

ARGUMENTACIÓN EN EL AULA: DOS UNIDADES DIDÁCTICAS

Proyecto S-TEAM

**Blanca Puig
Beatriz Bravo Torija
María Pilar Jiménez Aleixandre**

Ilustradora: Andrea López

Proyecto *Science Teacher Education Advanced Methods (S-TEAM)* Financiado por la Unión Europea, 7º Programa Marco (FP7)

Universidade de Santiago de Compostela, España

Danú 2012

Contactos:

Coordinador del proyecto: Peter van Marion

Peter.van.Marion@plu.ntnu.no

Coordinadora adjunta: Doris Jorde

doris.jorde@ils.uio.no

Coordinadora Work package 7: María Pilar Jiménez-Aleixandre

marilarj.aleixandre@usc.es

Gestor del proyecto: Peter Gray

graypb@gmail.com

Administradora: Hilde Roysland

hilde.roysland@svt.ntnu.no

S-TEAM web: www.ntnu.no/s-team

Dirección postal: S-TEAM, Program for Teacher Education, NTNU

Dragvoll Gård; N-7491 Trondheim, Noruega

Equipo S-TEAM en la Universidad de Santiago de Compostela

María Pilar Jiménez-Aleixandre

Blanca Puig Mauriz

Juan Ramón Gallástegui Otero

Joaquín Díaz de Bustamante

Beatriz Bravo Torija

© texto: Blanca Puig, Beatriz Bravo, María Pilar Jiménez-Aleixandre

© Ilustraciones: Andrea López

S-TEAM 2012

El proyectos de S-Team recibe fondos del 7º Programa Marco de la Unión Europea: [FP7/2007 2013] bajo el acuerdo nº 234870

Agradecimientos a Sue Johnson por la autorización para emplear la actividad de 'Cocinar rosquillas'.

Publicado por: Danú, Santiago de Compostela, España.

ISBN

Depósito legal

1ª Edición: Marzo 2012

Colaboradores: Profesores de secundaria

Miguel Fernández Iglesias (IES Pedra da Auga, Ponteareas, Pontevedra)

Luis Fernández López, (IES Carlos Casares, Viana do Bolo, Ourense)

Azucena González (IES Mos, Mos, Pontevedra)

Lois Rodríguez Calvo, (IES Fragas do Eume, Pontedeume, A Coruña)

Miguel Ríos Torre (IES Rosalía de Castro, Santiago de Compostela)

David A. Sanmartín Outeiral (IES Rosalía de Castro, Santiago de Compostela)

Adela Vázquez Vázquez (IES Pontepedriña, Santiago de Compostela)

Estos materiales pueden ser fotocopiados para ser utilizados en el aula, citando la obra original y las autoras.

También se pueden descargar en: www.rodasc.eu

ÍNDICE

Introducción: Argumentación en contextos de ciencias	9	Parte II Uso de pruebas y modelización sobre la transferencia de energía	
Articulación entre el aprendizaje de la argumentación y el de las ciencias	9	8. Objetivos de la unidad didáctica: promover la argumentación y la modelización	37
Significado de argumentación y sus conexiones con la indagación	10	8.1 Objetivos de la unidad didáctica: usar pruebas, producir representaciones	37
		8.2 ¿Por qué es importante la apropiación del modelo de flujo de energía?	38
		8.3 Estructura de la unidad didáctica	38
Parte I Uso de pruebas y modelización sobre la expresión de los genes		9. Modelizar la transferencia de energía con agua: ¿Que circula en la cadena trófica?	40
1. Objetivos de la unidad didáctica: promover la argumentación y la modelización	11	9.1 Introducción: Promover la modelización mediante las simulaciones	40
1.1 Objetivos de la unidad didáctica: usar pruebas, desarrollar el pensamiento crítico	11	9.2 ¿Qué circula en la cadena trófica?	41
1.2 Por que es importante la apropiación del modelo de expresión de los genes	12	9.3 Aprender de su puesta en práctica	42
1.3 El determinismo biológico y sus conexiones con el racismo	12		
1.4 Estrutura de la unidad didáctica	12	10. Producir representaciones: ¿Por qué tienen esa forma las pirámides tróficas?	43
		10.1 Introducción: Producir representaciones externas	43
2. Extraer conclusiones de datos: ¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos?	14	10.2 ¿Por que tienen esa forma las pirámides tróficas?	44
2.1 Introducción: Extraer conclusiones a partir de datos	14	10.3 Aprender de su puesta en práctica	45
2.2 ¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos?	15		
2.3 Aprender de su puesta en práctica	16	11. Aplicar un modelo: ¿Como gestionar una granja?	46
		11.1 Introducción: Usar modelos en distintos contextos	46
3. Relacionar modelización y argumentación: genotipo y fenotipo de las personas	17	11.2 ¿Como gestionar una granja?	47
3.1 Introducción: Relacionar modelización y argumentación	17		
3.2 Genotipo y fenotipo de las personas	18	12. Usar pruebas en la toma de decisiones sobre gestión de recursos	49
3.3 Aprender de su puesta en práctica	19	12.1 Introducción: Aplicar el conocimiento en un contexto auténtico	49
		12.2 Gestión de recursos en una bahía	50
4. Elegir explicaciones basándose en pruebas: los velocistas negros	20	12.3 Aprender de su puesta en práctica	52
4.1 Introducción: Elegir explicaciones basándose en pruebas	20		
4.2 Los velocistas negros	21	13. Transferir el conocimiento a contextos nuevos: ¿Herbívoros o carnívoros?	53
4.3 Aprender de su puesta en práctica	24	13.1 Introducción: Transferir el conocimiento a contextos nuevos	53
		13.2 ¿Podría ser la acuicultura una solución?	54
5. Evaluar un enunciado a la luz de las pruebas: Watson y la inteligencia	26	13.3 Aprender de su puesta en práctica	55
5.1 Introducción: Evaluar un enunciado a la luz de las pruebas	26		
5.2 Watson y la inteligencia	27	14. Conclusiones: Cómo favorecer la argumentación	56
5.3 Aprender de su puesta en práctica	28		
		Bibliografía	57
6. Modelizar la influencia del ambiente: Cocinar rosquillas	29		
6.1 Introducción: Modelizar la influencia del ambiente	29		
6.2 Cocinar rosquillas	30		
6.3 Aprender de su puesta en práctica	32		
7. Predecir resultados en un contexto nuevo: ¿Que ocurrirá con los gemelos?	33		
7.1 Introducción: Predecir resultados en un contexto nuevo	33		
7.2 ¿Que ocurrirá con los gemelos?	34		
7.3 Aprender de su puesta en práctica	35		

INTRODUCCIÓN: ARGUMENTACIÓN EN CONTEXTOS DE CIENCIAS

En este documento se presentan dos unidades didácticas: la primera sobre la expresión de los genes forma parte de los productos del Work Package 7 (WP7) de S-TEAM, que consisten en recursos y estrategias para ayudar al profesorado a crear ambientes de aprendizaje para promover la argumentación y las prácticas discursivas en ciencias. El objetivo del WP7 es difundir recursos para promover la enseñanza y el aprendizaje de la argumentación en las clases de ciencias, como un componente de la enseñanza de las ciencias basada en la indagación (Inquiry Based Science Teaching / Learning, IBST/L). Los objetivos de la segunda unidad, sobre la transferencia de energía en los ecosistemas, elaborada en el marco del proyecto RODA (Razonamiento, Debate, Argumentación) desarrollado en la Universidad de Santiago de Compostela, financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación, persiguen un propósito similar.

Las unidades didácticas están enmarcadas en las perspectivas de argumentación, tanto teóricas como relacionadas con el currículo, abordadas en otros documentos del WP7 (Jiménez Aleixandre et al., 2011), disponibles en la web de S-TEAM. Aquí se abordan solo algunas cuestiones relevantes para las actividades de las unidades. Los recursos producidos en el WP7 comprenden dos conjuntos: primero, recursos y actividades para las clases de primaria y secundaria, y segundo unidades didácticas y actividades para la formación del profesorado, con el objetivo de promover el desarrollo de las competencias en argumentación. Todos ellos están disponibles en la web de S-TEAM. Este documento forma parte del primer conjunto, y consiste en dos unidades didácticas para las clases de ciencias, puestas en práctica en institutos de secundaria en los cursos 2008–2009 a 2010–2011:

Uso de pruebas y modelización sobre la expresión de los genes, corresponde al recurso WP7.3. Unidad didáctica para la argumentación: La expresión de los genes.

Uso de pruebas y modelización sobre el flujo de energía en los ecosistemas, parte de la cual se aborda, en relación con la formación del profesorado, en el libro WP6.15.

Articulación entre el aprendizaje de la argumentación y el de las ciencias

Las unidades didácticas se centran en *apoyar los enunciados con pruebas* en los contextos de genética y ecología. Se enmarcan en el programa de investigación del equipo de la USC, interesado en la articulación entre las prácticas epistémicas, como la argumentación y la modelización, y la alfabetización científica. Las unidades están basadas tanto en los estudios sobre argumentación como sobre el aprendizaje de la genética y la ecología. Nuestro trabajo aborda el desarrollo por el alumnado de la competencia de argumentación, pero no en cualquier contexto: pretendemos promover la argumentación del alumnado sobre cuestiones *científicas* y en clases de *ciencias*.

El propósito de estas unidades es proporcionar recursos al profesorado de ciencias interesado en introducir la argumentación en el aula. Por un lado, los docentes de biología podrían emplearlas con su alumnado; por otro, se espera que docentes de química, geología y física puedan adaptarlas o usarlas como modelo para construir otras sobre temas de otras disciplinas. El profesorado podría usar, por ejemplo, la actividad del capítulo 2 centrada en extraer conclusiones a partir de datos, o las actividades de los capítulos 4 y 12 en las que el alumnado tiene que elegir entre distintas explicaciones, o tomar decisiones, en base a distintos conjuntos de pruebas, situando estas actividades en contextos de química, geología o física.

Muchos profesores y profesoras promueven formas de argumentación y uso de pruebas en sus clases, por ejemplo cuando solicitan a sus alumnos que justifiquen sus conclusiones, que obtengan pruebas de laboratorio y que extraigan conclusiones a partir de ellas, o cuando sugieren que apoyen sus conclusiones con pruebas. El propósito de estos recursos es ayudar al profesorado a promover la argumentación de forma sistemática y con un enfoque más estructurado. Nuestra experiencia en formación de profesorado parece indicar que las actividades de argumentación son más relevantes cuando están claramente enmarcadas en un contexto disciplinar, por ejemplo en una unidad didáctica o actividad de ciencias.

Es necesario indicar que para nosotros proponer que los alumnos deberían aprender a argumentar no significaba que el profesorado deba enseñarles la argumentación explícitamente. Nuestra perspectiva de cómo enseñar argumentación es a través de la *práctica*: hacer que el alumnado la practique. Consideramos más importante el diseño de tareas que requieran un papel activo del alumnado, y menos importante, o incluso innecesario, enseñarles la argumentación de forma explícita (Jiménez Aleixandre, 2008; 2010). Estamos de acuerdo con Deanna Kuhn (2011) en la necesidad de proporcionar al alumnado ‘densas experiencias’ de argumentar entre compañeros. Otras perspectivas proponen enseñar al alumnado el concepto de argumentación y los componentes de un argumento, e implicarse en ella. Ambos enfoques coinciden en la necesidad de ambientes de aula que promuevan las prácticas discursivas y la implicación de los estudiantes en diálogos y contrastes de ideas e interpretaciones.

El significado de la argumentación y sus conexiones con la indagación

¿Qué entendemos por argumentación? Se puede caracterizar de distintas formas, pero para el propósito de estos recursos consideramos argumentación como, la *evaluación de los enunciados de conocimiento* a la luz de las pruebas disponibles (Jiménez-Aleixandre, 2008). Este proceso implica también persuadir a una audiencia, sean oyentes o lectores. El interés de la didáctica de las ciencias en argumentación implica un reconocimiento de la relevancia de las prácticas discursivas en la construcción del conocimiento científico. Hacer ciencias, aprender ciencias conlleva un trabajo experimental, y también trabajar con ideas, proponiéndolas, discutiéndolas y evaluándolas en base a pruebas. Científicos y estudiantes necesitan también comunicar ideas científicas, leer, construir significados y escribir textos relacionados con la ciencia. En el documento de S-TEAM sobre argumentación y formación del profesorado (Jiménez Aleixandre et al., 2011) se discuten de forma más detallada los componentes de la argumentación.

¿Cómo se relaciona la argumentación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias basado en indagación (Inquiry Based Science Teaching and Learning, IBSTL)? Existe cierto consenso en la idea de que la argumentación se ve favorecida por enfoques de indagación (Duschl y Grandy, 2008). En IBSTL los alumnos tienen un papel activo siendo protagonistas de su propio aprendizaje; resuelven problemas, diseñan experimentos y llevan a cabo proyectos de investigación partiendo de prácticas científicas. La argumentación, la evaluación del conocimiento, se contempla como participación en estas prácticas.

Desde la perspectiva del currículo, enmarcamos la argumentación y el uso de pruebas en la competencia científica, una de las ocho competencias básicas recomendadas por la Unión Europea (EU, 2006). La competencia científica constituye un eje del Programa para la Evaluación Internacional de Estudiantes, PISA (OCDE, 2006; 2009). PISA pone el acento en tres competencias científicas, las capacidades de:

Identificar cuestiones científicas que puedan ser respondidas en base a pruebas científicas; reconocer las características principales de una investigación científica.

Explicar o predecir fenómenos aplicando el conocimiento científico.

Usar pruebas científicas para extraer y comunicar conclusiones, identificar supuestos, pruebas y razonamientos que sustentan las conclusiones.

Consideramos en esta tercera competencia, usar pruebas científicas para extraer conclusiones, e identificar pruebas que apoyan una conclusión, equivalente a la competencia argumentativa. La caracterización de competencia se centra en la capacidad de *aplicar o usar* el conocimiento en variedad de contextos y situaciones. Por tanto más que aprender los componentes de un argumento, la cuestión es aprender cómo evaluar un enunciado.

Las unidades didácticas presentadas en este documento amplían las aportaciones de otros proyectos innovadores de didáctica de las ciencias. Estas actividades pueden ser utilizadas en combinación con otros recursos diseñados para promover la argumentación, por ejemplo los producidos en el contexto del proyecto *Mind the Gap* (Jiménez Aleixandre et al., 2009), también financiado por el 7º Programa Marco. Todos ellos son complementarios, y necesitan entenderse como parte del esfuerzo para promover la introducción de la argumentación en las aulas.

El documento se organiza en dos secciones, que abordan las dos unidades, comenzando por un capítulo en el que se resumen los objetivos y la estructura. Las actividades presentadas en los capítulos siguen la misma estructura: 1) introducción para el profesorado; 2) La actividad en una o más páginas separadas, que se pueden imprimir (de la web) o fotocopiar para usar en clase, y 3) comentarios sobre su puesta en práctica en las clases de secundaria. El último capítulo resume alguno de los desafíos encontrados y qué se puede aprender de ellos para favorecer la argumentación.

PARTE I USO DE PRUEBAS Y MODELIZACIÓN SOBRE LA EXPRESIÓN DE LOS GENES

1. OBJETIVOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: PROMOVER LA ARGUMENTACIÓN Y LA MODELIZACIÓN

La unidad didáctica fue diseñada con el propósito de desarrollar la competencia del alumnado en usar pruebas y participar en la argumentación. El contexto es genética en 4º de ESO (15-16 años), en concreto el modelo causal de expresión de los genes, o las relaciones entre genotipo y fenotipo, centrándose en las interacciones genes-ambiente. El principal objetivo es implicar al alumnado en el *uso de pruebas* en la construcción y evaluación de explicaciones sobre características y desempeños humanos. La unidad se puso en práctica en un estudio piloto y dos fases de investigación en cinco aulas de secundaria, con 127 alumnos (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011).

