y el que no lo había hecho.

Cabe señalar que, aunque pueda parecer obvio que actividades de utilización de un concepto en el aula van a causar un efecto, mejorando el desempeño del alumnado, creemos necesario mostrarlo empíricamente. Las razones son tres: en primer lugar porque es más relevante disponer de resultados empíricos que de una hipótesis, por bien fundada que esté. La segunda, porque nos parece importante comparar los resultados de alumnado que había tenido que *aplicar* el concepto de eficiencia ecológica, al realizar un mapa conceptual, con alumnado que simplemente había *recibido instrucción* sobre este concepto en las materias de ecología. La tercera, porque hay un debate en la literatura sobre uso de pruebas sobre la articulación entre el conocimiento conceptual y la competencia en el uso de pruebas, debate al que esperamos contribuir con este estudio.

Las preguntas de investigación son:

- ¿Qué conceptos de ecología aplica una muestra de alumnado universitario al resolver un problema de gestión de recursos marinos?
- ¿Cómo usan los estudiantes las pruebas para justificar sus conclusiones? En concreto ¿Coordinan las justificaciones teóricas con las pruebas empíricas?
- ¿Se encuentran diferencias, y cuáles, entre los que han realizado previamente un mapa conceptual sobre eficiencia ecológica y los que no lo han hecho?

Uso de pruebas, argumentación, y evaluación del conocimiento en ecología

El trabajo se enmarca en dos cuerpos de conocimientos: estudios sobre aprendizaje de conceptos de ecología y sus interrelaciones, con especial atención a la sustentabilidad, y sobre argumentación y uso de pruebas en clase de ciencias.

Aprendizaje de conceptos de ecología y sus interrelaciones

En las últimas décadas se ha incrementado la presencia de la ecología en los currículos de ciencias. Los problemas ecológicos, como deforestación, mareas negras o agotamiento de recursos, aparecen con frecuencia en los medios lo que podría aumentar el interés del alumnado por estos temas. Pero aunque pueda parecer que la ecología es un conocimiento accesible para el alumnado, presenta dificultades por su elevado grado de abstracción. El uso de modelos de ecología para explicar fenómenos o resolver problemas requiere no solo una comprensión de conceptos aislados, sino ser capaz de reconocer las complejas relaciones existentes entre ellos con el fin de comprender la dinámica de los ecosistemas (Eilam, 2002). Es decir, no solo es necesario que los alumnos estén familiarizados con términos como productor, consumidor o fotosíntesis, sino que deben ser capaces de conectarlos. Se requiere la capacidad de integrar estos conceptos en modelos complejos como flujo de energía o ciclo de materia y utilizarlos para dar significado a representaciones como las pirámides tróficas.

La tarea analizada en este trabajo se enmarca en la gestión sustentable de los recursos marinos. La noción de sustentabilidad fue propuesta en el informe Brundtland (1987), con el significado de un desarrollo que no comprometa el futuro de sucesivas generaciones. En particular, los problemas de sustentabilidad de los recursos marinos fueron señalados por Pauly et al. (1998) en un artículo pionero, análisis que mostró la tendencia a lo largo de la segunda mitad del siglo XX a pescar cada vez en niveles más bajos de las cadenas tróficas, al disminuir las poblaciones de los grandes predadores. Pauly et al (2001) han señalado que estos peces pequeños (de niveles tróficos más bajos) son utilizados en gran medida para alimentar otros peces en las piscifactorías, con el resultado de que se utiliza más pescado que el producido.

Las cuestiones y tareas didácticas relacionadas con la sustentabilidad requieren, como todos los problemas socio-científicos, integrar diferentes campos en su resolución. Por ejemplo en este caso dimensiones sociales y económicas ¿Son intereses comerciales o científicos los que llevan a criar peces carnívoros en vez de herbívoros? Dimensiones ambientales ¿Qué impacto tiene la instalación de piscifactorías en lugares de alto valor natural como el cabo Touriñán?, o dimensiones éticas ¿Es aceptable usar peces que podrían alimentar a los seres humanos para criar otros peces de más valor comercial? Como indican Colucci-Gray et al. (2006) la perspectiva de la complejidad es necesaria para abordar en clase las cuestiones ambientales y en concreto lo que llaman alfabetización en sustentabilidad. Si en este estudio se aborda solo la dimensión conceptual es por la necesidad de centrarse analíticamente en un aspecto, no por considerar menos importantes los demás.

