



Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal

The examination of determinism in a genetics activity about an animal disease

Noa Ageitos, Blanca Puig

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, A Coruña, España
noa.ageitos@edu.xunta.es; blanca.puig@usc.es

RESUMEN • Este artículo presenta un estudio de caso de corte cualitativo con alumnado de secundaria en el desempeño de una tarea de uso de datos y evaluación de un modelo determinista de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal. Las preguntas de investigación son: 1) ¿cómo son las posiciones del alumnado en el discurso escrito a la hora de aplicar y evaluar un modelo de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal? y 2) ¿cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto? Los resultados muestran dificultades para evaluar críticamente un modelo determinista y cambios en las posiciones del alumnado respecto al determinismo a lo largo de la tarea. El desarrollo de explicaciones deterministas se relaciona con la capacidad crítica en este estudio, lo que plantea futuras líneas de investigación.

PALABRAS CLAVE: Aprendizaje de genética; Determinismo; Argumentación; Pensamiento crítico.

ABSTRACT • This article presents a qualitative case study with high school students involved in a task based on data and the evaluation of a deterministic model of gene expression to explain an animal disease. The research questions are: 1) How are students' positions in the written discourse when applying and evaluating a model of gene expression to explain an animal disease? and 2) what is the critical capacity shown in the oral discourse of the students to evaluate a deterministic model in this context? The results show students' difficulties to critically evaluate a deterministic model and changes in their positions regarding determinism throughout the task. Deterministic explanations are related to students' critical thinking in this study, which raises future lines of research.

KEYWORDS: Genetics education; Determinism; Argumentation; Critical thinking.

Recepción: mayo 2020 • Aceptación: noviembre 2020

Ageitos, N. y Puig, P. (2021). Análisis del determinismo en una tarea de genética sobre una enfermedad animal. *Enseñanza de las Ciencias*, 39(3),33-50.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3315>

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas se han producido grandes avances conceptuales y tecnológicos en el campo de la genética que han permitido, por un lado, aumentar la comprensión sobre los patrones de herencia y el papel del ambiente en la expresión de los genes; y, por otro lado, la aplicación de tecnologías basadas en la genética como la terapia génica, la secuenciación del genoma, la medicina personalizada o el uso de perfiles genéticos. Siendo el objetivo de la enseñanza de las ciencias formar a la ciudadanía en conocimientos científicos, las implicaciones de las tecnologías genéticas y genómicas actuales en nuestras vidas deben ser abordadas en las aulas de ciencias.

La genética molecular constituye una parte central del currículum de secundaria en diferentes partes del mundo, cuya enseñanza y aprendizaje plantea dificultades (Kampourakis, 2017). El currículum estatal aboga por el desarrollo competencial, lo que implica, entre otros aspectos, la implicación del alumnado en tareas de toma de decisiones sobre dilemas en los que están involucrados conocimientos científicos (Sanmartí, Burgos y Nuño, 2011). No obstante, en España, al igual que en otros países, la enseñanza de genética se ha considerado un ámbito de estudio demasiado complejo como para poder introducirse en edades más tempranas a los 14-15 años, que sería cuando se produce el cambio de pensamiento concreto a abstracto según Piaget (Donovan y Venville, 2014). Los conceptos básicos de genética se abordan por primera vez en el currículo de la materia de Biología y Geología de 4.º curso de Enseñanza Secundaria Obligatoria (RD 1105/2014, de 26 de diciembre). Esta materia no es obligatoria, por lo que solo el alumnado que escoja un itinerario científico la cursará y, por lo tanto, dispondrá de herramientas para abordar problemas de genética que afectan a su vida. Según un estudio reciente (Chapman et al., 2019), los conocimientos de genética afectan a la actitud de la ciudadanía frente a esta y a la toma de decisiones en temas de salud. Temas que nos afectan directamente, como el tratamiento y la prevención de enfermedades, plantean dificultades al alumnado relacionadas con la comprensión de nociones básicas de genética (e. g. Lewis, Leach y Wood-Robinson, 2000; Harding, Egan, Kannu y MacKenzie, 2017) y la aparición de ideas deterministas al explicar fenómenos relacionados con la expresión de los genes (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011).

Este estudio forma parte de un proyecto orientado a mejorar la formación científica del alumnado para el abordaje de dilemas de genética relacionados con enfermedades con componente genético. A pesar de que la genética ha sido ampliamente estudiada y de que existen iniciativas para la mejora de la comprensión del modelo de expresión de los genes mediante tareas que impliquen la argumentación (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011), estos trabajos son poco concluyentes en cuanto a la capacidad del alumnado para evaluar y aplicar este modelo en contextos relativos a diversas enfermedades. La investigación realizada pretende contribuir a la mejora del conocimiento sobre contextos de aprendizaje y tareas que fomenten la construcción de argumentos según el modelo de expresión de los genes, así como la crítica de modelos deterministas mediante el uso de datos. Pretendemos avanzar en la investigación sobre la enseñanza y aprendizaje del modelo de expresión de los genes y el determinismo en las aulas de ciencias de secundaria.