En el currículo la genética forma parte de los contenidos de 4º de ESO, último curso de enseñanza obligatoria. En este curso la biología es optativa. Por este motivo uno de los profesores decidió llevar a cabo la unidad en la materia de 1º de Bachillerato, Ciencias para el Mundo Contemporáneo (CMC), que es obligatoria para todo el alumnado. La naturaleza socio-científica de esta cuestión la hace especialmente adecuada para esta materia que aborda cuestiones científicas de relevancia social.

En este capítulo se resumen en primer lugar los objetivos, en segundo se discute brevemente la relevancia del modelo de expresión de los genes y el determinismo biológico, y en tercero se presenta la estructura de la unidad didáctica.

1.1 Objetivos de la unidad didáctica: usar pruebas, desarrollar el pensamiento crítico

El principal objetivo es implicar al alumnado en usar pruebas para construir y evaluar explicaciones sobre características o desempeños humanos. En el aula y el laboratorio de ciencias las prácticas científicas de argumentar y explicar fenómenos mediante modelos están conectadas entre sí. Como señalan Berland y Reiser (2009) los modelos científicos, las explicaciones causales, se construyen mediante los procesos sociales de formular preguntas, evaluar y revisar. Las actividades de esta unidad didáctica combinan la identificación, selección y uso de pruebas para evaluar enunciados (argumentación) y la modelización de la expresión de los genes (explicación). Ambas se corresponden con dos de las tres competencias discutidas en la introducción.

Estas dos prácticas o competencias forman parte de la disciplina, están relacionadas con la ciencia. La argumentación forma parte de las prácticas científicas y la modelización de los genes de las prácticas científicas y de la genética, un área concreta del conocimiento científico. Estamos de acuerdo con Tiberghien (2008) en la necesidad de ir más allá de los objetivos de la materia al diseñar una unidad didáctica, teniendo en cuenta la cultura científica y la educación para la ciudadanía del alumnado. Podríamos decir que esta unidad didáctica tiene dos objetivos relacionados con la formación científica del alumnado, y un tercero relacionado con la ciudadanía y el desarrollo del pensamiento crítico:

Desarrollar la competencia de usar pruebas para construir y evaluar conclusiones y explicaciones sobre la expresión de los genes, en otras palabras argumentar.

Ser capaz de aplicar el modelo de expresión de los genes a problemas situados en contextos de la vida real, en otras palabras, explicar fenómenos relacionados con la expresión de los genes utilizando conocimientos adecuados.

Ser capaz de desarrollar una posición crítica sobre el determinismo biológico, en otras palabras, evaluar críticamente enunciados sobre las interacciones genes-ambiente.

1.2 ¿Por qué es importante la apropiación del modelo de expresión de los genes?

Usar pruebas en el contexto del modelo de expresión de los genes requiere una comprensión adecuada de la noción de fenotipo y de la influencia del ambiente en la expresión de los genes. Un resumen de las ideas principales del modelo podría ser que el genotipo es el conjunto de genes de un organismo, y el fenotipo es la expresión de esos genes, resultado de los complejos mecanismos implicados en la regulación de los genes y en las interacciones entre genes y ambiente. El término fenotipo se refiere tanto a características visibles, como el color de la piel y el cabello, como a las que son detectables, pero no visibles, como la persistencia de la lactasa o tolerancia a la lactosa (capacidad de los adultos para digerir la lactosa de la leche). El rango de influencia del ambiente en la expresión de los genes va desde características en las que no influye, como los grupos sanguíneos, hasta otras en las que ejerce gran influencia, como la estatura que depende de una nutrición adecuada.

Las relaciones entre genotipo y fenotipo en términos de interacciones entre genes y ambiente explican, por ejemplo, características humanas como la estatura y el peso, y desempeños humanos como los logros en atletismo o la inteligencia. Los alumnos necesitan entenderlo para poder argumentar cómo el ambiente influye en algunas características fenotípicas, por ejemplo, por qué hoy día la gente es más alta que hace unas generaciones, abordado en la primera actividad de la unidad.

Es interesante hacer notar cómo introdujeron esta cuestión algunos profesores participantes (identificados con pseudónimos). El profesor Val explicó la influencia del ambiente en la expresión de los genes utilizando seis ejemplos, como las distintas causas del raquitismo, la herencia o la falta de la vitamina D en la dieta y los efectos de la temperatura de incubación en el sexo de las crías de cocodrilo. El profesor Quiroga implicó a los alumnos en un diálogo sobre cómo el genotipo se manifiesta o expresa en el fenotipo. Utilizó dos analogías, la coincidencia o falta de ella entre los planos del edificio de su instituto y el propio edificio, y una partitura musical tocada por distintas personas. Ambos enfoques de enseñanza y los resultados se discuten en detalle en otro lugar (Puig y Jiménez Aleixandre, 2011). Sin embargo, a pesar de las estrategias utilizadas por el profesorado, parte del alumnado tiene problemas para entender y aplicar el modelo de expresión de los genes, algunos de ellos relacionados con representaciones deterministas.

1.3 El determinismo biológico y sus conexiones con el racismo

Entender el modelo de expresión de los genes es necesario para evaluar críticamente las posiciones deterministas y contrastarlas con las pruebas. Se entiende por determinismo biológico la posición que mantiene que todos los desempeños y características individuales, incluyendo la inteligencia, los logros académicos o la criminalidad son innatas, determinadas exclusivamente por los genes. En concreto se mantiene esto sobre el comportamiento y los desempeños intelectuales. Estas posiciones están relacionadas con opiniones racistas y sexistas que atribuyen todos los logros, e incluso las diferencias sociales a la herencia genética. Una implicación es la justificación de las desigualdades sociales, afirmando que es inútil invertir en educación o establecer políticas dirigidas a reducir desigualdades. Este es el caso del enunciado de Watson en la segunda actividad.

Hay que reconocer que durante siglos estas creencias formaron parte de las ideas dominantes de la ciencia, y que los libros de texto de ciencias incluían jerarquías que consideraban algunas razas 'superiores' a otras. Aunque el modelo actual de la expresión de los genes explica las relaciones entre genotipo y fenotipo como consecuencia de las interacciones entre genes y ambiente, las perspectivas deterministas persisten en la sociedad, en la literatura, en los medios o en los chistes. Como otras construcciones sociales son resistentes al cambio. Esta conexión con las representaciones sociales hace de esta una cuestión socio-científica. Diversos autores recomiendan la utilización de tareas situadas en contextos de la vida real y socio-científicos, por considerarlos adecuados para el uso de pruebas.

1.4 Estructura de la unidad didáctica

La unidad didáctica fue diseñada para seis sesiones. Los docentes pueden elegir entre introducir los conceptos relevantes integrándolos en las actividades o bien en una sesión previa. Aquí se discuten seis tareas con el objetivo de promover el uso de pruebas y la modelización. Todas ellas fueron puestas en práctica en las aulas a lo largo de tres años. Los alumnos trabajaron en pequeños grupos. La tabla 1.1 resume la estructura de la unidad, las prácticas de uso de pruebas y los conceptos de genética de cada actividad.

Tabla 1.1 Resumen de las actividades de la unidad didáctica

Sesión	Actividad	Uso de pruebas: prácticas del alumnado	Conceptos de genética
1	<i>¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos?</i>	Interpretar datos; construir explicaciones causales a partir de datos; elaborar predicciones	Modelo de interacción genes - ambiente; relaciones genotipo - fenotipo
2	<i>Genotipo y fenotipo de las personas</i> (adaptado de Dixon, 1982, <i>Take two people</i>)	Relacionar modelización y argumentación; realizar una modelización	Genes y alelos; dominante, recesivo; relaciones genotipo - fenotipo; homocigoto, heterocigoto
3-4	<i>Los velocistas negros</i>	Identificar pruebas que apoyan uno u otro enunciado; elegir explicaciones causales en base a las pruebas	Interacciones genes - ambiente; factores ambientales; relaciones genotipo - fenotipo
5	<i>Watson y la inteligencia</i>	Evaluar un enunciado a la luz de las pruebas, desarrollar el pensamiento crítico	Relaciones genotipo - fenotipo; determinismo
6	<i>Cocinar rosquillas</i> (adaptada de Johnson, 1991, <i>The cookie analogy</i>)	Modelizar la influencia del ambiente en la expresión de los genes	Modelo de interacción genes - ambiente; relaciones genotipo - fenotipo
Evaluación	<i>¿Qué pasará con los gemelos?</i>	Predecir resultados en un nuevo contexto; relacionar causas y efectos	Interacciones genes - ambiente

¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos?, diseñada con el objetivo de iniciar al alumnado en el trabajo con datos y de movilizar sus ideas sobre la expresión de los genes. Se sitúa en un contexto familiar en el que se esperaba que el alumnado reconociera la influencia de los factores ambientales en el fenotipo (la estatura). Sobre las operaciones o prácticas que forman parte del uso de pruebas, la tarea se centra en derivar explicaciones causales a partir de los datos.

Genotipo y fenotipo de las personas, adaptada de Dixon (1982), tiene como objetivo modelizar las relaciones entre el genotipo y el fenotipo, implicando al alumnado en la modelización de un cruzamiento con varias características humanas.

Los velocistas negros es más compleja, e incluye distintas actividades que requieren, en primer lugar, identificar las pruebas que apoyan un determinado enunciado y, en segundo, elegir una explicación causal en base a las distintas informaciones proporcionadas, integrándolas en la justificación y así transformando datos en pruebas. El contexto es el desempeño en atletismo.

El objetivo de *Watson y la inteligencia* es evaluar un enunciado científico a la luz de las pruebas. El enunciado es una afirmación de James Watson, quien mantenía que los negros son menos inteligentes que los blancos debido a sus genes. Aborda las representaciones deterministas.

Cocinar rosquillas, adaptada de Johnson (1991), es otra actividad de modelización, en este caso sobre la influencia del ambiente en la expresión de los genes, basada en una analogía.

¿Qué pasa con los gemelos?, fue empleada como parte de la evaluación y se centra en la capacidad para predecir resultados en un nuevo contexto.

El uso de pruebas se puede abordar en distintos contextos, disciplinares o de otro tipo, y en cada uno de ellos hay una serie de operaciones o prácticas que forman parte del uso de pruebas. En los capítulos siguientes se discuten las actividades y las operaciones relacionadas con el uso de pruebas en cada una.

2. EXTRAER CONCLUSIONES A PARTIR DE DATOS: ¿POR QUÉ SOMOS MÁS ALTOS QUE NUESTROS ABUELOS?

2.1 Introducción: Extraer conclusiones a partir de datos

El objetivo de esta actividad, en términos de las operaciones o prácticas que forman parte del uso de pruebas es construir explicaciones causales a partir de los datos. Para ello los alumnos necesitan en primer lugar, interpretar la información proporcionada, presentada en una tabla de datos numéricos, así como recuperar otras informaciones, como las mejoras en la alimentación.

Siendo la primera actividad de la unidad didáctica y el primer contacto con el uso de pruebas *¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos?* fue diseñada en un contexto familiar para el alumnado. Tanto el aumento de estatura en las últimas generaciones como el hambre vivida en el pasado en Galicia son hechos conocidos. Se esperaba pues que el alumnado reconociese la influencia de los factores ambientales –como mejor alimentación y mejores condiciones de salud – en el fenotipo, es decir en la estatura.

El alumnado necesita movilizar sus ideas sobre la expresión de los genes y sobre las causas de las características humanas (o de otros organismos), y articular estos conocimientos con el uso de pruebas. Había al menos dos posibles tipos de respuestas:

- a) Atribuir la estatura de una persona a la interacción entre los factores ambientales y el genotipo; en otras palabras, reconocer el genotipo como un potencial para alcanzar una altura dada, que se expresará únicamente en determinadas condiciones, como una nutrición y condiciones de salud adecuadas, ejercicio físico, etc. En consecuencia el aumento de la estatura a lo largo del tiempo se atribuiría a cambios en estos factores. Esta explicación se corresponde con la científica.
- b) Atribuir la estatura únicamente a los genes. En consecuencia, el aumento de estatura a lo largo del tiempo se atribuiría a cambios en los genes, por ejemplo mutaciones. Hay que señalar que aún siendo posible una mutación que cause un aumento de estatura, es estadísticamente imposible que esto ocurra de forma simultánea en toda la población o en gran parte de ella.

La última pregunta solicita al alumnado elaborar una predicción sobre la estatura de las mujeres. Cabe indicar que se les proporcionaron datos sobre la altura de los varones, los únicos disponibles, ya que se tallaban al comenzar el servicio militar obligatorio.

2.2 ¿Por qué somos más altos que nuestros abuelos? ¹

Existen series de datos de estatura de los varones españoles desde principios del siglo XX, debido a que se tallaban a los 19 años para el servicio militar obligatorio.

Esta tabla se ha elaborado con datos recogidos por Rafael Tojo, de la Universidad de Santiago de Compostela. Muestra los cambios en la estatura media de los varones en Galicia desde 1935 a 2005.

Año	1935	1980	2005
Estatura media	163 cm	170 cm	175 cm

Datos recogidos por el Dr. Rafael Tojo Sierra, Unidad de Investigación en Nutrición Humana, USC.

Se observa en la tabla que la estatura media de los varones aumentó 12 centímetros desde 1935 hasta 2005 y, como dice el profesor Tojo, aumentó cinco centímetros en 25 años, desde 1980.

1) *Explica detalladamente cuál es, en tu opinión, la causa de este aumento, y qué pruebas proporcionarías a otra persona para convencerlo o convencerla*

2) *¿De qué depende la estatura de una persona?*

3) *¿Crees que la estatura de las mujeres ha experimentado los mismos cambios? Por favor explica tu respuesta*

¹ La actividad se puede adaptar utilizando datos de otros países

2.3 Aprender de su puesta en práctica

Se examina qué necesitan realizar los estudiantes en la actividad y se resumen algunos resultados de su puesta en práctica en el aula. Hay que indicar la necesidad de contextualizar la actividad en la unidad y en los modelos de genética.

En primer lugar, los estudiantes necesitan entender la información, proporcionada en una tabla con datos numéricos. A veces se da por supuesto que el alumnado de 15 años puede *interpretar tablas sencillas*, pero no siempre ocurre así, y el docente puede asegurarse de que la entienden. El alumnado necesita también recuperar información no suministrada, como la mejora de la alimentación o de las condiciones de salud a lo largo del tiempo, identificándolas como factores ambientales. Aunque esas mejoras son conocidas en muchos contextos y países, puede ser necesario el apoyo del docente. Por ejemplo, podría preguntar al alumnado sobre la estatura de sus abuelos, sobre sus condiciones de vida o lo que solían comer. Muchos de estos abuelos, en distintos países, se vieron forzados a emigrar en los años 50 y 60 por falta de recursos. Su comida diaria consistía, según los lugares, en gachas, pan con aceite, legumbres o poco más. Alternativamente el profesorado podría incluir estos datos como parte de la información proporcionada.