Algunos estudios que ilustran las dificultades del alumnado son los de Ibarra, Carrasquer y Gil (2010) sobre las dificultades para comprender el proceso de descomposición de la materia orgánica y el papel de los seres vivos en él, y el de Ibarra y Gil (2009), que analiza el uso del concepto de sucesión por alumnado de bachillerato, en la predicción de cambios en los ecosistemas. Özkar y Öztas (2003) examinan las ideas de alumnado de 14 y 15 años acerca de la fotosíntesis, la respiración y el flujo de energía. Incluso tras la instrucción los alumnos seguían considerando que 'productor' significaba producir vegetales y frutas, o que la energía del sol ayudaba a las plantas a mantener su temperatura. Es decir no reconocían el papel de los productores en la transformación de la energía solar en materia por la fotosíntesis. Como muestran Hogan y Fisher Keller (1996) esto dificulta a su vez la comprensión del ciclo de materia. Estos autores encontraron que solo los estudiantes que reconocían que la energía solar era transformada en energía química en la fotosíntesis y que los alimentos contenían energía, eran capaces de generalizar que todos los organismos dependen de las plantas, y que éstas son la base de las cadenas tróficas.

Otros problemas de aprendizaje se refieren a la dificultad para comprender las complejas relaciones que se establecen entre los organismos de un ecosistema: aunque las interacciones y las redes tróficas son parte del currículo de secundaria, el alumnado de 14-15 años experimenta dificultades para explicar las consecuencias para un nivel trófico de los cambios producidos en otros (Fernández Manzanal y Casal, 1995). Esto puede ser debido entre otras razones a la interpretación de los diagramas de cadenas y redes tróficas como representaciones de la relación depredador-presa, en lugar de como representaciones de la transferencia de energía entre organismos (Gallegos, Jerezano y Flores, 1994). La consecuencia son dificultades en la interpretación de cadenas poco frecuentes en los libros de texto (Eilam, 2002) por ejemplo espinaca, ser humano y piojo. Grotzer y Basca (2003) encontraron que los alumnos que no entendían el significado de la flecha (transferencia de energía) utilizada en este tipo de diagramas, tampoco eran capaces de identificar quién era el depredador (peces pequeños) y quién la presa (algas).

Una cuestión clave para nuestro estudio es que los estudiantes reconozcan las implicaciones del flujo de energía –es decir de las transferencias de energía entre distintos niveles alimentarios – en la gestión sostenible de recursos. Por ejemplo, que sólo una fracción de la energía (alrededor de un 10%) es transferida de un nivel trófico al siguiente. Esto explica por qué, en cualquier ecosistema, hay más plantas que animales y más herbívoros que carnívoros. Por tanto en términos de eficiencia ecológica, en un área dada, más gente puede alimentarse con plantas que con animales. Aunque esto pueda resultar claro en el contexto de ecosistemas terrestres presenta más dificultad en ecosistemas acuáticos, menos familiares para el alumnado (Magntorn y Helldén, 2007).

Reconocer el papel de la energía en el ecosistema no solo supone dificultades para los estudiantes, sino también para el profesorado de primaria. Carlsson (2002) solicitó a profesores que explicasen cómo construirían un ecosistema donde pudieran vivir 100 personas durante 600 años. Las percepciones del papel de la energía van desde aquellos que consideraban la energía como algo necesario únicamente para las plantas, hasta los que consideraban que podía ser transformada y almacenada para el mantenimiento de los organismos. Entender y tener en cuenta estos aspectos es relevante para comprender la complejidad de los ecosistemas y su funcionamiento, clave a su vez para desarrollar el pensamiento crítico ante cómo gestionar los recursos alimentarios del planeta, en este caso los marinos. En este trabajo analizamos qué conceptos utiliza el alumnado universitario de biología, que en el futuro podría ser docente, a la hora de resolver un problema sobre la sustentabilidad de la acuicultura.

Uso de pruebas y argumentación

La argumentación, entendida como justificar conclusiones en base a pruebas, es considerada en la actualidad como parte integral de la enseñanza de las ciencias (Jiménez Aleixandre y Erduran, 2008). Su aprendizaje se relaciona con la apropiación de prácticas de la comunidad científica, que según Kelly (2008) comprenden producir, evaluar y comunicar el conocimiento, siendo el uso de pruebas un elemento fundamental en la evaluación del conocimiento.

El uso de pruebas es considerado una de las competencias científicas en el marco de PISA (OCDE, 2006). En la competencia científica, o competencia en el conocimiento y en la interacción con el mundo físico (MEC, 2007), consideramos, como Cañas, Martín Díaz y Nieda (2007), que se distinguen tres capacidades:

- Identificar cuestiones científicas (investigables por parte de las ciencias), así como los procesos para estudiarlas.
- Explicar fenómenos científicamente, es decir por medio de modelos.
- Utilizar pruebas (*evidence*, que no se debe traducir como 'evidencia'), relacionada con la argumentación.

En este trabajo se abordan dos: explicar fenómenos naturales y uso de pruebas, aunque las tres están conectadas (Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig, 2009). El objetivo es evaluar cómo utiliza el alumnado tanto las pruebas aportadas en la tarea como el conocimiento relevante, considerado como fundamentación teórica de los enunciados basados en pruebas (Kelly y Takao, 2002), para construir argumentos justificados.