DIFICULTADES Y RETOS EN LA ENSEÑANZA DE GENÉTICA. LA ARGUMENTACIÓN COMO HERRAMIENTA FACILITADORA

Las investigaciones que estudian las dificultades del alumnado en el aprendizaje de genética son numerosas y se remontan a la década de los ochenta (Ayuso y Banet, 2002). Duncan y Reiser (2007) proponen tres explicaciones que resumen los motivos por los que los fenómenos de genética molecular resultan difíciles de comprender para el alumnado. En primer lugar, la invisibilidad e inaccesibilidad de los fenómenos genéticos que involucran pequeñas entidades y procesos que no se pueden experimentar

directamente (Gilbert, Osborne y Fensham, 1982). En segundo lugar, la multiplicidad de niveles implicados en los procesos genéticos, que abarcan desde niveles de organización molecular (genes y moléculas) hasta niveles macroscópicos (organismo o población), pasando por el nivel micro (celular). El alumnado muestra dificultades para relacionar términos o entes moleculares involucrados en los procesos genéticos a la hora de moverse entre estos niveles (Marbach-Ad y Stavy, 2000; Knipples, 2002).

En tercer lugar, las diferencias ontológicas entre los niveles de fenómenos genéticos. Estos fenómenos son provocados por interacciones entre entidades formativas (genes) existentes en un nivel organizativo y entidades biofísicas (proteínas, células, tejidos, etc.) que existen en otros niveles organizativos. En relación con esto, existen trabajos que muestran dificultades por parte del alumnado a la hora de aplicar el modelo de expresión de los genes (Puig, Ageitos y Jiménez-Aleixandre, 2017) y localizar el material genético en la célula (Caballero Armenta, 2008). Otros se centran en problemas concretos a la hora de relacionar el ADN, ARN y proteínas, como el estudio de Marbach-Ad (2001). Relacionar genes y proteínas resulta una de las principales problemáticas descritas por la investigación (Freidenreich, Duncan y Shea, 2011), y de acuerdo con Gericke y Wahlberg (2013) impide una comprensión adecuada de los procesos de traducción y transcripción.

Otro de los aspectos que afecta a la enseñanza de genética hoy en día hace referencia al uso de conceptos de genética molecular. El alumnado tiende a utilizar explicaciones mendelianas con carácter determinista para interpretar la noción de fenotipo. No contemplan en la formación de un fenotipo el papel de varios genes y/o la influencia de factores ambientales (Dougherty, 2009). Las explicaciones deterministas son frecuentes entre el alumnado de secundaria (e.g. Castéra, Clément y Abrougui, 2008). Este trabajo entiende por determinismo la corriente que apoya que «los genes determinan invariablemente caracteres, de modo que los resultados son solo un poco o nada afectados por los cambios en el ambiente o por los diferentes ambientes en los que los individuos viven» (Kampourakis, 2017, p. 16). Es decir, la atribución de la formación de rasgos de los seres vivos a los genes exclusivamente (Carver et al, 2017).

El contenido de los libros de texto, así como la manera en la que se enseña la genética, no siempre facilitan la comprensión de las relaciones entre los elementos involucrados en la expresión de los genes (Martínez-Gracia, Gil-Quílez y Osada, 2006). Un análisis sobre el modelo de expresión de los genes en los libros de texto de secundaria muestra que la mayor parte de las tareas no involucran al alumnado en la aplicación de este modelo a distintos contextos, ni en la identificación de factores ambientales en la expresión de los genes. Esto podría influir en el desarrollo de posiciones deterministas por parte del alumnado (e.g., Gericke et al., 2014; Avelo y Uitto, 2015), visión que se ha encontrado difícil de cambiar en el aula (Domènech-Casal, 2017). La perspectiva determinista atribuye a la herencia las diferencias sociales y económicas entre diferentes grupos humanos, considerando estas diferencias como distinciones innatas (Lewontin, 2000). El uso determinista del concepto de gen da lugar a errores como la identificación de enfermedades monogénicas como determinadas exclusivamente por un gen, sin contemplar la epigenética y el ambiente en su desarrollo (Kendler, 2005).