En segundo lugar, los estudiantes deben llegar a una conclusión a partir de estos datos, integrándolos en una explicación causal y utilizando el concepto de fenotipo. En el primer apartado se han discutido posibles respuestas, a continuación se reproducen algunas. Cinco clases de 4º de ESO y 1º de Bachillerato (N=144) llevaron a cabo esta actividad en un formato algo distinto (Puig y Jiménez Aleixandre, 2009). La mayoría de ellos proporcionaron explicaciones basadas en las interacciones entre genes y ambiente, por ejemplo (respuestas literales):

“(...) el hecho de que seamos ahora más altos que nuestros bisabuelos tiene más que ver con la alimentación y la forma de vida que con la evolución”

“(...) en las distintas generaciones también influyen hábitos actuales (forma de vida, deporte, evolución) aparte de la genética”

Los estudiantes mencionan factores como la alimentación, el estilo de vida y los deportes, aunque no está clara la referencia del segundo alumno a la ‘evolución’ (interpretamos que no tiene que ver con la evolución biológica, sino con los cambios en el estilo de vida). Sin embargo, hubo 24 (17%) que interpretaron el aumento de estatura como una prueba de evolución, por ejemplo:

“Pienso que también sirve porque se ve que algo cambió, que hubo algún tipo de mutación genética ya que las condiciones y necesidades de vida también son diferentes”

“Creo que es una prueba bastante clara [de la evolución] ya que poco a poco el ser humano fue evolucionando con el paso del tiempo. En la antigüedad el ser humano era de muy baja estatura y poco a poco fue evolucionando perfeccionando su cuerpo”

La segunda respuesta es un ejemplo de las posturas teleológicas sobre la evolución, en términos de tendencia hacia la ‘perfección’.

Podríamos relacionar estas dificultades con el hecho de que circulen en los medios y en los libros de divulgación científica interpretaciones de estos cambios en la estatura como mutaciones o pruebas de cambios evolutivos. Por ejemplo Diehl y Donnelly (2008) afirman que el aumento de la estatura humana desde los tiempos de nuestros abuelos es un ejemplo de evolución (darwinista). Las implicaciones son que, el alumnado, incluso en un contexto familiar para ellos, tiene dificultades para extraer conclusiones a partir de datos y para articular estos con los modelos científicos.

3. RELACIONAR LA MODELIZACIÓN CON LA ARGUMENTACIÓN: GENOTIPO Y FENOTIPO DE LAS PERSONAS

3.1 Introducción: Relacionar la modelización con la argumentación

Esta actividad se centra en la modelización de las relaciones genotipo-fenotipo y de la producción de gametos. Fue adaptada de Dixon (1982), introduciendo: a) la construcción de los modelos físicos por el alumnado (no por el docente); y b) el intercambio de modelos entre pequeños grupos, solicitándoles que formularan hipótesis sobre posibles genotipos correspondientes al fenotipo representado (Jiménez Aleixandre, 1990).

Las prácticas científicas de uso de pruebas y modelización están conectadas entre sí: la revisión y evaluación de modelos se lleva a cabo a la luz de las pruebas disponibles (Berland y Reiser, 2009), ya que la capacidad explicativa de los modelos se evalúa en base a las pruebas.

La actividad aborda las dificultades del alumnado con conceptos y modelos de genética, relacionadas con su naturaleza abstracta. Hemos encontrado la modelización de utilidad para el alumnado, por ejemplo para visualizar la existencia de dos alelos para cada carácter. La existencia de dos conjuntos de materiales genéticos, genes y cromosomas, es una noción central del modelo. Los estudios señalan que una proporción del alumnado no aplica de forma consistente esta idea, incluso al final de la educación secundaria obligatoria (Ayuso y Banet, 2002; Duncan et al., 2009)

Se pide a los estudiantes que construyan un modelo empleando lápices y rotuladores de colores para dibujar características fenotípicas como el color de los ojos o del cabello (en una versión simplificada), el grupo sanguíneo, el lóbulo de las orejas o el sexo. Se proporciona información adicional sobre los modelos de herencia, como los grupos sanguíneos como ejemplo de herencia multialélica. Para los ‘alelos’ emplean papel o cartulina de distintos colores. Los objetivos son:

- a) Modelizar y visualizar las relaciones genotipo-fenotipo
- b) Modelizar y visualizar la existencia de dos conjuntos de genes
- c) Modelizar y visualizar el papel del azar en la producción de gametos
- d) Formular hipótesis sobre posibles genotipos correspondientes a los fenotipos representados y predecir los genotipos potenciales de la descendencia

3.2 Genotipo y fenotipo de las personas (adaptado de Dixon, 1982)

Trabajando en pequeño grupo, vais a construir un modelo sobre las relaciones entre el genotipo y el fenotipo, seleccionando unas cuantas características.

Material (para cada grupo)

- Dos sobres blancos
- lápices de colores y rotuladores
- Papeles y cartulinas de colores
- tijeras y una moneda

Procedimiento

A) Construir fenotipos y genotipo

- 1) Seleccionad tres características fenotípicas a representar, por ejemplo: color de los ojos (marrón/azul); grupo sanguíneo (A/B/o/AB); color del pelo (castaño/rubio); lóbulo de la oreja (libre/pegado), etc. Representad también el sexo, usando los símbolos masculino (♂) y femenino (♀). Ahora escoged qué color (de papel / cartulina) representa los alelos de cada carácter (por ejemplo, azul para el color de ojos, rosa para el grupo sanguíneo, etc.)
- 2) Usando un sobre para la mujer y otro para el hombre, dibujad en el exterior del sobre los fenotipos de los tres caracteres escogidos y el símbolo del sexo. Cortad un par de pequeños rectángulos de papel del mismo color para cada carácter e indicad en ellos los alelos. ¿Qué representan? ¿Cómo será el par de alelos si representan un carácter recesivo? No olvidéis poner dentro del sobre los cartoncitos para el sexo.

B) Intercambio de 'parejas'

- 3) Intercambiad los dos sobres con otro grupo, de tal forma que cada grupo tenga ahora una pareja distinta de la había preparado.
- 4) *Antes de abrir el sobre*, a la vista del fenotipo, proponed hipótesis sobre el posible *genotipo* para cada carácter y escribidlas. ¿Podría haber más de una hipótesis? Después abrid el sobre, y comprobad cada una de las hipótesis con los 'genes'. ¿Para cuántos caracteres, de los representados, es homocigoto cada progenitor? ¿Para cuántos heterocigoto? ¿Cuántos gametos distintos podrá producir cada progenitor (para estos caracteres)?
- 5) Preparad un gameto masculino (♂) y uno femenino (♀), utilizando una moneda– para simular el azar – para cada característica heterocigótica. A continuación discutid y escribid los fenotipos y los genotipos resultantes en el hijo o hija. Repetid este paso: ¿Son idénticos los hermanos?

3.3 Aprender de su puesta en práctica

El apoyo del docente es crucial en esta actividad, como en todas las de modelización. Es preciso hacer explícitas las simplificaciones; por ejemplo, la herencia del color de ojos depende de múltiples genes. Hacerlo explícito, puede ayudar al alumnado a entender la naturaleza y el papel de los modelos.

Una de las dificultades observadas en la puesta en práctica es la construcción del modelo de genotipo utilizando dos rectángulos de cartulina o papel. Algunos de los estudiantes trataron de utilizar solo uno, lo que implicaría solo un alelo por cada gen. El docente necesita revisar el proceso de construcción del modelo de cada grupo.

Después del intercambio de los sobres, cuando se pide que propongan distintas hipótesis sobre los fenotipos representados, algunos interpretan que solo puede haber un genotipo posible para cada fenotipo; por ejemplo solo un genotipo AA para el grupo sanguíneo A, ignorando la posibilidad del heterocigótico Aa. Este alumnado no contempla que un rasgo dominante expresado en el fenotipo podría corresponder tanto a un organismo homocigótico como a uno heterocigótico. Esto es un ejemplo de cómo la interpretación de datos por el alumnado interactúa con su apropiación del modelo relevante.

En la discusión en toda la clase es importante aclarar la noción de alelo, por ejemplo pidiéndole a un alumno o alumna que dibuje en el encerado las combinaciones alélicas posibles para cada carácter. Es necesario también discutir la variabilidad entre hermanos.

Debido a las limitaciones de tiempo esta actividad se llevó a cabo en una sesión, pero sugerimos emplear dos sesiones. La primera para construir los modelos e interpretarlos de forma apropiada y la segunda para elaborar hipótesis sobre fenotipos, modelizar la formación de gametos y la combinación de estos en la descendencia, haciendo hincapié en el papel del azar en el proceso.

4. ELEGIR EXPLICACIONES BASÁNDOSE EN PRUEBAS: LOS VELOCISTAS NEGROS

4.1 Introducción: Elegir explicaciones basándose en pruebas

La argumentación puede tener lugar en distintos contextos (Jiménez Aleixandre, 2010), por ejemplo en esta actividad la elección de una explicación basándose en pruebas, mientras que en la del próximo capítulo es la evaluación de un enunciado. Esta actividad aborda cómo interpreta el alumnado un fenómeno de la vida real: los logros de los velocistas negros.

Como en la actividad de la estatura, los alumnos necesitan articular el uso de pruebas con el modelo de expresión de los genes. Esta actividad es más compleja, en primer lugar porque se centra en un desempeño y no en una característica física; en segundo lugar porque tienen que trabajar con un complejo conjunto de datos. Tiene además una dimensión socio-científica, las representaciones sociales, presentes por ejemplo en los medios, que implican posiciones deterministas en relación a las “razas” humanas. La actividad también tiene como objetivo el desarrollo del pensamiento crítico por el alumnado sobre estas representaciones.

La actividad aborda varias dimensiones que forman parte del uso de pruebas:

La pregunta 1, pide al alumnado *establecer correspondencias* entre cada una de las ocho informaciones proporcionadas y las tres explicaciones alternativas. En otras palabras, *identificar qué informaciones apoyan cada explicación*. En particular, deben identificar cuáles apoyan la influencia de los genes y cuáles la influencia del ambiente.

La pregunta 2, requiere *elegir* una de las tres explicaciones en base a los datos. El alumnado tiene que *seleccionar pruebas adecuadas e integrarlas* en la explicación.

La pregunta 3, pide decidir *qué datos constituyen pruebas*, justificándolo. Esta dimensión se relaciona con el metacognoscimiento, o conocimiento sobre *el papel y la naturaleza de las pruebas*, sobre los criterios epistémicos para evaluar el conocimiento, para diferenciar enunciados apoyados en pruebas de opiniones.

La actividad está diseñada para dos sesiones, la primera para trabajar en pequeño grupo y la segunda para poner en común y discutir las respuestas de cada grupo. La mayoría de las informaciones presentadas fueron proporcionadas junto con recortes de prensa que no pueden ser reproducidos por derechos de autor. Se proporcionan enlaces a las fuentes originales, por si el profesorado quiere utilizarlas directamente.



4.2 Los velocistas negros

¿Cómo explicas los logros en atletismo de los velocistas negros?

Desde los Mundiales de atletismo de Roma en 1987, en los que tres atletas blancos llegaron a la final de 100 m lisos, los velocistas negros han copado todos los puestos de las finales de Olimpiadas y Mundiales. Se dan distintas explicaciones a estos logros:

- A) Esto es consecuencia de sus genes.
- B) Esto es debido a la influencia de factores como la alimentación, el entrenamiento, etc.
- C) Esto es debido a una combinación de A y B.

Lo que tenéis que hacer:

- 1) De las informaciones proporcionadas, indicad cuales apoyan a A, cuales a B y cuales a C.
- 2) Escoged la mejor explicación y justificad vuestra elección en base a las distintas informaciones.
- 3) De los datos proporcionados. ¿Cuáles pensáis que son pruebas? ¿Por qué?

Las ocho informaciones proporcionadas (todas, excepto la tabla, extraídas de la prensa)

(1) *Longitud de las piernas*

Un estudio científico en Estados Unidos indica que las piernas de los deportistas negros son más largas en relación con su talla que las de los blancos. Esto podría explicar su superioridad en las carreras: a mayor longitud de las extremidades inferiores, que actúan de palanca de impulsión, más velocidad de los corredores.

<http://www.elmundo.es/salud/1999/361/02993.html>

(2) *Las propiedades del ñame* (ilustración con una camiseta “Got yam? Food of champions”).

El padre de Usain Bolt explica las victorias de su hijo por las extraordinarias propiedades del ñame o yam, un género de planta tropical con un tubérculo que se utiliza en la alimentación de la isla jamaicana.

<http://www.jornada.unam.mx/2009/08/22/deportes/a36n1dep>

(3) *El gen del deporte, alpha-actinina: ACTN3*

El gen ACTN3 tiene dos variantes alélicas: R y X, que se pueden combinar de distintas formas dando lugar a los genotipos: RR, RX, XX. La presencia del alelo R del gen ACTN3 (RR o RX) produce la proteína alpha-actinina localizada en las fibras musculares de contracción rápida. El alelo X no codifica para esta proteína. Un estudio científico con deportistas de élite muestra diferencias genéticas entre los velocistas y los atletas de fondo (De *The New York Times*, Noviembre 2008)

<http://www.nytimes.com/2008/11/30/sports/3ogenetics.html?pagewanted=all>

(4) *La proteína ECA aumenta la resistencia en los deportes*

La proteína ECA (Enzima Convertidora de Angiotensina) tiene dos variantes, codificadas por distintos alelos. La de tipo II mejora la actividad cardiovascular en los atletas, actuando como una bomba que permite que llegue más sangre al músculo (y por lo tanto, más oxígeno). Esta versión de la proteína es más frecuente en los deportistas de resistencia, por ejemplo en los atletas de fondo.

Nota: la ECA es una proteína que cataliza el proceso de conversión de una de las formas de la hormona angiotensina, la de tipo I en la de tipo II.

http://www.abc.es/hemeroteca/historico-01-08-2009/abc/Deportes/un-gen-para-elegir-deporte_923005998238.html

(5) *Ropa y calzado de alta tecnología*

El nuevo chaleco congelable, utilizado en el calentamiento para las pruebas de más de dos horas, retrasa en un 20% el tiempo que tarda el organismo en alcanzar 39,5º, temperatura que marca el inicio en la reducción del rendimiento. (J. González Alonso, experto español en el estudio de estrés térmico y rendimiento).

Mescher, el fabricante de las Zapatillas Nike ultra ligeras dice que: “buscan el retorno del hombre a la naturaleza: el hombre primitivo corría descalzo”

http://www.elpais.com/articulo/deportes/frontera/tecnodoping/elpepidep/20080414elpepidep_34/Tes

(6) *Las rutas de los barcos de esclavos*

Una de las hipótesis que tratan de explicar el dominio aplastante de Jamaica en las pruebas de velocidad es, según el doctor William Aiken: “Como Jamaica fue una de las últimas paradas de los barcos cargados de esclavos, eso significa que solo los más fuertes sobrevivían al desembarco en la isla”

Aiken supone que las condiciones inhumanas del viaje produjeron una presión selectiva que hizo que solo los más fuertes sobrevivieran.

www.wradio.com.co%2Fnota.aspx%3Fid=865519

(7) *Jamaica: la isla de los sprinters*

Atletas negros nacidos en Jamaica, o de origen jamaicano alcanzan los máximos logros en las pruebas de velocidad de atletismo. Es el caso de campeones olímpicos como el británico Linford Christie y los canadienses Ben Johnson y Donovan Bailey. Esto apoya la creencia en que existe algo genético en los velocistas de este país caribeño.