El uso de pruebas es una práctica científica, pero su desarrollo, como muestran numerosos estudios, no está exento de dificultades para el alumnado. En la literatura se han identificado dificultades en distintas operaciones que forman parte de esta práctica. En cuanto a la selección y utilización de criterios adecuados sobre qué se considera una justificación, Hogan y Maglienti (2001) examinaron qué criterios utilizaban científicos, técnicos y estudiantes de secundaria al evaluar la validez de las conclusiones acerca de una planta invasora. Mientras que científicos y técnicos utilizaban criterios empíricamente consistentes y plausibles, los estudiantes atendían a la coherencia entre la información facilitada y sus ideas personales.

Se han encontrado dificultades en la interpretación de datos, por ejemplo en los casos de no-covarianza en los que no se encuentra una tendencia observable (Kanari y Millar, 2004), llegando el alumnado a descartar o ignorar los datos que no apoyan la opción seleccionada por ellos (Maloney, 2007). Otros problemas se refieren a integrar las pruebas en las justificaciones. Sandoval y Millwood (2005) examinaron como integraba el alumnado las pruebas en

argumentos escritos sobre la selección natural. Encontraron que a menudo los alumnos no eran capaces de citar suficientes pruebas para apoyar sus enunciados o tenían dificultades para explicar cómo se articulaban con sus conclusiones.

Puig y Jiménez Aleixandre (2010) identificaron problemas en alumnado de 3º de ESO para reconocer pruebas en informaciones al evaluar la afirmación de James Watson de que los negros son genéticamente menos inteligentes que los blancos. Una de las razones que sugieren las autoras es que para ello el alumnado debe ser capaz de articular el conocimiento conceptual con las pruebas. Estas relaciones entre el conocimiento conceptual y la competencia argumentativa han sido examinadas por Sadler y Donnelly (2006) que identificaron la necesidad de un valor umbral de conocimiento para argumentar, aunque un conocimiento mayor no siempre suponía una mejora en la calidad argumentativa. von Aufsch奈ter, Erduran, Osborne y Simon (2008), mostraron que los estudiantes más familiarizados con el contenido conceptual eran capaces de usar el conocimiento para generar argumentos con mayor nivel de abstracción.

En esta línea, se consideró relevante estudiar la articulación entre el uso de conceptos relevantes y las pruebas suministradas en la tarea –por ejemplo la dieta del salmón– en sus explicaciones y justificaciones. Lo que aporta de nuevo nuestro estudio es la comparación entre alumnado que había recibido instrucción sobre ecología en los estudios universitarios de biología, y alumnado que, además de esta instrucción, había tenido que utilizar estos conocimientos para construir un mapa conceptual.

Participantes, tarea y métodos de análisis

El trabajo forma parte de un estudio sobre la gestión de recursos marinos. En este artículo nuestro interés radica en examinar en qué medida estudiantes universitarios con conocimientos de biología son capaces de relacionar el modelo de flujo de energía con sus consecuencias para los ecosistemas, en concreto para el marino, y las dificultades que encuentran en el proceso, al aplicar el conocimiento a un caso concreto como la sustentabilidad de la acuicultura y al conectarlo con las pruebas proporcionadas.

Participantes: 134 estudiantes universitarios de Biología, de tres cursos consecutivos entre 2007 y 2009, de Didáctica de la Biología y la Geología: grupos A ($N = 46$), B ($N = 47$) y C ($N = 41$). La asignatura de didáctica era de libre elección y el alumnado en su mayoría correspondía a los últimos cursos. Por ello casi todos habían cursado previamente la asignatura de Ecología, obligatoria en el tercer curso.

Tarea: un ítem del examen, consistente en un fragmento del artículo “Mares esquilados” de Pauly y Watson (2003) de la revista Investigación y Ciencia (ver anexo), en el que se analiza la alimentación del salmón cultivado, y se cuestiona la rentabilidad ecológica de la acuicultura, con tres preguntas, de las que analizamos una:

Teniendo en cuenta los datos del texto anterior, y los conocimiento de ecología relacionados con esta problemática, indica qué tiene mayor eficiencia ecológica (y por tanto mayor aprovechamiento de recursos), alimentar a una población dada de personas con arenques, sardinas etc. – que se alimentan de pequeños crustáceos – o con salmones (independientemente que sean de pesca extractiva o cultivados en acuicultura). Justifica tu opción.

Las respuestas de los estudiantes se analizaron de acuerdo con a) el uso de conceptos de ecología relevantes para el problema, en particular flujo de energía y pirámide trófica, y b) el uso de pruebas para justificar sus conclusiones. Las categorías se construyeron en interacción con los datos, cumpliendo dos requisitos: exhaustividad, todas las respuestas han de estar en

alguna categoría, y exclusividad, la misma respuesta no puede estar en dos categorías. Los datos se sometieron a varios ciclos de análisis estableciendo los criterios para distribuir las respuestas en categorías en función de la complejidad de los conceptos utilizados, en el caso del primer objetivo, y del tipo de prueba utilizada, en el segundo. La rúbrica y las categorías se discuten conjuntamente con los resultados.