El determinismo no solo aparece en los textos y entre el alumnado (Reydon et al., 2012). Parte del profesorado presenta concepciones relacionadas con el determinismo genético (Castéra y Clément, 2014). Ante este escenario, son diversas las estrategias que surgen para ayudar al alumnado a superar esta visión. Duncan, Rogat y Yarden (2009) indican que existe un mayor riesgo de desarrollar visiones deterministas cuando el alumnado carece de mecanismos explicativos que le permitan relacionar los genes con rasgos en los seres vivos. Para enfrentarse a la dificultad de relacionar el genotipo con el fenotipo, autores como Todd y Kenyon (2016) proponen centrar la enseñanza en las proteínas y su papel en la expresión de los genes, o incluir la modelización como vía para relacionar los elementos involucrados en este proceso (Reinagel y Bray Speth, 2016; Puig et al., 2017). Lehrer y Schauble (2000) sugieren dar la oportunidad al alumnado de revisar y construir sus ideas de genética a lo largo del tiempo, línea

que ha dado lugar a las denominadas progresiones de aprendizaje (*learning progressions*). También, se ha propuesto el uso de contextos relacionados con temáticas sociocientíficas (Jiménez-Aleixandre, Bugallo y Duschl, 2000; Sadler y Fowler, 2006; Feinstein, Allen y Jenkins, 2013) con el fin de mejorar la capacidad argumentativa del alumnado, el aprendizaje de nociones de genética y el desarrollo de pensamiento crítico. Este trabajo sigue esta última propuesta y se enmarca en la noción de argumentación científica como una práctica social en la que los miembros de una comunidad buscan explicar los fenómenos estudiados evaluando, criticando y revisando las conclusiones a través del discurso (Berland y Reiser, 2011). Esta práctica involucra tanto la construcción como la crítica de enunciados basadas en pruebas (Ford, 2012; Jiménez-Aleixandre, 2010). Creemos importante que el alumnado participe en ambas, teniendo en cuenta que en las aulas de ciencias las oportunidades para la crítica son escasas (Henderson, MacPherson, Osborne y Wild, 2015), debido, entre otros motivos, a las dudas o el malestar que provoca el enfrentamiento (González-Howard y McNeill, 2017).

De acuerdo con Ford (2008), entendemos que la construcción de conocimientos se realiza de modo dialéctico entre las prácticas de construcción y la crítica de argumentos. Sin embargo, los estudios de argumentación en el contexto de aprendizaje de genética se han centrado mayoritariamente en las relaciones entre el dominio del conocimiento y la capacidad argumentativa (Zohar y Nemet, 2002) o en el uso de pruebas (Jiménez-Aleixandre et al., 2000; Duncan y Reiser, 2007). La mayoría de estos estudios implican el análisis de argumentos escritos y orales, con el propósito de comprobar la correspondencia entre ellos y la calidad de la argumentación, y no tanto la crítica. Este estudio entiende como necesario investigar ambos tipos de discursos para comprender mejor los procesos y las posiciones involucradas en el aprendizaje de la genética. La crítica de modelos mediante el uso de datos no ha sido investigada, hasta donde hemos podido saber; por lo tanto, esta es la principal contribución del trabajo, enmarcado en un proyecto más amplio sobre aprendizaje de genética y enfermedades mediante prácticas científicas.

METODOLOGÍA

La metodología empleada es cualitativa y se enmarca en el análisis del discurso (Gee, 2011), tanto oral como escrito. La investigación forma parte de un estudio de caso longitudinal llevado a cabo durante dos cursos académicos (2014-2016) con el mismo grupo de estudiantes en 4.º de ESO y 1.º de Bachillerato dentro de un proyecto de enseñanza de genética y evolución mediante la participación en las prácticas de argumentación y modelización. Durante el primer año del estudio el alumnado participó en cuatro tareas de genética y evolución diseñadas de menor a mayor grado de complejidad de contenidos y participación en prácticas científicas. La secuencia se inició con la elaboración de un modelo de expresión de los genes mediante un kit (Puig et al., 2017) que en las sucesivas tareas aplicaron a diferentes contextos relacionados con enfermedades humanas.