<http://www.genetic-future.com/2008/08/gene-for-jamaican-sprinting-success-no.html>

(8) *Tabla con los ganadores de las medallas de oro de atletismo en 100 m lisos masculinos en los juegos olímpicos de 1984 a 2008:*

Juegos olímpicos	Medalla de oro / país	Color de la piel	Nacido en	Educado / entrenado en
Los Angeles 1984	Carl Lewis, EEUU	negra	Alabama, USA	EEUU
Seúl 1988	Carl Lewis, EEUU	negra	Alabama, USA	EEUU
Barcelona 1992	Linford Christie, UK	negra	Jamaica	Inglaterra desde los 7 años
Atlanta 1996	Donovan Bailey, Canadá	negra	Jamaica	Canadá desde los 13 años
Sydney 2000	Maurice Greene, EEUU	negra	Kansas, USA	EEUU
Atenas 2004	Justin Gatlin, EEUU	negra	New York, USA	EEUU
Pekín 2008	Usain Bolt, Jamaica	negra	Jamaica	Jamaica

4.3 Aprender de su puesta en práctica

Esta actividad se ha llevado a cabo en dos clases de 4º de ESO (N=53) en las que el alumnado trabajó en pequeño grupo. Se resumen algunos resultados sobre el uso de pruebas por el alumnado, analizados en detalle en otros artículos (Jiménez Aleixandre y Puig, 2011; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011).

Las informaciones proceden de noticias de prensa con el propósito de reproducir un contexto de la vida diaria, y la necesidad de interpretar información con contenido científico. Algunos textos fueron adaptados y otros reproducidos literalmente. Representan distintos tipos de información: a) por su estatus epistemológico o en qué medida están sustentadas en pruebas; b) por el tipo de factores que contribuyen a los desempeños en atletismo; y c) por apoyar una o más de las tres opciones. El uso de un repertorio de datos complejos se ha propuesto tanto en la literatura sobre argumentación como en los currículos basados en competencias.

Sobre el estatus epistemológico, es decir, si son opiniones o enunciados apoyados en pruebas: cinco corresponden a enunciados apoyados en datos de estudios científicos (de acuerdo con cada información), como (1) Longitud de las piernas; (3) Gen del deporte; (4) Proteína ECA; (5) Ropa y calzado de alta tecnología, o en datos públicos: (8) ganadores de medallas de oro. Una, (6) las rutas en barco de los esclavos se corresponde con una hipótesis basada en un razonamiento. Dos, (2) Ñame y (7) Isla de los sprinters, corresponden más a opiniones, al menos tal como están redactadas. Por ejemplo, la (7) podría transformarse en una prueba si incluyera datos sobre el gen ACTN3 o la longitud de las piernas. La pregunta 3 examina si los estudiantes son capaces de hacer estas distinciones.

Sobre el tipo de factores que contribuyen a los desempeños: cuatro, (1), (3), (4), y (7) hacen referencia a la genética, apoyando la opción A; dos, (2) y (5), al ambiente, apoyando la opción B; y las otras dos, (6) y (8) a una combinación de ambas, apoyando la opción C. Hay que señalar que las informaciones que apoyan las opciones A y B también podrían ser empleadas por el alumnado para apoyar la opción C, una combinación de la influencia de los genes y el ambiente (y así ocurrió). También usaron datos distintos de las ocho informaciones proporcionadas, bien mencionados explícitamente en la opción B ('alimentación' y 'entrenamiento'), o implícitamente en la (8) tabla de ganadores de las medallas de oro. Proporcionamos ejemplos concretos en lugar de hacer referencias a los 'factores ambientales' en general, ya que los alumnos podrían interpretarlo de forma limitada, como referido al clima.

Los resultados de las preguntas 1, qué información es apoyada por cada explicación, y 2, la elección de una explicación, se discuten conjuntamente.

Los datos más fáciles de interpretar como ejerciendo influencia en los desempeños de los velocistas fueron: (3) el gen del deporte, (2) ñame, y (5) ropa y calzado deportivo. Los utilizados con mayor frecuencia en los informes escritos y en las discusiones orales fueron los genes, la comida y el entrenamiento. Por ejemplo, los estudiantes argumentan sobre la necesidad de comer bien para poder correr bien. Hay correspondencia entre la opción A ('debido a los genes'), y la formulación de los ítems (1), (3) y (4). Los estudiantes apelaron al ítem (3), titulado el 'gen del deporte', a pesar de que la complejidad de la explicación completa parece elevada. Hay que destacar que algunos grupos utilizaron el ñame como ejemplo de la influencia de la alimentación, aún considerándolo una opinión (algunos dijeron que era una 'mentira') no apoyada por un estudio. Es interesante señalar que un grupo interpretó (1) la longitud de las piernas como un apoyo a la influencia del ambiente en los genes, afirmando que sin una alimentación adecuada las piernas no llegarían a alcanzar su longitud completa. Es una interpretación correcta tal vez influenciada por la actividad de la estatura de la primera sesión.

Otras informaciones como la tabla de los ganadores de medallas resultaron más complicadas para el alumnado. Aunque algunos grupos afirmaran, como era el objetivo, que apoyaba la interacción entre los genes (no hay atletas blancos) y el ambiente (ninguno de ellos es de África), dos grupos interpretaron que apoyaba solo a los genes, y un grupo, solo al ambiente. Un grupo afirmó que la tabla mostraba que el ambiente influía, ya que los ganadores procedían de distintos países.

Dadas las dificultades en la identificación de la interacción entre genes y ambiente en la tabla, en particular la influencia (calidad de alimentación, servicios de salud y entrenamiento) del país de entrenamiento de los atletas, y siguiendo una sugerencia de Per-Olof Wickman, introducimos una tabla adicional en el ítem (8) con datos de hockey sobre hielo en las olimpiadas de invierno. Como se muestra en la tabla todas las medallas de oro, plata y bronce, fueron para países del norte. Se espera que los alumnos identifiquen la abundancia de hielo y nieve, junto con la tradición del hockey en algunos lugares como Canadá, donde nació este deporte, como factores ambientales que influyen en este desempeño.

Equipos masculinos ganadores de medallas en hockey sobre hielo en las Olimpiadas de Invierno

Olimpiadas de invierno	Medalla de oro	Medalla de plata	Medalla de bronce
Sarajevo 1984 (Yugoeslavia)	Unión Soviética	Checoslovaquia	Suecia
Calgary 1988 (Canadá)	Unión Soviética	Finlandia	Suecia
Albertville 1992 (Francia)	Equipo Unificado (Rusia y otras repúblicas ex-soviéticas)	Canadá	Checoslovaquia
Lillehammer 1994 (Noruega)	Suecia	Canadá	Finlandia
Nagano 1998 (Japón)	República Checa	Rusia	Finlandia
Salt Lake City 2002 (Estados Unidos)	Canadá	EEUU	Rusia
Turín 2006 (Italia)	Suecia	Finlandia	República Checa
Vancouver 2010 (Canadá)	Canadá	EEUU	Finlandia

5. EVALUAR UN ENUNCIADO A LA LUZ DE LAS PRUEBAS: WATSON Y LA INTELIGENCIA

5.1 Introducción: Evaluar un enunciado a la luz de las pruebas

Esta actividad se centra en la evaluación de un enunciado. Se podría decir que, con respecto a otras actividades, como las de las sesiones 1 y 3 que parten de datos, aquí el proceso es el contrario: a partir de un enunciado identificar los supuestos en los que está basado, contrastando el enunciado con pruebas. La capacidad para evaluar enunciados se aborda de manera explícita en la caracterización de las competencias científicas, como se ha indicado en la introducción.

El enunciado que se propone a los estudiantes para que lo evalúen procede de una entrevista a James Watson en el *Sunday Times* en octubre de 2007. Watson afirmó que los negros son menos inteligentes que los blancos debido a los genes. Para favorecer la evaluación de este enunciado se presentaron también al alumnado, dos informaciones relacionadas con la influencia del ambiente en los desempeños de las personas. En el estudio piloto (Puig y Jiménez Aleixandre, 2010) se incluyeron cuatro ítems, uno de ellos la tabla de ganadores de medallas discutida en el capítulo anterior. Debido a la complejidad de este ítem, la actividad se modificó, dividiéndola en dos tareas. En esta se pide al alumnado:

- a) Resumir el enunciado de Watson en sus propias palabras.
- b) Examinar cada información y evaluarla en términos de si constituye una prueba a favor o en contra del enunciado de Watson (o si no está relacionada con el enunciado).
- c) Identificar qué tipo de datos serían necesarios para apoyar o refutar el enunciado.

El enunciado de Watson es un ejemplo de posición determinista, de una perspectiva que atribuye todos los desempeños humanos exclusivamente a los genes, discutida en el capítulo 1.

Enlace a la entrevista de Watson: <http://www.timesonline.co.uk/tol/news/uk/article2677098.ece>

Para llevar a cabo esta tarea el alumnado necesita: 1) identificar el enunciado como un caso o ejemplo de expresión de los genes, ya que el uso de pruebas se articula con el uso de modelos científicos; 2) conectar cada una de las informaciones con el enunciado, en otras palabras, *identificar pautas en las informaciones*; 3) identificar *criterios relevantes* para evaluar pruebas, necesarios para llevarla a cabo (b) y (c). Esta tercera dimensión está relacionada con el metaconocimiento o conocimiento sobre la naturaleza de las pruebas.

5.2 Watson y la inteligencia

¿Hay pruebas para hablar de las diferencias genéticas en inteligencia entre las personas blancas y negras?

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

1) *Resume la afirmación de Watson en tus propias palabras*

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

(A) El porcentaje de bebés que mueren antes de cumplir un año (mortalidad infantil) es cuatro por cada diez mil nacidos en España, Francia, Holanda etc. En Estados Unidos, (donde no hay Seguridad Social o medicina pública, solo medicina privada) es de siete por diez mil, con estas diferencias: 5,7 por diez mil blancos y 14 por diez mil negros.

A1. Creo que: Apoya la afirmación de JW
 Refuta la afirmación de JW
 No se relaciona

A2. Explica tu elección, indicando qué pruebas darías para convencer a una persona que pensase lo contrario.

(B) Diversos estudios en varios países latinoamericanos muestran la relación entre la nutrición infantil y el desarrollo intelectual. En los niños que sufren desnutrición crónica (hambre) hasta los dos años el rendimiento en la escuela disminuye, no se concentran, repiten curso, y tiene problemas con el lenguaje. Parte de la explicación puede ser que el cerebro pesa unos 350 g al nacer y, con una nutrición adecuada, aumenta hasta los 900 g a los 14 meses.

B1. Creo que: Apoya la afirmación de JW
 Refuta la afirmación de JW
 No se relaciona

B2. Explica tu elección, indicando qué pruebas darías para convencer a una persona que pensase lo contrario.

3) *¿Qué tipo de datos crees que serían necesarios para probar (a) que JW lleva razón o (b) que no lleva razón?*

5.3 Aprender de su puesta en práctica

Examinamos algunas dificultades del alumnado para realizar la actividad. El enunciado de Watson fue reproducido en periódicos de todo el mundo. Nos preguntamos cómo interpreta este enunciado el público en general, si serían capaces de evaluarlo críticamente y de recuperar información para ponerlo en cuestión. Por esta razón, la actividad se llevó a cabo con alumnos de 3º (último año en que las ciencias son obligatorias) y 4º de ESO, último curso de escolarización obligatoria.

La primera pregunta solicita al alumnado reformular el enunciado de Watson en sus propias palabras. Para ello, necesitan *identificar el significado* del enunciado. Algunos interpretaron que las informaciones eran pruebas al favor del enunciado de Watson, ya que se centraron únicamente en la primera parte del enunciado ('los negros son menos inteligentes que los blancos') argumentando que peores condiciones de salud y de alimentación darían lugar a peores resultados (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2010). En otras palabras, no identificaron que Watson atribuía las diferencias a los genes. Un ejemplo:

“Apoya su afirmación porque al no tener comida y el cerebro no desarrollarse, claro que van a ser menos inteligentes que otros”

La pregunta 2 requiere que el alumnado coordine las pruebas con el enunciado. Para ello, además de identificar el significado del enunciado, necesita: a) reconocer *el significado de las informaciones* como ejemplos de la influencia del ambiente en la expresión de los genes (o en el caso del ítem A, de diferentes condiciones ambientales para los negros y los blancos); b) *relacionar* los datos de la información con el enunciado. La mayoría del alumnado relacionó los datos con el enunciado, pero algunos tuvieron dificultades, como muestra este ejemplo sobre el ítem A:

“El hecho de que mueran más bebés negros que blancos, no tiene que ver con la inteligencia sino con las posibilidades económicas de los padres”

Sobre la pregunta 3, los alumnos proponen una serie de pruebas, por ejemplo estudios comparativos de poblaciones de negros y blancos en ambientes similares, o tests de inteligencia (que no proporcionan pruebas adecuadas). Algunos apelan a los logros de líderes negros como Mandela, Luther King y Obama, como pruebas en contra de Watson. Es necesario destacar que la naturaleza social del enunciado hizo que algunos estudiantes se centrasen más en criticar sus implicaciones racistas que en responder a las preguntas de la actividad. Esto apunta a la necesidad de apoyo del docente para desarrollar las operaciones que forman parte de la competencia de uso de pruebas.

6. MODELIZAR LA INFLUENCIA DEL AMBIENTE: COCINAR ROSQUILLAS

6.1 Introducción: Modelizar la influencia del ambiente

Esta actividad se centra en la modelización de las interacciones genes-ambiente, en particular en la influencia del ambiente en la expresión de los genes, el fenotipo. Esta original tarea fue creada por la profesora e investigadora Sue Johnson (1991), a quien agradecemos su permiso para usarla como parte de la unidad, en el Center for Biology Education de la Universidad de Wisconsin². En la USC fue utilizada desde los años 90, tanto para educación secundaria como en formación de profesorado. Mientras que la actividad de Dixon, discutida en el capítulo 3, se modificó en profundidad, en este caso la adaptación es pequeña: empleamos una receta tradicional de rosquillas (fritas o al horno), en lugar de galletas, y se hicieron pequeños cambios en algunas preguntas. Utilizamos una receta de rosquillas que pueden ser o bien fritas (receta 1) o bien al horno (receta 2), lo que resulta adecuado para la analogía.

La actividad de Johnson emplea una analogía para ayudar a la comprensión: como ella señala, usa lo familiar –las relaciones entre las recetas de rosquillas y las rosquillas – para explicar lo que no es familiar, las relaciones entre genotipo y fenotipo. Es una actividad de modelización que favorece la visualización de la influencia del ambiente en la expresión de los genes.

Puede adaptarse a distintas recetas tradicionales de cada país, teniendo en cuenta una característica que sugiere Johnson: dos apariencias similares (fenotipo) con distintas recetas (genotipo); en nuestro caso, rosquillas fritas de anís y limón. Nosotras le hemos añadido dos con la misma receta (ingredientes) y cocinadas de distinta forma, resultando de distinta apariencia, rosquillas de anís fritas y al horno.

Se entregaron a los alumnos las recetas de las rosquillas varios días antes para que las preparasen en casa. El docente debe asegurarse de que se van a preparar las cuatro recetas. La actividad se llevó a cabo en pequeños grupos, organizados de modo que cada uno de ellos tenga rosquillas de las cuatro recetas. En la segunda parte los alumnos intercambian las rosquillas con otros grupos con el objetivo de tener una variedad de rosquillas cocinadas con la misma receta por distintas personas.