Diseño: Habiendo realizado la tarea con los grupos A y B se constataron dificultades del alumnado (Bravo Torija y Jiménez Aleixandre, 2010), como su desconocimiento o falta de asignación de un significado adecuado a la noción de eficiencia ecológica. Esto influía tanto al utilizar los conceptos de ecología, como al seleccionar y utilizar las pruebas para justificar su elección. Se consideró de interés estudiar qué ocurriría si durante el curso el alumnado tuviese que aplicar este concepto y si podrían identificarse diferencias en su desempeño al realizar la misma tarea. Por ello en el grupo C se solicitó al alumnado la elaboración de un mapa conceptual sobre la eficiencia ecológica, dedicando a ello dos sesiones, una para la realización individual del mapa, otra para la puesta en común, en la que se discutió la relación de la eficiencia con el flujo de energía y la pirámide trófica. Consideramos que esto nos permitiría analizar las diferencias derivadas de haber *recibido instrucción* sobre un concepto, y haber tenido que *aplicarlo*. Cabe señalar que en los grupos A y B se había realizado una actividad sobre la influencia de los cambios en un nivel de una red trófica sobre otros niveles.

¿Qué conceptos de ecología aplica el alumnado para resolver el problema?

Las respuestas se distribuyen en cinco categorías siguiendo una jerarquía, desde aquellas en las que se movilizan conceptos relevantes para la resolución del problema, en particular flujo de energía y pirámide trófica, hasta las que revelan una visión antropocéntrica. La tabla 1 resume las categorías y resultados, que ilustramos con ejemplos literales de respuestas. No se ha corregido la ortografía. Las aclaraciones aparecen entre corchetes y en cursiva [aclaración]. Los ejemplos A3, B10, B22, B23, B26, C4, C11 y C25 han sido traducidos del gallego al castellano.

Tabla 1. Uso de conceptos de ecología

Categoría	Grupo A N= 46 (%)	Grupo B N=47 (%)	Grupo C N= 41 (%)	Total N= 134 (%)
1. Modelo de eficiencia ecológica apelando a conceptos relevantes	7 (15,3)	8 (17,0)	15 (36,6)	30 (22)
2. Modelo general de eficiencia	14 (30,4)	13 (27,7)	5 (12,2)	32 (24)
3. Gestión de recursos	7 (15,3)	13 (27,7)	5 (12,2)	25 (19)
4. Equilibrio del ecosistema	15 (32,6)	9 (19,1)	9 (22)	33 (24,6)
5. Visión antropocéntrica	2 (4,3)	4 (8,5)	6 (14,6)	12 (9)
No contesta	1 (2,1)		1 (2,4)	2 (1,4)

Las dos primeras categorías utilizan, en nuestra opinión, conceptos ecológicos relevantes, si bien en distinta medida, mientras que las otras tres ponen de manifiesto problemas.

Modelo de eficiencia ecológica apelando a conceptos relevantes:

En esta categoría situamos las respuestas en las que el alumnado concluye que es más eficiente ecológicamente alimentarse en niveles inferiores, arenques y sardinas. Lo justifican apelando,

implícita o explícitamente, a la disminución de energía a través de los niveles tróficos, es decir utilizando el modelo de flujo de energía y la representación de la pirámide trófica.

C25: “teniendo en cuenta la ley del 10 %, por la cual se postula que entre nivel y nivel sólo pasa el 10% de la energía del nivel anterior, cuanto más alto esté el eslabón, más energía se pierde. Así, arenques y sardinas estarían en un eslabón más bajo y por lo tanto serían más eficientes”

Modelo general de eficiencia:

En estas respuestas también se concluye que es más eficiente alimentarse en niveles inferiores, pero la justificación es imprecisa, no se movilizan los conceptos relevantes. En estos casos los alumnos apelan a términos como costes/beneficios, salida/entrada, que se podrían aplicar a economía. Algunos de ellos sitúan la cuestión en el contexto de las piscifactorías (mientras que la pregunta es general).

B26: “ya que los gastos ecológicos necesarios para la producción de salmón en piscifactorías superan a los beneficios. Según esto, se estarían sacrificando las poblaciones de pequeños pelágicos al reducir su número para abastecer a otra población [salmón] más interesante desde el punto de vista de la demanda social y el consumo.”

Gestión de recursos:

Estas respuestas también concluyen que es más eficiente alimentarse de arenques y sardinas que de salmones, aunque sin utilizar las nociones de eficiencia ecológica, flujo de energía o pirámide trófica. Muchos justifican su conclusión apelando a otras nociones como presión pesquera, agotamiento de caladeros, sustentabilidad, reproducción o biodiversidad.

B22 “Creo que sería más eficiente comer arenques, sardinas... porque el hecho de criar salmones implica que hay que alimentarlos con otros peces, lo que significa que sigue habiendo la demanda sobre los caladeros naturales. Pero además, como esos peces que se emplean para alimentar a los salmones también se emplean para el consumo humano, se generaría una doble demanda sobre ellos, de modo que el problema ecológico de agotamiento de caladeros seguiría presente, e incluso se podría agravar.”

Equilibrio del ecosistema:

Muchas de las respuestas en este grupo concluyen que es mejor comer de ambos. Sus justificaciones apelan a nociones relacionadas con el mantenimiento de un supuesto "equilibrio ecológico". En términos de los estudiantes ‘preservar todas las especies’, ‘comer un poco de cada uno para distribuir la presión’ etc.

A3: “Todo precisa de un equilibrio, tampoco es cuestión de dejar criar a los salmones, o que no hubiera salmones, porque entonces se dispararían las poblaciones de arenques, sardinas, boquerones...y tampoco criar sin control salmones se van a agotar los animales antes mencionados: Un equilibrio de las dos cosas, ni por exceso, ni por defecto. La ecología se define por el equilibrio entre presa, depredador, productor, consumidor, si se pierde el equilibrio, no existe Ecología”.

Visión antropocéntrica:

En esta categoría incluimos las respuestas que justifican su elección, sean salmones o sardinas, en función de beneficios o problemas para el ser humano. Algunos apelan a la necesidad de una dieta variada (C11), otros al aumento de las grasas en peces de cultivo. En otros casos argumentan que “sólo una rodaja de salmón sirve para alimentar a una persona, mientras que arenques se necesitan varios”.

B23: “sería más lógico comer arenques y sardinas, porque ya es un alimento que nos proporciona los nutrientes necesarios.”

En resumen, los resultados muestran que en conjunto 62 estudiantes, un 46% utilizaron conceptos relevantes de ecología con diferentes grados de sofisticación, en las dos primeras categorías. De ellos un 22% usaron en su justificación el modelo de flujo de energía y la representación de la pirámide trófica. En esta categoría, modelo de eficiencia ecológica

apelando a conceptos relevantes, hay gran diferencia entre los grupos A (15,2%) y B (17 %), con respecto al C (36,6%). En este último se duplica el porcentaje de alumnos que utilizaron el modelo de flujo de energía para justificar que la alimentación con arenques y sardinas era más eficiente que la alimentación con salmón.

Una proporción similar de estudiantes, un 44%, dieron respuestas codificadas en las categorías 3 y 4, es decir no fueron capaces de responder contextualizando el problema en la eficiencia ecológica, sino que utilizaron nociones generales como la gestión de recursos o el equilibrio del ecosistema. Algunas de las respuestas situadas en la categoría 4, equilibrio del ecosistema, en particular en el grupo A, podrían relacionarse con la influencia de la actividad sobre redes tróficas adaptada de Griffiths y Grant (1985). En la tarea el alumnado tenía que predecir las consecuencias que tenían los cambios producidos en una población sobre otra situada en una cadena alimentaria diferente. Interpretamos que los estudiantes, al no identificar adecuadamente el objetivo de la actividad, podrían haber recurrido al problema trabajado en el aula.

¿Cómo usan las pruebas para justificar sus conclusiones?

Para analizar las respuestas, el principal criterio es la coordinación de pruebas empíricas – suministradas en el texto– y justificaciones teóricas con la conclusión. Se consideran tanto las pruebas como las justificaciones: a) justificaciones teóricas, entendidas como las que apelan a conceptos de ecología, que no se mencionan en el problema, pero son recuperados por los estudiantes; por ejemplo referencias a la disminución de la biomasa según se asciende en la pirámide trófica, o a la pérdida de energía a través de los niveles tróficos; b) pruebas empíricas, informaciones que constituyen datos concretos mencionados en el texto como la necesidad de tres kilos de pienso de pescado para obtener un kilo de salmón, y la dieta de las sardinas y los arenques compuesta principalmente por zooplancton y pequeños crustáceos. La tabla 2 resume las categorías y los resultados, ilustrados con ejemplos de respuestas.

Tabla 2. Coordinación de las pruebas con la conclusión

Categoría: coordinación de la conclusión	Grupo A N= 46 (%)	Grupo B N=47 (%)	Grupo C N= 41 (%)	Total N= 134 (%)
1. Con justificaciones teóricas y pruebas empíricas	2 (4,3)	3 (6,4)	14 (34,2)	19 (14)
2. Con las dos pruebas empíricas específicas	1 (2,1)	4 (8,5)	3 (7,3)	8 (6)
3. Con una prueba empírica específica	19 (41,9)	33 (70,2)	7 (17,0)	59 (44)
4. Con pruebas no específicas	14 (28,6)	5 (10,6)	13 (31,7)	32 (24)
5. Falta de coordinación	9 (21)	2 (4,3)	2 (4,9)	13 (10)
No contesta	1 (2,1)		2 (4,9)	3 (2)

Coordinación de la conclusión con justificaciones teóricas y pruebas empíricas:

Situamos en la categoría de mayor coordinación las respuestas en las que se combinan conceptos de ecología relevantes para el problema, como flujo de energía, con pruebas empíricas suministradas por el texto, como la información acerca de la utilización de los pequeños peces pelágicos para el consumo humano, en lugar de para el cultivo de salmón.