² http://cbe.wisc.edu/cbe_pubs/cookie_analogy.html

6.2 Cocinar rosquillas (adaptada de Johnson, 1991)

A. Prepara rosquillas en casa, siguiendo una de estas cuatro recetas:

1. *Rosquillas de anís (fritas)* y 2. *Rosquillas de anís (al horno)*³

- | | | |
|---|-----------------------------|--------------------|
| - 250 g de harina | - 1 cucharadita de levadura | - 2 huevos |
| - ½ taza de anís | - 1 taza de leche | - 1 taza de azúcar |
| - ½ taza de aceite de oliva (y aceite para freírlas, en el caso de hacerlo) | | |

Batir los huevos y añadir a continuación el aceite, el anís y la leche y seguir batiendo. Una vez que esté todo bien mezclado, añadirle azúcar y levadura. Echar poco a poco la harina hasta formar una masa. Cortar la masa en pequeñas porciones y hacer cilindros de un centímetro de diámetro. Después unir las puntas.

1. *Fritas*: calentar el aceite en una sartén con el fuego no muy fuerte y freír las rosquillas hasta que se hinchen. En ese momento, subir el fuego para dorarlas. Secarlas en papel de cocina. Se puede espolvorear azúcar por encima.

2. *Al horno*: colocar las rosquillas en una bandeja y cocinarlas con el horno previamente caliente a 170^o-180^oC durante 15 minutos, hasta que se doren.

3. *Rosquillas de limón (fritas)*

- | | | |
|------------------------------|--|--------------------|
| - 250 g harina | - 1 cucharadita de levadura | - 2 huevos |
| - 1 cáscara de limón rallada | - 1 cucharada de zumo de limón | - 1 taza de azúcar |
| - 1 cucharada de agua | - 1/2 taza de aceite de oliva (y aceite para freírlas) | |

Batir todo junto; los huevos, el azúcar, el agua y las ralladuras de limón. A continuación añadir el aceite y el zumo de limón. Mezclar la harina con la levadura, y añadirla poco a poco sin parar de batir. Se es necesario, añadir más harina hasta que la masa deje de estar pegajosa. Cortar la masa en pequeñas porciones y formar cilindros de medio centímetro de diámetro. Después unir las puntas.

Freír las rosquillas con abundante aceite y después secarlas en papel de cocina. Se puede espolvorear azúcar por encima.

4. *Rosquillas de almendras (al horno)*

- | | | |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| - 200 g de harina | - 1 cucharada de levadura | - 2 huevos |
| - 1 cucharada de anís | - 180 g de leche condensada | - 50 g mantequilla |
| - 50 g de almendras | | |

Mezclar la harina y la levadura y colocarlos en un cuenco, o formando una especie de volcán en la encimera de la cocina. Añadirle en el medio los huevos, la leche condensada, la mantequilla y el anís y amasarlos. Dejarlo reposar durante 30 minutos. Cortar la masa en pequeñas porciones y formar cilindros de medio centímetro de diámetro. Después unir las puntas. Colocarlas en una bandeja de horno untada en mantequilla y echar las almendras por encima. Hornear con el horno caliente (170^o-180^oC) durante 15 minutos, hasta que se doren.

³ Si no se quiere utilizar licor, se pueden usar semillas de anís (o un poquito de esencia de anís) en su lugar.

B. Análisis en el aula

B.1 *Observación de las rosquillas*

Echa las rosquillas en un plato y colócalo con el resto de platos de rosquillas cocinadas con la misma receta. Por favor, no las pruebes aún.

- 1) ¿Se prepararon todas las rosquillas del plato con la misma receta? ¿Te parecen idénticas todas las rosquillas de un mismo plato?
- 2) Indica todas las semejanzas que observes entre las rosquillas de un mismo plato. Señala todas las diferencias que observes entre ellas.
- 3) ¿Son idénticas todas las rosquillas preparadas con la misma receta en todos los platos en los que se utilizó esa receta?
- 4) Señala todas las semejanzas que observes entre ellas. Señala todas las diferencias que observes entre ellas.

B.2 *Explicar semejanzas y diferencias*

Pide al profesor o profesora un plato vacío. Cada grupo, coged una rosquilla *de cada uno de los platos* (anotando las recetas) y echadlas en el plato vacío. Ahora podéis probarlas, pero no os las comáis todas. Observad las distintas rosquillas y responded a las siguientes preguntas:

- 5) ¿Por qué *razones* todas las rosquillas *cocinadas por la misma persona* pueden no ser idénticas?
- 6) ¿Por qué *razones* las rosquillas cocinadas con la misma receta por distintas personas pueden no ser idénticas?
- 7) Explica por qué las rosquillas cocinadas con la receta 1 y la 2 que usaron *los mismos ingredientes* son diferentes. ¿Existen rosquillas cocinadas con distintas recetas que se parezcan entre sí?
- 8) Utilizando las rosquillas como ejemplos de organismos vivos, discutid la *influencia* de los ingredientes de la receta y la influencia de la forma de cocinarla. ¿A qué elementos o características de los organismos vivos se corresponden los ingredientes y a cuáles el modo de cocinarlas?
- 9) Utilizando las rosquillas como ejemplos de organismos vivos, ¿Podrías decir, observando un grupo de organismos distintos, cuáles tiene recetas *más parecidas*? Explicadlo.

C. *Conclusión*: Una vez que todos los grupos hayan terminado de responder a las preguntas, se ponen en común con toda la clase. Se puede llevar a cabo un 'análisis enzimático' de las rosquillas.

6.3 Aprender de su puesta en práctica

Al realizar esta actividad en formación inicial del profesorado, los estudiantes estaban de acuerdo con nosotros en que es divertida y muy útil para modelizar la influencia del ambiente en la expresión de los genes.

El alumnado de secundaria que realizó la actividad también la encontró atractiva. Pero es necesario contextualizarla de forma adecuada, pues de no ser así, en algunos casos los alumnos no entienden los objetivos. Para el profesorado puede resultar sencillo conectar la analogía (las rosquillas) con el fenómeno (las relaciones genotipo-fenotipo), pero esto no siempre es fácil para el alumnado. Los estudiantes pueden no estar acostumbrados a trabajar con analogías. El apoyo de los docentes es necesario para aprovechar todo el potencial de esta actividad. A veces los docentes consideran que no es necesario emplear tiempo en discutir de forma explícita las analogías o en establecer relaciones que les parecen obvias. Desde nuestra experiencia consideramos que ese tiempo es necesario para que el alumnado entienda el significado de la tarea y no se limite a disfrutar de una actividad tan distinta a las clases de genéticas más habituales.

7. PREDECIR RESULTADOS EN UN CONTEXTO NUEVO: ¿QUÉ OCURRIRÁ CON LOS GEMELOS?

7.1 Introducción: Predecir resultados en un contexto nuevo

Esta actividad forma parte de la evaluación de la unidad didáctica, un cuestionario escrito utilizado cinco meses después de completarla en dos aulas. Se centra en el uso de pruebas y modelos teóricos para predecir resultados en un contexto distinto a los empleados en la unidad. Requiere que el alumnado aplique el conocimiento a una situación nueva.

Se solicita que lean un texto breve sobre dos gemelos idénticos educados en distintos ambientes y, basándose en estos datos, predecir qué pasaría con ellos a los 16 años respecto a determinadas características como el desarrollo físico e intelectual.

En esta tarea, el alumnado necesita articular el conocimiento científico (alfabetización científica) con la competencia de uso de pruebas. El propósito es examinar la capacidad del alumnado para construir un argumento coherente, apoyado en pruebas y justificaciones adecuadas.

7.2 ¿Qué ocurrirá con los gemelos?

Dos gemelos idénticos nacen en un país de África que vive una situación en guerra. Su madre muere en el parto y son separados: uno de ellos, A, se queda en el país africano viviendo con unos familiares, mientras que el otro, B, es adoptado por una familia francesa y se va a vivir a Francia.

El primero, A, como toda su familia, tiene una alimentación escasa. Su asistencia a la escuela es intermitente (unos días va y otros no), pues desde que tiene ocho años en muchas ocasiones debe trabajar todo el día.

El segundo, B, tiene una alimentación adecuada. Desde los tres años asiste a la escuela de forma regular.

Cuando llegan a los 16 años ¿Crees que A y B serán idénticos en todo? Por ejemplo

- (a) ¿Crees que A y B tendrán la misma estatura y la misma masa muscular, o diferente? Justifica tu respuesta
- (b) En cuanto a la competencia lectora (ser capaces de leer y entender un texto), y las destrezas en resolver problemas científicos o matemáticos ¿Sera la misma en A y B o distinta? Justifica tu respuesta

7.3 Aprender de su puesta en práctica

Se analiza si los estudiantes son capaces de predecir que a los 16 años los gemelos presentarán algunas semejanzas, debido a que su genotipo es idéntico, y también diferencias, justificando estas en las distintas condiciones ambientales, es decir en los datos que suministra la actividad.

Por ejemplo, sobre las características físicas e intelectuales mencionadas en la pregunta, podrían:

- a) Predecir que A sería más bajo que B, porque aunque compartan genotipo, la falta de una nutrición adecuada podría impedir su desarrollo. Todos los alumnos excepto uno, predijeron esto justificándolo en la escasa alimentación, aunque sólo cuatro de 46 mencionaron el genotipo compartido (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011).
- b) O bien predecir que B sería más musculoso que A, justificándolo en la misma prueba de la alimentación; o bien predecir que A sería más musculoso que B, justificándolo en el ejercicio físico. También podrían discutir estas dos posibilidades. La evaluación se centra en las justificaciones, y cualquiera de estas conclusiones se considera adecuada. Sólo un alumno predijo que A sería más musculoso, justificándolo en que tiene que caminar distancias largas, por ejemplo para recoger agua, mientras (supone) B irá en coche o transporte público como hacen la mayoría de los niños de países occidentales. El resto de los alumnos, excepto uno, predijeron que B sería más musculoso, pero solo cuatro mencionaron los genes. El alumno restante afirmó que serían idénticos en estatura y en masa muscular, justificándolo en que tienen los mismos genes.
- c) Predecir que B desarrollará mejores destrezas en la lectura y las matemáticas que A, justificándolo en la diferencia en la asistencia al colegio. Todos los alumnos lo justificaron en las dificultades para asistir a la escuela, aunque solo unos pocos, como en otras respuestas mencionaron que tienen el mismo genotipo.

En resumen, casi todo el alumnado realizó predicciones adecuadas y las justificó con los datos proporcionados, articulándolos con el modelo de expresión genética. Reconocieron la influencia del ambiente en el desarrollo de los gemelos. Sin embargo solo cuatro estudiantes mencionaron en sus respuestas los genes o el genotipo (Puig y Jiménez Aleixandre, 2011). Nuestra interpretación no es que no reconozcan el papel de los genes, sino que no consideraron necesario mencionarlo, dando por supuesto que era un conocimiento compartido con la audiencia (en este caso el docente que evaluaría la actividad).

PARTE II USO DE PRUEBAS Y MODELIZACIÓN SOBRE LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS

8. OBJETIVOS DE LA UNIDAD DIDÁCTICA: PROMOVER LA ARGUMENTACIÓN Y LA MODELIZACIÓN⁴

La unidad didáctica fue diseñada con el propósito de promover el desarrollo de las competencias de uso de pruebas y explicación de fenómenos utilizando modelos científicos. El contexto es ecología en 4º de ESO (15-16 años), en concreto la aplicación del modelo de flujo de energía (transferencia de energía) en la resolución de problemas relacionados con la gestión de recursos. Los objetivos principales son implicar al alumnado en el uso de pruebas en la toma de decisiones o elección entre opciones alternativas y en la coordinación de las pruebas con los modelos teóricos. La secuencia fue llevada a cabo en cuatro clases de dos institutos, con 66 alumnos. El proceso de diseño y los resultados obtenidos se abordan en Bravo Torija y Jiménez Aleixandre (2010; 2012).

En el currículo de secundaria, un criterio de evaluación en 4º de ESO es “Explicar cómo se produce la transferencia de materia y energía a lo largo de una cadena o red trófica concreta, y deducir las consecuencias prácticas en la gestión sostenible de algunos recursos por parte del ser humano”. En otras palabras, relacionar la disminución de energía en cada nivel trófico con la gestión sostenible de recursos. Sin embargo, esta cuestión recibe un tratamiento somero en la mayoría de los libros de texto.

En este capítulo se resumen los objetivos de la unidad didáctica, se discute brevemente la importancia de la apropiación del modelo de flujo de energía y su contextualización en decisiones sobre cómo gestionar los recursos marinos y terrestres y se presenta la estructura de la unidad didáctica.

8.1 Objetivos de la unidad didáctica: uso de pruebas, construcción de representaciones

Un objetivo relevante de la educación en ecología (como en toda la enseñanza de las ciencias) debería ser preparar al alumnado para enfrentarse a problemas de la vida real. Para este propósito es necesario que los estudiantes se impliquen en la resolución de problemas, y no solo en la construcción de cadenas tróficas sencillas. En la actualidad los gobiernos y las instituciones internacionales se enfrentan a desafíos relacionados con la reducción de recursos pesqueros y discuten cómo planificar una acuicultura sostenible. Los estudiantes de 4º de ESO están en el último año de la educación obligatoria, por lo que muchos de ellos no cursarán más materias de biología. Este curso es la última oportunidad para abordar cuestiones como esta.

El principal objetivo de la unidad didáctica es el desarrollo por el alumnado de las competencias científicas de uso de pruebas y modelización. Trabajar con problemas socio-científicos como la gestión de recursos marinos y terrestres requiere de los estudiantes: 1) aplicar modelos complejos como el flujo de energía o las pirámides tróficas; 2) transformar estos modelos en acciones y decisiones en contextos de la vida real (Bravo Torija y Jiménez Aleixandre, 2012); y 3) construir significados a través del discurso, por ejemplo sobre la gestión sostenible de recursos. En consecuencia la unidad didáctica incluye tareas como la modelización del flujo de energía, la construcción de representaciones de las pirámides tróficas (modelización), o la resolución de problemas relacionados con la gestión de recursos utilizando las pruebas disponibles. El uso de pruebas y la modelización corresponden a dos de las tres competencias científicas discutidas en la introducción. La unidad tiene tres objetivos:

- 1) Desarrollar la competencia de uso de pruebas para comparar opciones alternativas y elegir la mejor opción en base a las pruebas disponibles.
- 2) Desarrollar la competencia de modelización de flujo de energía en los ecosistemas, incluyendo la producción y explicación de significados de las representaciones (modelos expresados) del flujo de energía, como las pirámides tróficas.
- 3) Ser capaz de relacionar las pérdidas de energía de la cadena trófica con la gestión de recursos. Esto implica relacionar el flujo de energía con sus consecuencias.

El tercer objetivo se corresponde con el criterio de evaluación mencionado arriba.

⁴ Una versión algo modificada de estos materiales didácticos está publicada en la web Leer.es: <http://docentes.leer.es/materiales/?nivel=155&capa1n=3-ESO&capa2n=E-Ciencias%20de%20la%20Naturaleza>

8.2 ¿Por qué es importante la apropiación del modelo de flujo de energía?

El uso de pruebas y la modelización en el contexto del modelo de flujo de energía requiere una comprensión de sus consecuencias para la gestión de recursos. La aplicación de este complejo modelo implica entender las cadenas y pirámides tróficas como estructuras que representan cómo se transfiere la energía entre los seres vivos, más que como un reflejo de las relaciones depredador-presa. Para ello los estudiantes necesitan reconocer que; a) la energía utilizada por los ecosistemas procede en primera instancia del sol y que es transformada en energía química por los productores a través de la fotosíntesis; b) la energía química es almacenada (como biomasa) en las moléculas orgánicas a lo largo de la cadena trófica; y c) solo una pequeña proporción de la energía de un nivel trófico (sobre un 10%) estará disponible para el siguiente, mientras que el restante 90% es consumido en el mantenimiento a través de la respiración, o se pierde debido a un consumo incompleto y a dificultades en la asimilación. Los estudiantes necesitan utilizar estas nociones, en particular la de transferencia de energía para explicar por qué un nivel trófico determinado tiene menos energía disponible que el inmediatamente anterior.