C4: “(...). Por otra parte también hay que tener presente que en la transferencia de energía de un nivel al siguiente de la cadena alimenticia tan sólo se aprovecha el 10% (...). De este modo, si la población humana se alimenta directamente de sardinas no se perdería energía en los salmones, eliminando un nivel.”

Coordinación de la conclusión con las dos pruebas empíricas específicas:

Estas respuestas justifican comer arenques y sardinas utilizando los dos tipos de pruebas empíricas como la necesidad de mayor cantidad de arenques y sardinas para producir salmón y la dieta de cada uno. Consideramos que constituye un nivel inferior de coordinación a la categoría 1 porque aunque identifican las pruebas específicas, no reconocen su relación con la eficiencia ecológica, concepto clave para poder llevar a cabo una gestión de recursos adecuada.

B10: “Resultaría más eficiente comer arenques y sardinas que comer salmones en el problema del agotamiento de las poblaciones puesto que para criar los salmones son necesarios sardinas, arenques y demás en forma de harina de pescado, es decir, que necesitamos estas especies que consumen a su vez los crustáceos, para obtener el salmón.”

Coordinación de la conclusión con una prueba empírica específica:

Estas respuestas se justifican utilizando sólo una de las pruebas suministradas en la actividad, o la necesidad de gran cantidad de arenques y sardinas para alimentar al salmón o la dieta de cada uno de ellos.

A30: “Si el salmón es de criadero [acuicultura], es más eficiente comer arenques y sardinas, ya que estas se alimentan de pequeños crustáceos que hay en el mar”

Coordinación de la conclusión con una prueba no específica:

En estas respuestas se utilizan como justificación pruebas no específicas como las ideas de aporte nutricional completo o de diversidad, que tendrían relación con otras cuestiones, pero no con el problema de la eficiencia ecológica.

C11 “A mi parecer los extremos nunca fueron buenos, a mi parecer la solución estaría en el equilibrio, ya que primero tenemos que tener en cuenta que las personas tiene que tener una alimentación variada, cada pez tiene su proporción de fósforo, hidratos de carbono, grasas etc. y por lo tanto decantarse por una de ellas sería un error.”

Falta de coordinación:

Situamos en esta categoría las respuestas que utilizan pruebas que son contradictorias con la conclusión alcanzada.

A20: “yo creo que es más eficiente comer salmones: las sardinas y boquerones están más abajo en la cadena o red trófica. Al comer más salmón no habrá ninguna población por encima de él que dependa para su alimentación específicamente.”

En resumen, los resultados muestran que en conjunto 86 estudiantes, un 64%, fueron capaces de coordinar su conclusión con pruebas específicas apropiadas para al problema, estando sus respuestas en las categorías 1, 2 y 3. Solo un 14 % de las respuestas se encuentran en el mayor nivel de coordinación, al ser capaces de utilizar tanto justificaciones empíricas como pruebas teóricas. Dentro de esta categoría hay más diferencia entre el desempeño de los grupos que en el uso de conceptos, siendo inferior en A (4,3%) y B (6,4%) que en C (34,2%). Interpretamos que la familiarización con los conceptos relevantes, y haber tenido que aplicarlos previamente podría ser crucial para identificar el objetivo de la actividad, en este caso escoger la opción de alimentación más eficiente desde el punto de vista ecológico, y para seleccionar las informaciones adecuadas para resolver el problema. Comprender el objetivo de la tarea, permite reconocer las pruebas relevantes. Este resultado concuerda con los de von Aufsch奈ter y col (2008) que encuentran que alumnos familiarizados con el contenido conceptual de la tarea generan argumentos de mayor calidad.

Cabe hacer notar la baja proporción de alumnos (6%) que utilizaron las dos pruebas suministradas por la actividad frente a los que solo utilizaron una (44%). Esto podría indicar la falta de práctica en actividades de uso de pruebas en las que se solicita al alumnado de forma explícita la justificación de una conclusión u opción. Estos resultados apuntan, como los de Gott y Duggan (1996) o Sandoval y Millwood (2005), a que para aprender a usar las pruebas, es necesario conocer qué son pruebas, y promover actividades en el aula en las que se favorezca su uso. A esto añadiríamos la necesidad de identificar los conceptos relevantes para el problema y ser capaz de aplicarlos.

Conclusiones e implicaciones educativas

Este estudio examina los desempeños en las competencias de uso de pruebas y uso de modelos de ecología en un problema sobre la sustentabilidad de la acuicultura. La cría de peces se contempla como una solución a la sobreexplotación del mar. Podría serlo si se criaran peces herbívoros, sin embargo la mayoría de los que se crían son carnívoros cuaternarios como el salmón o el rodaballo que se alimentan de especies de pescado comestibles. Para alimentar a estos peces estamos utilizando recursos extraídos directamente del mar que podrían ser utilizados por el ser humano, lo que supone seguir esquilmando los mares. La razón es que se atiende más a su alto valor comercial que a su impacto en los recursos marinos (Rivera Ferre, 2007). El debate y la argumentación sobre este tema requieren por parte del alumnado un uso apropiado de las pruebas y conocimientos científicos sobre la cuestión. En este caso conocimientos de ecología, por ejemplo diferenciar entre consumidores de distintos niveles tróficos.

Aunque la predicción de las consecuencias del flujo de energía en la gestión de recursos es un criterio de evaluación tanto en 4º de ESO como en Ciencias de la tierra y medio ambiente (MEC, 2007), los estudiantes experimentan dificultades para usar modelos como el flujo de energía o las pirámides tróficas para resolver el problema. Menos de la mitad del alumnado, un 46 %, aplicó estos conceptos. Un 44 % apelaron a nociones ecológicas no relacionadas con la cuestión, tales como biodiversidad o equilibrio ecológico. Un 9% resolvió la actividad teniendo en cuenta un punto de vista antropocéntrico, apelando a nociones como la importancia de los requerimientos nutricionales.

En cuanto a cómo utiliza el alumnado las pruebas y cómo las coordina para justificar su conclusión, el 64% del alumnado de esta muestra es capaz de usar una o más pruebas para justificar la opción de que es más eficiente ecológicamente alimentarse de arenques y sardinas que de salmón. A pesar de esta mayoría que coordinan las pruebas con la conclusión, hay un 24% que no reconoce las pruebas suministradas en el texto y aporta otras no relacionadas con la cuestión, como en la respuesta C11, y un 10% que no es capaz de coordinarlas. Estos resultados reflejan la dificultad que parte de la población podría experimentar al tener que apoyar una decisión con pruebas.

La relación entre la competencia argumentativa y el conocimiento es muy discutida en la literatura. En este estudio consideramos como criterio de mayor coordinación de pruebas con conclusiones el que los argumentos utilizasen pruebas empíricas y justificaciones teóricas. Los 19 estudiantes que dan respuestas situadas en la categoría de mayor coordinación, también lo hacen en la categoría más alta en uso de conceptos.

Una de las razones de qué la mitad del alumnado no fuera capaz de transferir conocimiento de ecología a un nuevo contexto podría deberse a que al no reconocer el significado de eficiencia ecológica, los alumnos no identificaran el objetivo de la tarea. Aquellos alumnos que habían tenido que aplicar esta noción en el aula, el grupo C, tuvieron un mejor desempeño en ambos

aspectos. Más del 30% de los alumnos del grupo C fueron capaces de apelar al modelo de flujo de energía y de coordinarlo con datos proporcionados en el texto, mientras que en los grupos A y B esa proporción no llega al 20 % en el uso de modelos, ni al 10% en el de pruebas. Aunque menor, también se aprecia una diferencia entre las respuestas del grupo B frente al A, en el grupo B solo hay 7 respuestas situadas en los niveles más bajos de coordinación frente a las 23 del grupo A. Esto podría deberse a que en el grupo B se había discutido en clase la cuestión de cuánta gente podía alimentarse usando un terreno de un área determinada a) cuando se cultivaba arroz o cereales, y b) cuando se utilizaban los cereales para alimentar vacas.

Nuestra perspectiva supone que abordar en el aula actividades que favorezcan la reflexión sobre problemas contextualizados en la vida real y en los que sea necesario aplicar los conocimientos favorece el desarrollo de la competencia en usar pruebas. Estos resultados se utilizaron para diseñar una unidad didáctica (Puig, Bravo y Jiménez Aleixandre, 2012) en la que se pretendió integrar el uso de pruebas para justificar elecciones, con la aplicación de modelos teóricos, como el modelo de flujo de energía. Las actividades se sitúan en contextos cercanos al alumnado. El objetivo es intentar favorecer el desarrollo de competencias, como el uso y la transferencia de conocimientos conceptuales y el uso de pruebas.

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. A Conxita Márquez por sus orientaciones, y a los revisores anónimos de la revista, por las indicaciones a la primera versión.