La implicación de este modelo para la gestión de recursos es que es más eficiente alimentarse (o pescar) en niveles inferiores; por ejemplo es más eficiente comer vegetales que comer carne de ternera, o es más eficiente comer pequeños peces pelágicos (carnívoros secundarios) como las sardinas o los arenques que depredadores como el salmón o el atún. Otra consecuencia es que sería más sostenible criar peces herbívoros que carnívoros. Sin embargo en las piscifactorías se cultivan peces que son carnívoros terciarios, lo que lleva a consumir más pescado (biomasa) del que se produce.

8.3 Estructura de la unidad didáctica

La secuencia didáctica fue diseñada por las investigadoras y negociada con los profesores. Se desarrolló en cinco sesiones, en las que los estudiantes trabajaron en pequeños grupos. Se discuten las tareas relacionadas con las competencias de uso de pruebas y modelización. La tabla 8.1 resume la estructura de la unidad, los desempeños en el uso de pruebas y modelización, y los conceptos de ecología de cada tarea.

La actividad 1 *¿Qué circula en la cadena trófica?* fue diseñada para ayudar al alumnado a modelizar el flujo de energía. Los estudiantes construyeron un modelo analógico usando agua y botellas de plástico agujereadas en el fondo. Se esperaba que conectaran la analogía con el modelo teórico y que extrajeran conclusiones para los ecosistemas.

¿Por qué las pirámides tróficas tienen esta forma? pretende proporcionar oportunidades al alumnado de producir las representaciones externas (modelos expresados) de las pirámides tróficas y reflexionar sobre su significado, en concreto interpretar su forma.

¿Cómo gestionar una granja? requiere la aplicación del modelo de flujo de energía en un ecosistema terrestre. Necesitan transformar modelos teóricos como el flujo de energía en decisiones sobre cómo gestionar los recursos terrestres.

¿Cómo se deberían gestionar los recursos pesqueros para alimentar a más gente? también solicita al alumnado aplicar el modelo de flujo de energía, en un ecosistema marino, más complejo. Los estudiantes adoptan el papel de una ONG que tiene la responsabilidad de gestionar una bahía para alimentar a la población el mayor tiempo posible. Necesitan relacionar la transferencia de energía con la gestión de recursos, seleccionar distintas informaciones y conectarlas con el modelo de flujo de energía para justificar su elección.

¿Podría ser la acuicultura una solución? utilizada como parte de la evaluación. Se centra en la aplicación del conocimiento a situaciones reales, en concreto a la potencialidad de la acuicultura como una alternativa a la sobrepesca.

Tabla 8.1 resumen de las actividades de la unidad didáctica

Sesión	Actividad	Uso de pruebas y modelización: desempeño del alumnado	Conceptos de ecología
1	¿Qué circula en la cadena trófica?	Modelizar el flujo de energía; trabajando con una analogía	Flujo de energía, cadena trófica y niveles tróficos
2	¿Por qué las pirámides tróficas tienen esa forma?	Construir representaciones externas de pirámides tróficas y reflexionar sobre su significado	Pirámides tróficas, niveles tróficos, biomasa, energía, producción
3	Como gestionar unha granja?	Seleccionar una estrategia para gestionar un ecosistema terrestre; justificar las decisiones basándose en las pruebas disponibles y en los modelos teóricos	Cadena trófica, pirámides tróficas, flujo de energía, producción, biomasa
4	¿Cómo se deben gestionar los recursos pesqueros?	Tomar decisiones sobre cómo gestionar un ecosistema marino; usar pruebas para apoyar decisiones y coordinarlas con modelos teóricos	Flujo de energía, producción, biomasa, cadena trófica, pirámides tróficas
Evaluación	¿Podría ser la acuicultura una solución?	Identificar la idea central de un texto y evaluarla a la luz de las pruebas disponibles, aplicar el modelo de flujo de energía a la sostenibilidad de la acuicultura	Flujo de energía, relaciones tróficas, eficiencia ecológica

En los siguientes capítulos se discuten cada una de las tareas y las operaciones de uso de pruebas y modelización que forman parte de ellas.

9. MODELIZAR LA TRANSFERENCIA DE ENERGÍA CON AGUA: ¿QUÉ CIRCULA EN LA CADENA TRÓFICA?

9.1 Introducción: Promover la modelización con simulaciones

El objetivo en términos de modelización es ayudar al alumnado – mediante una simulación con botellas y agua – a construir significados sobre el proceso de transferencia de energía entre los niveles tróficos del ecosistema. El objetivo es favorecer su transferencia a otros contextos. La construcción de este modelo plantea dificultades al alumnado: una de las razones es que la energía es una noción abstracta. Les resulta más fácil centrarse en un fenómeno activo y concreto como quién come a quién, que en fenómenos abstractos y “pasivos”, por ejemplo cómo se transfiere la energía. Los estudiantes tienen problemas para entender que la energía disponible disminuye a lo largo de la cadena. De un nivel trófico al siguiente solo se transfiere el 10% de la energía mientras que el 90% restante se transforma en otras formas de energía que no pueden ser aprovechadas por los seres vivos.

A través de la simulación se pretende que los estudiantes sean capaces de conectar esas nociones y modelos teóricos abstractos con objetos y procesos más concretos, simulados por el paso del agua entre las botellas y las “pérdidas” que se producen. La capacidad de realizar esas conexiones puede mejorar la apropiación del modelo de flujo de energía.

Sobre el desarrollo del lenguaje científico, los estudiantes deberían transformar el lenguaje observacional (observar y describir una experiencia) en teórico (interpretar un fenómeno, como el flujo de energía, mediante modelos científicos). Se pide al alumnado que describa la actividad en ambos lenguajes y que los relacione mediante la simulación.

Es importante que los estudiantes realicen la simulación por sí mismos, siendo conveniente que todos comiencen a la vez para que el docente pueda guiarlos.

Cuando comiencen a pasar el agua de una botella a otra, el docente ha de insistir en la necesidad de observar cuidadosamente lo que está sucediendo, en concreto: a) qué ocurre al final con el agua que contenía la primera botella (sol); b) qué tipo de “pérdidas” se producen. Al final del proceso los estudiantes deberían darse cuenta de que el agua contenida en la última botella es solo una pequeña cantidad de la que había al comienzo.

Una vez finalizada la simulación, los estudiantes tienen que responder a cuatro preguntas (se distribuyen una vez que la actividad haya terminado) reflexionando sobre lo que ha ocurrido y relacionando las observaciones con el conocimiento de ecología, en concreto con la transferencia de energía.

9.2 ¿Qué circula en la cadena trófica?

Trabajando en pequeños grupos vais a construir un modelo sobre la energía en las cadenas tróficas.

Material (por cada grupo)

- a) Cinco botellas de agua de litro y medio, cuatro de ellas agujeradas en el fondo.
- b) Agua y colorante alimentario, preferiblemente amarillo o naranja, para la primera botella (botella del “sol”).
- c) Un barreño donde se recoge el agua sobrante para evitar mojar la mesa.

Proceso de simulación:

Ordena las cinco botellas según la cadena trófica, de productores a consumidores terciarios. Cuando todo esté preparado, se puede empezar a pasar el agua desde la botella “sol” a la siguiente y desde la segunda a la siguiente hasta llegar a la quinta. Observa cuidadosamente lo que está ocurriendo.

Preguntas

Cuatro de las cinco botellas representan los niveles tróficos, desde productores a consumidores terciarios, y la primera representa el sol, la fuente principal de energía de los seres vivos. Durante la simulación habéis observado una serie de fenómenos. Contestad a estas cuatro preguntas sobre ellos:

1) *Por favor describe en detalle lo que has observado.*

2) *Al finalizar la simulación, ¿Qué ha ocurrido con el agua que estaba contenida en la botella que representa al sol?*

3) *¿Qué crees que representa la simulación? Por favor explica tu respuesta.*

4) *¿Qué significaría el proceso si en lugar de botellas fueran plantas y animales?*

9.3 Aprender de su puesta en práctica

En esta actividad se examinan las operaciones del alumnado para llevar a cabo la tarea. Las preguntas están ordenadas en nivel creciente de abstracción desde observaciones y establecer relaciones entre lo observado y lo representado, hasta aplicar este conocimiento en ecosistemas reales.

Las dos primeras preguntas solicitan al alumnado describir sus observaciones, qué ha ocurrido a lo largo del proceso. Deben explicar el flujo de agua entre las botellas y la pequeña cantidad que queda al final comparada con la cantidad inicial contenida en la botella “sol”. Los estudiantes necesitan tener en cuenta los dos tipos de “pérdidas”: 1) el agua derramada fuera de las botellas; y 2) el agua que pasa a través de cada botella y se “pierde” por los agujeros de la base. El apoyo del docente puede ser necesario para aclarar qué es una observación; algunos relacionan directamente lo ocurrido en la simulación con el modelo teórico en lugar de explicar lo que han observado.

En la tercera pregunta se solicita a los estudiantes interpretar la simulación. Deben relacionar el flujo de agua y las “pérdidas” con el modelo teórico. Para ello, el alumnado debe movilizar, por un lado, el concepto de transferencia de energía y conectarlo con el flujo de agua, y por otro, las nociones sobre la transformación de energía solar en energía calorífica conectándolas con las “pérdidas”.

En la cuarta pregunta se requiere una aplicación del conocimiento. Los estudiantes deben conectar el modelo teórico y la simulación con procesos en ecosistemas reales. Para ello, han de aplicar el modelo de flujo de energía relacionando cada organismo con su nivel trófico –por ejemplo plantas con productores – y relacionar la transferencia de energía y la disminución a lo largo de la cadena trófica con el número limitado de niveles tróficos (la energía no se transfiere indefinidamente). El apoyo del profesor es imprescindible para promover la reflexión sobre cómo se transfiere la energía y qué ocurre durante el proceso. Relacionar la disminución de energía a lo largo de la cadena con sus consecuencias en los ecosistemas es necesario para realizar las tareas sobre gestión sostenible de recursos.

10. Construcción de representaciones: ¿Por qué tienen esa forma las pirámides tróficas?**10.1 Introducción: Construcción de representaciones externas**

El objetivo de esta actividad es que los estudiantes desarrollen la capacidad de elaborar representaciones externas, o modelos expresados, de fenómenos o sistemas. Un segundo objetivo es dar significado a las representaciones de las pirámides tróficas, interpretar su forma. El papel de las representaciones externas en el aprendizaje ha sido reformulado, concibiéndolas como formas de conocimiento (Pérez Echeverría y Scheuer, 2009). Para estas autoras las representaciones externas contribuyen a hacer visible el conocimiento para quien aprende, y ayudan a relacionar el contenido (representado) con los cambios en su significado a medida que aprenden.

Se solicita al alumnado construir representaciones externas de las pirámides tróficas de número de individuos, biomasa y producción, que representan relaciones en el ecosistema, en concreto la disminución de la energía a lo largo de la cadena trófica. Producir representaciones y reflexionar sobre su significado son operaciones que forman parte de la modelización. Ambas operaciones apoyan al alumnado a hacer externo su razonamiento, y a visualizar y comprobar sus teorías sobre los ecosistemas. Esta es una característica original de la unidad didáctica. La mayoría de los enfoques de enseñanza y los libros de texto usan estas representaciones como una ilustración de los conceptos, sin pedir a los alumnos que las elaboren.

Los estudiantes serán así capaces de usar el lenguaje representacional (un tipo de lenguaje científico) para interpretar y comunicar fenómenos. El uso de este lenguaje, en este caso para proporcionar información sobre la estructura y la dinámica del ecosistema, forma parte de la competencia lingüística.

La actividad se realiza en pequeños grupos, lo que apoya el intercambio de conocimientos entre los estudiantes, aunque el docente puede elegir que la lleven a cabo individualmente. Las tres partes de la tarea, construir cadenas tróficas, construir pirámides tróficas y explicar su significado, van de menor a mayor demanda cognitiva.

10.2 ¿Por qué tienen esa forma las pirámides tróficas?

Estudia cuidadosamente las tablas de datos y realiza los tres ejercicios:

Tabla 1. Ejemplo de ecosistema terrestre (pradera)

	Nº de individuos	Producción (kcal/ km ² / año)	Biomasa (kg/ km ²)
Seres humanos	10	8 x 10 ⁴	480
Vacas	45	1.19 x 10 ⁷	10 350
Hierba (alfalfa)	2 x 10 ⁸	1.4 x 10 ⁸	82 110

Tabla 2. Ejemplo de ecosistema marino

	Nº de individuos	Producción (kcal/ km ² / año)	Biomasa (kg/ km ²)
Salmones	120	70	540
Sardinas y arenques	8280	900	1800
Plancton carnívoro	108 x 10 ⁵	11 000	5400
Plancton herbívoro	36 x 10 ⁷	110 000	18 000
Plancton vegetal (algas microscópicas)	2 x 10 ⁹	1 825 000	10 000

- 1) Construye las dos cadenas tróficas de los organismos que forman parte de los ecosistemas de la tabla 1 y la tabla 2.
- 2) Elabora, a partir de los datos de las tablas y las cadenas tróficas, las pirámides tróficas de: número de individuos, biomasa y producción para cada uno de los ecosistemas. Por favor explica los pasos que has seguido.
- 3) ¿A qué es debido que las figuras representadas tengan forma de pirámide y no otra forma geométrica? Discutido en el grupo y explicadlo con la ayuda de los ejercicios 1 y 2.

10.3 Aprender de su puesta en práctica

Examinamos cómo llevaron a cabo los estudiantes la tarea en cuanto a las operaciones realizadas para construir representaciones externas, utilización de conceptos para apoyarlas y su interpretación. Se distinguen dos operaciones en la tarea: a) producir representaciones de las pirámides tróficas; y b) interpretar sus formas y significados.

En el primer ejercicio se pedía construir las cadenas tróficas. Aunque parece un proceso sencillo, el alumnado encuentra dificultades en el ecosistema marino, más complejo y menos conocido. El apoyo del docente fue necesario, por ejemplo para relacionar cada organismo con su nivel trófico y para clarificar la paradoja de que el plancton herbívoro tiene más biomasa que el plancton vegetal.

En el segundo ejercicio el alumnado construye las representaciones de las pirámides tróficas. Para ello necesita considerar que las diferencias entre los niveles tróficos deben reflejarse en la representación de las pirámides, con cada nivel disminuyendo en anchura con respecto al anterior. En este proceso algunos estudiantes tuvieron dificultades al: 1) atribuir un nivel trófico a cada organismo y relacionarlo con su posición en la pirámide trófica; y 2) decidir una anchura dada para cada piso o representación de un nivel trófico.

Para ayudar a los estudiantes a solventar estas dificultades, el docente ha de apoyarles en la toma de decisiones sobre la escala utilizada en las representaciones. Para ello puede proponer alguna estrategia, por ejemplo la llamada “regla del 10%”– solo un 10% de la energía de un nivel es transferida al siguiente –; esta disminución debería reflejarse en la representación de la cadena trófica, en la que cada nivel debería ser una décima parte del situado inmediatamente bajo él.

En el tercer ejercicio se preguntaba sobre la forma de las pirámides. Para contestarla es necesario relacionar la representación con el modelo teórico que la sustenta, la transferencia de energía. En otras palabras, necesitan reconocer que la disminución en el número de individuos, biomasa o producción es debida a la disminución de la energía disponible a lo largo de los niveles tróficos del ecosistema. Para ello es fundamental una interpretación apropiada de los datos. Cuatro de los 18 pequeños grupos no respondieron a la pregunta. Quizá esto podría estar relacionado con el uso de modelos teóricos inadecuados como “quién come a quién” en lugar del modelo de flujo de energía.

Esta tarea promueve la transformación de lenguajes, ya que para llevarla a cabo los estudiantes deben moverse del lenguaje observacional (datos) al representacional (dibujos de las pirámides) y al teórico (flujo de energía), y viceversa.

11. APLICAR UN MODELO: ¿CÓMO GESTIONAR UNA GRANJA?

11.1 Introducción: Usar modelos en distintos contextos

La tarea se centra en la transformación de modelos teóricos como el flujo de energía o las pirámides tróficas en decisiones sobre cómo gestionar los recursos de un ecosistema terrestre, para obtener la mayor eficiencia en términos de uso de energía. Llevarla a cabo significa aplicar el modelo de flujo de energía en el contexto de la gestión de una granja. Trabajando en pequeños grupos, los alumnos necesitan: a) seleccionar las informaciones y conectarlas con los modelos teóricos relevantes; y b) evaluar diferentes opciones en base a las pruebas disponibles.

Esta actividad es similar a la de gestión de ecosistemas marinos que se aborda en el siguiente capítulo (capítulo 12). La razón es que, para ser capaces de usar pruebas y modelos, los estudiantes necesitan practicar con ellos no una sola vez, sino repetidamente, en contextos diferentes. Hay que hacer notar que con frecuencia dos tareas o problemas que para el docente tiene el mismo contenido son consideradas distintas por el alumnado. Algunas diferencias entre esta actividad y la del ecosistema marino son: 1) *Complejidad*, esta actividad es menos compleja, requiere básicamente la aplicación del modelo de flujo de energía, y una comparación entre las cantidades de comida (maíz) necesaria para alimentar a cada animal, mientras que la tarea sobre el ecosistema marino requiere tener en cuenta dos modelos, flujo de energía y mantenimiento del ecosistema; 2) *Opciones explícitas frente a no explícitas*, en la actividad sobre la gestión de la granja se proporcionan las opciones, mientras que en la actividad sobre el ecosistema marino los estudiantes necesitan elaborarlas por sí mismos; 3) *Familiaridad*, los ecosistemas terrestres resultan más familiares para el alumnado; 4) *Dificultades*, los ecosistemas terrestres ofrecen menos dificultades, mientras que los marinos presentan algunos problemas para el alumnado, por ejemplo los datos de biomasa (mayor en plancton herbívoro que en plancton vegetal).

Estas características hacen esta actividad más apropiada para una primera práctica con la modelización y el uso de pruebas. Como las dificultades del alumnado son similares en ambas, se discuten conjuntamente en la puesta en práctica del capítulo 12.

11.2 ¿Cómo gestionar una granja?

Cada grupo representa una familia. Habéis recibido una herencia de un tío abuelo, que consiste en una hectárea de terreno cultivable cerca de su aldea. Vuestra tarea es decidir *cómo vais a gestionar este terreno*, en particular, qué hacer con él para conseguir el mayor rendimiento posible.

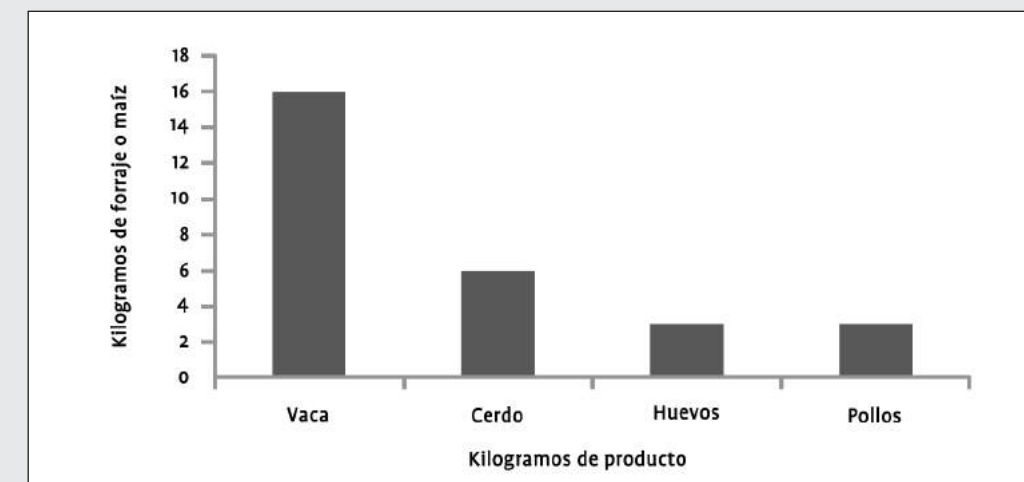
Tenéis varias opciones:

- Usarlo para cultivar maíz (u otras plantas).
- Usarlo para cultivar maíz para criar vacas.
- Usarlo para cultivar maíz para criar pollos.
- Usarlo para cultivar maíz para criar cerdos.
- Una combinación de dos o más de las opciones anteriores.

Necesitaréis usar las informaciones que se presentan a continuación para poder planificar qué hacer. Una vez que lleguéis a una decisión, tendréis *que explicarla y justificarla detalladamente* a los otros grupos.

Información

- Gráfico que representa el número de kg de forraje y/ o maíz necesario para conseguir un kg de cada uno de los productos animales.



- La tabla del ecosistema de pradera utilizada en la sesión anterior.

	Nº de individuos	Producción (kcal/ km ² x año)	Biomasa (kg/ km ²)
Seres humanos	10	8×10^4	480
Vacas	45	1.19×10^7	10 350
Hierba (alfalfa)	2×10^8	1.4×10^8	82 110

- Las pirámides tróficas de números, energía y biomasa, resultado de los datos de la tabla, que fueron construidas en la sesión anterior (*las representaciones se proporcionaron con el guión del alumnado*).

12. USAR PRUEBAS EN LA TOMA DE DECISIONES SOBRE GESTIÓN DE RECURSOS

12.1 Introducción: aplicar el conocimiento en un contexto real

Esta actividad se centra en la transformación de modelos teóricos, como el de transferencia de energía o las pirámides tróficas, en decisiones acerca de la gestión de recursos marinos. Los alumnos tienen que decidir sobre qué pescar en una bahía para alimentar a una población durante el mayor tiempo posible. En la bahía hay diferentes especies, pequeños peces pelágicos como arenques y sardinas, que son carnívoros secundarios, y salmón, que es un carnívoro terciario.

Los objetivos son: a) relacionar la transferencia de energía con la gestión de recursos; y b) seleccionar pruebas y conectarlas con el modelo de flujo de energía para justificar su elección.

Desde la perspectiva de las operaciones que forman parte de la competencia en usar pruebas, los estudiantes necesitan: a) seleccionar qué datos son relevantes a partir de la información proporcionada; b) relacionar los diferentes conjuntos de datos e identificar pautas en ellos; c) obtener conclusiones a partir de los datos; d) coordinar datos con modelos teóricos; y e) evaluar diferentes alternativas. Para ello el alumnado debe tener en cuenta tanto las pruebas proporcionadas como los modelos teóricos:

- 1) *Informaciones proporcionadas*: a) dietas de arenques y sardinas, y del salmón; b) la cadena trófica; c) tabla de datos de biomasa y producción; y d) representaciones de las pirámides tróficas construidas en la segunda sesión.
- 2) *Los modelos teóricos de transferencia de energía y pirámides tróficas* abordados en las sesiones previas, y el modelo de dinámica del ecosistema de cursos anteriores.

Los estudiantes toman también parte en prácticas comunicativas, la elaboración de un informe escrito sobre las decisiones del pequeño grupo, y el debate oral de puesta en común con toda la clase.

La actividad se lleva a cabo en pequeños grupos, ya que el intercambio de opiniones favorece la construcción conjunta de argumentos. El apoyo del docente es necesario para guiar a los estudiantes en el diseño del plan de gestión, en concreto para ayudarles a integrar los diferentes modelos teóricos o a tener en cuenta las pruebas disponibles.

12.2 Gestión de recursos en una bahía

Una pequeña localidad costera ha sufrido el paso de un huracán. A consecuencia de este mucha gente se ha quedado sin casa, sus cosechas han sido destruidas, y se ha perdido la mayoría de su ganado. Los principales recursos que tienen para sobrevivir se encuentran en una pequeña bahía, donde coexisten varias poblaciones de peces incluyendo arenques, sardinas y salmones.

Formáis parte de una ONG, y habéis sido enviados allí para ayudar a los habitantes a gestionar la bahía, para que les proporcione alimentos durante varios meses mientras sus cultivos crecen de nuevo y pueda criarse ganado. *El objetivo es decidir cómo gestionar la bahía para alimentar a la población durante el mayor tiempo posible.* Tendréis que encontrar la forma más eficiente de aprovechar los recursos pesqueros disponibles, y elaborar un plan explicando cómo lo llevaríais a cabo.

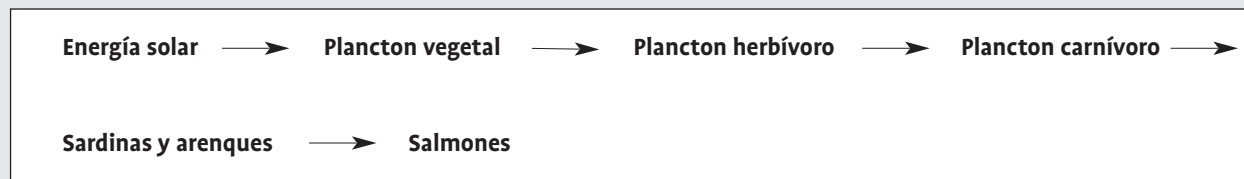
Las siguientes informaciones pueden ser útiles

A) Información científica

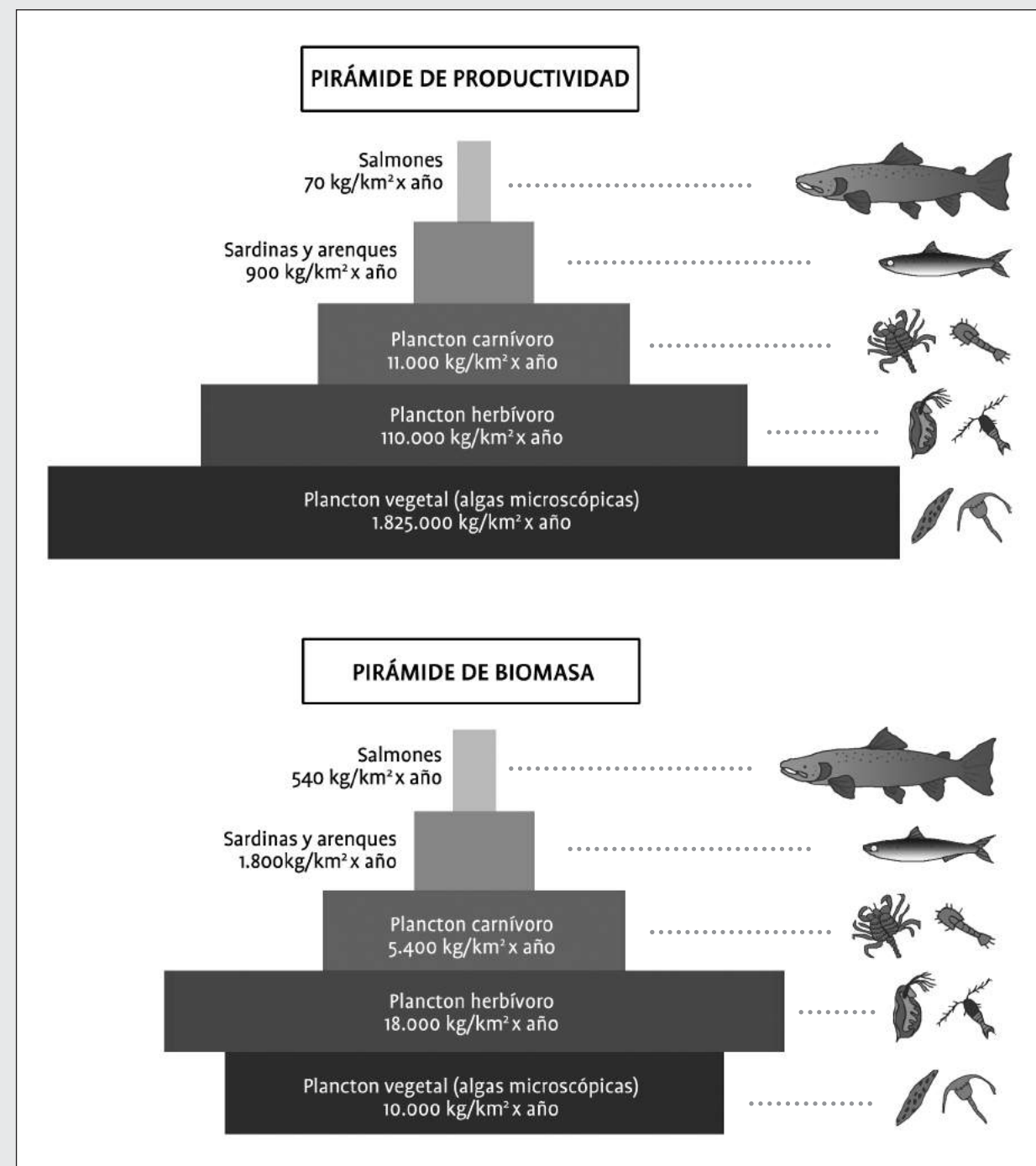
- 1) *Dieta del salmón* (Powell, 2003): principalmente sardinas y arenques, en una proporción de 1:5, es decir, para cada kilo de salmón son necesarios cinco kilogramos de arenques y sardinas.
- 2) *Dieta de los arenques y las sardinas* (Powell, 2003): comen plancton, principalmente herbívoro y carnívoro.
- 3) *Tabla de datos de producción y biomasa de esta cadena trófica*

	Producción (kg/km ² /año)	Biomasa (kg/km ²)
Salmones	70	540
Sardinas y arenques	900	1 800
Plancton carnívoro	11 000	5 400
Plancton herbívoro	110 000	18 000
Plancton vegetal (Algas microscópicas)	1 825 000	10 000

4) Cadena trófica



5) Pirámides tróficas



B) Simulación: una cartulina azul que representa la bahía y pasta de diferentes tamaños que representan los niveles tróficos. Cada “organismo de un nivel trófico” es de mayor tamaño que el organismo del nivel inferior, y hay mayor cantidad de “organismos” de los niveles más bajos.

Recordad: Es importante tener en cuenta lo que habéis aprendido en las sesiones anteriores.

Vuestra tarea: Describid en detalle vuestro plan para ponerlo en común con los otros grupos.

12.3 Aprender de su puesta en práctica

Cabe señalar que para una gestión sustentable de recursos sería necesario integrar dos modelos: a) *transferencia de energía*, que lleva a una opción de mayor eficiencia ecológica; esto supone pescar más en los niveles inferiores (arenques y sardinas) y menos en los superiores (salmones), por ejemplo en una proporción de 5:1 (apoyado en los datos sobre dietas) o 10:1 (apoyado en los datos sobre producción y biomasa); y b) *mantenimiento del ecosistema*, reproducción y renovación; en otras palabras, tener en cuenta que pescar demasiados individuos de una población dada, por ejemplo sardinas, tendría como consecuencia un problema en su reproducción, comprometiendo la existencia de esos recursos para otros niveles tróficos y para generaciones futuras.