Referencias bibliográficas

- Bravo Torija, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2010) Is raising salmon sustainable? Use of concepts and evidence about ecology. En M. Hammann, A. J. Waarlo, y K. Th. Boersma (eds.), *the nature of research in biological education: old and new perspectives on theoretical and methodological issues*, (pp. 153-166). Utrecht: Utrecht university, fisme, cd-β press.
- Brundtland Report (1987). Our Common Future. <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf> (Recuperado en febrero 2013)
- Cañas, A., Martín Díaz, M.J. y Nieda, J. (2007). *Competencia en el conocimiento y en la interacción con el mundo físico*. Madrid: Alianza editorial.
- Carlsson, B. (2002). Ecological Understanding 2: transformation—a key to ecological understanding. *International Journal of Science Education*, 24(7), 701-715.
- Colucci-Gray, L., Camino, E., Barbiero, G. y Gray, D. (2006). From scientific literacy to sustainability literacy: an ecological framework for education. *Science Education*, 90, 227–252.
- Eilam, B. (2002). Strata of comprehending ecology: looking through the prism of feeding relations. *Science Education*, 86(5), 645-671.
- 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), 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(10), 259-272.
- 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(5), 421-136.
- Gott, R., y Duggan, S. (1996). Practical work: its role in the understanding of evidence in science. *International Journal of Science Education*, 18 (7), 791-806.
- Grotzer, T. A., y Basca, B. B. (2003). How does grasping the underlying causal structures of ecosystems impact students' understanding? *Journal of Biological Education*, 38(1), 16-29.
- Hogan, K., y Fisher Keller, J. (1996). Representing students' thinking about nutrient cycling in ecosystems: bidimensional coding of a complex topic. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 941-970.
- 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), 663-687.
- 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), 19 -32
- Ibarra, J., Carrasquer, J., y Gil, M. J. (2010). Un proceso oscuro y anónimo: la descomposición de la materia viva. *Alambique*, 64, 99-108.
- Jiménez Aleixandre, M. P., y Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: an overview. En S. Erduran & M.P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 3-27). Dordrecht: Springer.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B., y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.
- Kanari, Z., y Millar, R. (2004). Reasoning from data: how students collect and interpret data in science investigations. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practices. En R. Duschl, y R. Grandy (Eds.), *Teaching Scientific Inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Rotterdam: Sense Publishers.
- Kelly, G. J., y Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: an analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86, 314-312.
- Magntorn, O., y Helldén, G. (2007). Reading new environments: students' ability to generalise their understanding between different ecosystems. *International Journal of Science Education*, 29, 6-100.
- 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(3), 371- 401.
- Ministerio de Educación (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

- Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OCDE). (2006). Pisa 2006. *Marco de la evaluación: conocimientos, habilidades en ciencias, matemáticas y lectura*. Madrid: Santillana.
- Özar, E., y Öztas, H. (2003). Secondary students' interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37(2), 68-70.
- Pauly, D., y Watson, R. (2003). Mares esquilados. *Investigación y Ciencia*, 324, 16-22.
- Pauly, D., Christensen, V., Dalsgaard, J., Froese, R. & Torres, F. (1998) Fishing down marine food webs. *Science*, 279, 860–863.
- Pauly, D., Tyedmers, P., Froese, R. & Liu, L. Y. (2001). Fishing down and farming up the food web. *Conservation Biology in Practice*, 2(4), 25.
- Puig, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). What do 9th grade students consider as evidence for or against claims about genetic differences in intelligence between black and white 'races'? en M. Hammann, A. J. Waarlo y K. Th. Boersma (Eds.), *The nature of research in biological education: old and new perspectives on theoretical and methodological issues* (pp. 153-166). Utrecht: Utrecht University, fisme, cd-β press.
- Puig, B., Bravo, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). *Argumentación en el aula: Dos unidades didácticas*. Santiago de Compostela: Danu. Descargable en www.rodausc.eu.
- Rivera Ferre, M. G. (2007). Propuesta de la FAO para impulsar la acuicultura: ¿un modelos sostenible? *Ecología Política*, 32, 31-40.
- Sadler, T., y Donnelly, L. A. (2006). Socioscientific argumentation: the effects of content-knowledge and morality. *International Journal of Science Education*, 28, 1463-1488.
- Sandoval, W. A., y Millwood, K. A. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55.
- von Aufschnaiter, C., Erduran, S., Osborne, J., y Simon, 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, 101-131.

ANEXO

Fragmento de “Mares esquilmados” de Pauly y Watson, “Investigación y Ciencia” nº134

“Muchos creen que la acuicultura aliviará la presión sobre las poblaciones [de peces]. Ahora bien, sólo podrá hacerlo si los organismos que se crían no consumen pienso de pescado. Se pueden criar mejillones, almejas y tilapias, un pez herbívoro sin pienso de pescado. Cuando se echa pienso a los peces, como en el caso del salmón y otros carnívoros, la acuicultura agrava el problema, al convertir en pienso para animales a pequeños pelágicos, entre los que hay algunos adecuados para el consumo humano, como los arenques, sardinas, boquerones y caballas. (...) En realidad las piscifactorías de salmones consumen más pescado del que producen; pueden ser necesarios tres kilogramos de pienso de pescado para obtener un kilogramo de salmón”

1. Teniendo en cuenta los datos del texto anterior, y los conocimiento de ecología relacionados con esta problemática, indica qué tiene mayor eficiencia ecológica (y por tanto mayor aprovechamiento de recursos), alimentar a una población dada de personas con arenques, sardinas etc. – que se alimentan de pequeños crustáceos – o con salmones (independientemente que sean de pesca extractiva o cultivados en acuicultura). Justifica tu opción.
2. ¿En qué condiciones sería el cultivo del salmón una solución al problema de la sobrepesca? Explícalo
3. Si utilizamos este texto en secundaria para ilustrar el problema del agotamiento de los recursos marinos ¿Qué conceptos de ecología necesitarían dominar los estudiantes?