Es necesaria una interpretación adecuada de los datos para integrar estos modelos con la información proporcionada y tomar una decisión. Cuestiones clave son por ejemplo los datos de la dieta del salmón (en proporción 5:1) o los de biomasa y producción del salmón, comparados con los de sardinas y arenques. Tanto en esta tarea como en la anterior, los estudiantes necesitan moverse entre el lenguaje representacional y el teórico, para llegar a una decisión, como puede ser pescar más arenques y sardinas que salmones, por ejemplo en una proporción 5:1.

Los distintos conjuntos de datos representan más cantidad de datos y de mayor complejidad que los que los estudiantes están acostumbrados a manejar. Las tareas habituales o bien no requieren el uso de datos por el alumnado o proporcionan un número muy limitado de ellos. En la puesta en práctica de esta actividad se identificaron dificultades del alumnado en el uso de pruebas en el contexto de toma de decisiones (Bravo-Torija y Jiménez-Aleixandre, 2011), en concreto: a) para identificar e interpretar datos y pruebas, y para establecer conexiones entre diferentes conjuntos de datos; b) para integrar pruebas en justificaciones; c) para enmarcar las pruebas en modelos teóricos; y d) para considerar opciones alternativas, y no solo una.

En relación con el uso de los modelos, el de mantenimiento del ecosistema y la idea de “quién come a quién” fueron más utilizados que el modelo de transferencia de energía (Bravo Torija y Jiménez Aleixandre, 2012). Solo tres grupos de 16 fueron capaces de integrar los dos modelos teóricos en la justificación de sus decisiones. Esto muestra que los estudiantes tienen dificultades para coordinar dos modelos teóricos.

Debido a la complejidad de la tarea, es necesario el apoyo continuo del docente. Si identifica dificultades, puede ayudar a los estudiantes a reflexionar sobre el objetivo del problema, por ejemplo proponiendo nuevas opciones que no han tenido en cuenta. Ser capaz de coordinar diferentes modelos teóricos es un proceso complejo, pero con el apoyo del docente el alumnado de este estudio fue capaz de llevarlo a cabo.

13. TRANSFERIR EL CONOCIMIENTO A NUEVOS CONTEXTOS: ¿HERBÍVORO O CARNÍVORO?**13.1 Introducción: Transferir conocimientos a nuevos contextos**

El objetivo de esta tarea, utilizada como parte de la evaluación, es aplicar el conocimiento nuevo para reflexionar sobre el potencial de la acuicultura como una alternativa a la sobrepesca. Los estudiantes tienen la oportunidad de aplicar modelos como el de transferencia de energía a un problema de relevancia social.

Algunos docentes pueden querer, antes de poner en práctica la tarea, revisar las cuestiones abordados en las sesiones previas, o cómo los estudiantes aplicaron el conocimiento para tomar decisiones. En concreto podrían introducir la acuicultura como una alternativa a la disminución de los recursos marinos. Aunque la acuicultura aparece frecuentemente en los medios, algunos estudiantes pueden no estar familiarizados con ella. Sería interesante proporcionar a los estudiantes ejemplos de peces procedentes de cultivo como el salmón, la trucha, la lubina o la dorada.

Otra cuestión que podría ser interesante abordar es la dieta del salmón o de otros peces de piscifactoría, por ejemplo explorando las ideas de los alumnos sobre qué tipo de alimentos consumen estos peces. Si nadie menciona la idea de los piensos, sería conveniente establecer una analogía sobre la forma en que se alimentan los pollos y las vacas en las granjas industriales. Sería mejor si los estudiantes establecen las relaciones por sí mismos, lo que ayudaría a identificar la conclusión principal del texto y las pruebas que la apoyan.

La actividad de evaluación puede llevarse a cabo en grupos o individualmente, dependiendo de los objetivos. En este caso fue utilizada para evaluar las competencias de uso de pruebas y modelización y la aplicación del conocimiento científico a contextos reales.

Se distribuye el texto a los estudiantes dejándoles un tiempo para la lectura y para abordar cuestiones como léxico o informaciones que resulten difíciles de entender. Podría ser una buena idea mostrarles imágenes de las especies que aparecen en el texto, ya que dependiendo del país, los estudiantes pueden no conocerlas.

13.2 ¿Podría ser la acuicultura una solución?

Lee este extracto de “La Revolución azul”, de S. Simpson en *Investigación y Ciencia*, nº 415, Abril 201, y responde a las preguntas:

“El inconveniente de la acuicultura marina más difícil de resolver es el empleo de especies salvajes de tamaño reducido para alimentar a las especies de las piscifactorías (los peces pequeños no se cultivan a propósito, pues ya existe una industria dedicada a capturarlos y transformarlos en aceite y harina de pescado) [...]

El 30 por ciento del alimento utilizado en Kona Blue [empresa dedicada al cultivo industrial de pescado] es anchoveta peruana triturada. [...] la serviola o pez limón podría sobrevivir con una dieta vegetariana, pero no sabría tan bien [...] Además, su carne no contendría todos los ácidos grasos y aminoácidos que contribuyen a hacerla saludable. Los ingredientes para el pienso proceden del aceite y la harina de pescado. Y ahí radica el problema. “A menudo nos ridiculizan porque matamos peces para engordar a otros”, dice Sims [gerente de la piscifactoría]. El cultivo del salmón, realizado en piscifactorías costeras, desencadena la misma cólera.

Los detractores de esa práctica temen que la incesante demanda de las piscifactorías termine con las poblaciones de anchoas, sardinas y otros peces pequeños. Antes del inicio de la acuicultura moderna, la mayor parte de la harina de pescado se destinaba al engorde de cerdos y pollos, pero actualmente la acuicultura consume el 68 por ciento de la misma. Sin embargo, las nuevas fórmulas de piensos han reducido esa proporción. Cuando Kona Blue [la piscifactoría] empezó a cultivar serviolas en 2005, el granulado que utilizaba estaba compuesto en un 80 por ciento por anchoveta peruana. En 2008, la empresa había reducido ese valor a un 30 por ciento, sin haber sacrificado el sabor ni las propiedades saludables del producto final, según Sims, gracias a la mayor proporción de harina de soja y la adición de grasa de pollo, un subproducto del procesado industrial de esas aves. Los nuevos gránulos representan un gran avance frente a la práctica de alimentar a los peces con sardinas. Desgraciadamente, ese hábito despilfarrador continúa entre los piscicultores menos responsables.”

Preguntas:

1. ¿Cuál es la conclusión principal que extraes de la lectura del texto?
2. De las informaciones proporcionadas por el texto: ¿Cuáles utilizarías para apoyar la conclusión anterior? Por favor explica tu respuesta
3. Basándote en el texto y en lo que has aprendido: ¿Qué acciones propondrías para mejorar la práctica de la acuicultura actual, desde una perspectiva de conservación del ambiente? Explica tu respuesta.

13.3 Aprender de su puesta en práctica

La primera pregunta solicita que extraigan la conclusión principal. Para ello necesitan entender la información y seleccionar las ideas principales del texto. La idea principal, repetida de distintas formas, es que el problema central de la acuicultura es la necesidad de capturar peces pequeños para alimentar a los peces de cultivo. Otras ideas relevantes se relacionan con las alternativas a esta alimentación, por ejemplo usando soja. Aunque esta no sea la conclusión principal podría considerarse adecuada ya que implica reconocer el problema de la sustentabilidad de la acuicultura. Pueden aparecer también conclusiones que hacen referencia a los peces en general, sin reconocer el problema abordado en el texto. La comprensión de textos con informaciones científicas es algo que se da por hecho en las clases de ciencias, pero los estudios muestran que no todos los estudiantes son capaces de extraer sus significados.

La segunda pregunta solicita que identifiquen las pruebas que apoyan sus conclusiones. Para ello necesitan decidir qué informaciones constituyen pruebas y justificarlo. Un aspecto importante es la coherencia al seleccionar las pruebas; por ejemplo, si los estudiantes concluyen que el problema principal de la acuicultura es la necesidad de utilizar peces de vida libre para alimentar a los cultivados, pueden apoyarlo con pruebas de estos fragmentos: “*los peces pequeños no se cultivan a propósito, pues ya existe una industria dedicada a capturarlos y transformarlos en aceite y harina de pescado*”, la que comienza por “*El 30 por ciento del alimento utilizado en Kona Blue es anchoveta peruana triturada. Sims comenta que la serviola o pez limón podría sobrevivir con una dieta vegetariana, pero no sabría tan bien*”, y la que comienza por “*Los detractores de esta práctica temen que la incesante demanda de las piscifactorías termine con las poblaciones de anchoas, sardinas y otros peces pequeños*”

La tercera es una pregunta abierta: se solicita al alumnado que proporcione alternativas para una acuicultura sustentable. Posibles propuestas pueden hacer referencia a la cría de especies herbívoras como carpa o tilapia, o a la disminución del pescado en la composición de los piensos. El docente puede discutir después otras opciones como alimentar a los peces de cultivo con microalgas o artemia (zooplancton); los peces alimentados con estas especies se sitúan en niveles tróficos inferiores a carnívoros como el salmón. El objetivo de esta actividad es hacer reflexionar al alumnado sobre cómo afecta a los ecosistemas marinos el consumo de productos de pescado para producir piensos. Es necesario el apoyo del docente para promover que el alumnado compare distintas alternativas (en lugar de considerar únicamente la primera propuesta) y para favorecer el debate.

14. CONCLUSIONES: CÓMO FAVORECER LA ARGUMENTACIÓN

Estas unidades didácticas fueron diseñadas con el propósito de promover la argumentación en las clases de ciencias de secundaria. Combinan actividades centradas en el uso de pruebas con otras centradas en la modelización. Las tareas sobre uso de pruebas abordan diferentes dimensiones de esta práctica: extraer conclusiones a partir de datos o textos, elegir explicaciones tomar decisiones basándose en pruebas, y evaluar conclusiones a la luz de las pruebas.

En todos los casos, los estudiantes necesitan, por ejemplo, interpretar los datos, seleccionar los datos relevantes para una conclusión o decisión, o identificar pautas. Para estos propósitos, y para todas las operaciones de uso de pruebas, es necesaria la articulación con los modelos teóricos relevantes, la expresión de los genes en la primera unidad y la transferencia de energía en la segunda. El aprendizaje de las ciencias y el desarrollo de las competencias argumentativas están relacionados entre sí. Participar en la argumentación es, como indica Roberts (2008), tomar parte en las prácticas epistémicas de los discursos y de las pautas de razonamiento científico.

La participación en estas prácticas, el uso de pruebas y la construcción de argumentos no está desprovista de dificultades, algunas de ellas discutidas en los comentarios a cada actividad. Es preciso el apoyo constante del profesor o profesora. Para que esto ocurra es imprescindible que el docente haga suyas las tareas y metodologías, de ahí que se sugiera la cooperación entre profesorado de secundaria e investigadoras en el diseño de las actividades. Es necesario incorporar sus sugerencias, discutir los objetivos de cada actividad, ayudar a entender por qué algunos alumnos tienen dificultades al llevar a cabo las tareas. En resumen, docentes e investigadoras colaboran para entender mejor las dificultades en la incorporación al aula de una práctica compleja. Las autoras agradecen a todos los profesores y profesoras que colaboraron en este trabajo y que permitieron el acceso de las investigadoras a las aulas. Gracias a ellos es posible entender mejor las dificultades en el uso de pruebas y la modelización.

Referencias

- Ayuso, G. E. y Banet, E. (2002). Alternativas a la enseñanza de la genética en educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(1), 133-157.
- Berland, L. K., y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanations. *Science Education*, 93, 26-55.
- Bravo-Torija, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). Is raising salmon sustainable? Use of concepts and evidence about ecology. In M. Hammann, A. J. Waarlo & 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, Flsme, CD- Press.
- Bravo Torija, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2011). A learning progression for using evidence in argumentation: An initial framework. Paper presented at the ESERA Conference, Lyon, September 5-9.
- Bravo-Torija, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2012). Progression in Complexity: Contextualizing sustainable marine resources management in a 10th Grade Classroom. *Research in Science Education*, 42(1), 5-23.
- Diehl, D., y Donnelly, M. P. (2008). *Inventors and Impostors. How History forgot the true heroes of invention and discovery*. Richmond: Crimson.
- Dixon, R. (1982). Take two people—a genetics teaching kit. *Journal of Biological Education*, 16 (4), 229-230.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., y Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understanding of modern genetics across the 5th-10th grades. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.
- 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.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (1990). Xogos de Simulación e modelos de Xenética. (Genetics simulations and models). *Ciencias: Revista de Enseñanza*, 9-10, 114-122.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2008). Designing argumentation learning environments. In: S. Erduran & M.P. Jiménez-Aleixandre (eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research* (pp. 91-115), Dordrecht: Springer.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., y Puig, B. (2011). The role of justifications in integrating evidence in arguments: Making sense of gene expression. Paper presented in the ESERA meeting, Lyon, 5-9 September.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Gallástegui, J. R., Eirexas, F., y Puig, B. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela: Danú. Proyecto Mind the Gap [Hay también versiones en gallego e inglés]. Disponible en www.rodausc.eu
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Puig, B., Gallástegui, J. R., Díaz, J., y Cross, D. (2011). *Argumentation and use of evidence: Resources for teacher education*. Trondheim, S-TEAM (Science Teacher Education Advanced Methods) / NTNU.
- Johnson, S. (1991). Food for thought. The cookie analogy. Center for Biology Education. University of Wisconsin. http://cbe.wisc.edu/cbe_pubs/cookie_analogy.html
- Kuhn, D. (2011). Teaching and learning science as argument. *Science Education*, 94(5), 810-824.
- OCDE (2006) *PISA 2006. Marco de la evaluación: Conocimientos y habilidades en Ciencias, Matemáticas y lectura*. Madrid: Santillana / Ministerio de Educación y Ciencia.
- OECD (2009). *PISA 2009 Assessment framework: Key competencies in reading, mathematics and science*. Paris: Author.
- Echeverría, M. P., y Scheuer, N. (2009). External representations as learning tools: An introduction. In C. Andersen et al. (Eds.), *Representational systems and practices as learning tools* (pp. 1-17). Rotterdam: Sense Publishers.

ARGUMENTACIÓN EN EL AULA: DOS UNIDADES DIDÁCTICAS

Powell, K. (2003). Fish farming: eat your veg. *Nature*, 426, 378-379.

Puig, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2009). ¿Qué considera el alumnado que son pruebas de la evolución? *Alambique*, 62, 43-50.

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”? In M. Hammann, A. J. Waarlo, & K. Th. Boersma, (Eds.), *The Nature of Research in Biological Education* (pp 137-151). Utrecht: University of Utrecht.

Puig, B., y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2011). Different music to the same score: teaching about genes, environment and human performances. In: T. D. Sadler (Ed), *Socio-scientific issues in the classroom: teaching, learning and research* (pp 201-238). Dordrecht: Springer.

Roberts, D. (2008). Competing visions of scientific literacy: The influence of a science curriculum policy image. In C. Linder et al. (eds.) *Exploring the landscape of scientific literacy* (pp. 11-27). New York: Routledge.

Tiberghien, A. (2008). Foreword. In S. Erduran & M. P. Jiménez-Aleixandre (Eds.), *Argumentation in science education: perspectives from classroom based research* (pp. ix-xv). Dordrecht: Springer.

UE (2006) Recomendación del Parlamento Europeo sobre las competencias clave para el aprendizaje permanente. *Diario Oficial de la UE*, 30/12/2006, Bruselas.