Diseño, contexto y participantes

Se trata de un diseño basado en la investigación en el que investigadoras y profesorado de ciencias de secundaria colaboran en el diseño e implementación de una secuencia sobre diversas enfermedades con componente genético (Ageitos, Puig y Calvo-Peña, 2017). En este artículo nos centramos en el análisis de una actividad implementada en el segundo año del estudio longitudinal, que requiere aplicar el modelo de expresión de los genes a una enfermedad animal. Los participantes ($N = 21$) son alumnado de 1.º de Bachillerato (16-17 años) de un centro público de una pequeña localidad del entorno rural de Galicia (España), cuyo docente, con más de quince años de experiencia en la enseñanza de Biología y Geología, participó en el diseño de esta y otras tareas, y en dos seminarios de modelización y argumen-

tación impartidos por las autoras. El profesor colabora con el grupo de investigación de forma regular y utiliza una metodología activa y constructivista donde el diálogo e interacción forman parte de la cultura del aula. Los estudiantes trabajaron en grupos reducidos (cuatro grupos de cuatro personas y un grupo de cinco personas). El rol del profesor consiste en guiar las tareas, dando apoyo al alumnado a la hora de resolver dudas, así como controlar los tiempos y la puesta en común en distintos momentos. Las investigadoras asisten a las sesiones como observadoras no participantes.

La tarea objeto de análisis ¿Por qué se mueren los cerdos de *Martiño*? presenta un problema auténtico que implica al alumnado en la práctica de argumentación y en la transferencia del modelo de expresión de los genes para explicar un fenómeno: la muerte de cerdos al ser transportados desde la granja de cría a la granja de cebo. La mortalidad está motivada por una enfermedad animal con componente genético, la «hipertermia maligna». La enfermedad se desencadena en animales con una mutación cuando sufren episodios de estrés y puede producir la muerte. Se eligió por dos motivos fundamentales: *a)* el entorno rural en el que se desarrolla el estudio cuenta con un gran número de granjas de cerdos; *b)* se trata de una enfermedad en la que resulta fácil identificar la influencia de factores ambientales, las situaciones de estrés y la componente genética.

La tarea se estructura en cuatro partes que implican el análisis de datos:

- *Parte 1. Formulación de hipótesis sobre la(s) causa(s) de la muerte de los cerdos:* se presenta información sobre las características de una supuesta granja de cría de cerdos, la granja de Martiño, y sobre la granja de cebo, a donde son transportados estos cerdos al poco de nacer. También se proporcionan datos sobre el proceso de transporte entre ambas granjas. La figura 1 resume la información presentada. Tras analizar los datos, se solicita a cada grupo que proponga una hipótesis acerca de la posible causa de las muertes.

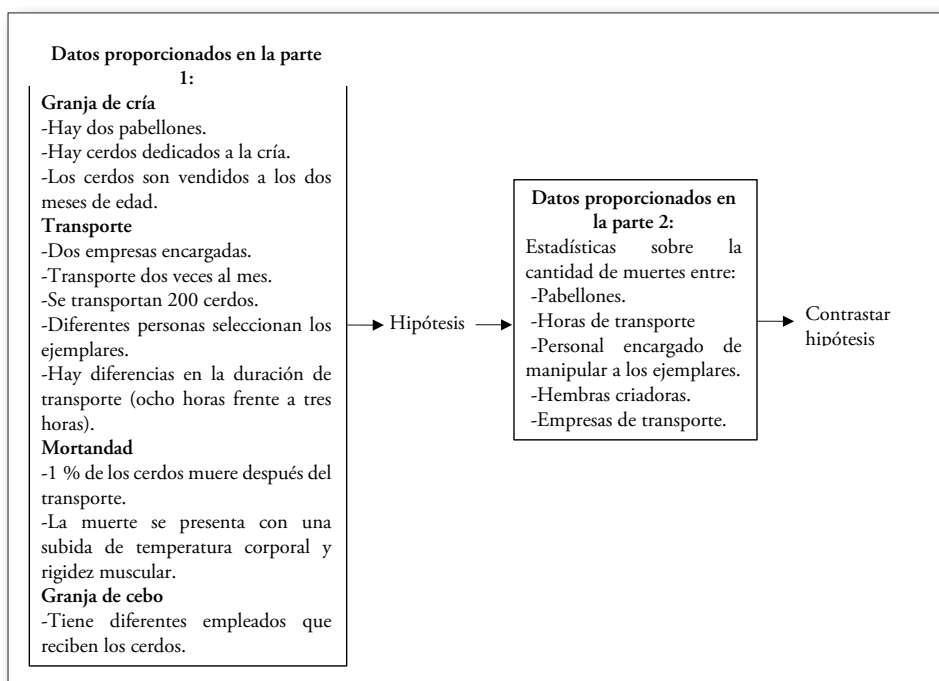


Fig. 1. Datos proporcionados en las partes 1 y 2 de la actividad.

- *Parte 2. Usar pruebas para contrastar las hipótesis:* se proporciona al alumnado nueva información (ver figura 1) con la que contrastar sus hipótesis iniciales. Se les solicita indicar por escrito qué datos utilizan y cuáles no para llegar a una conclusión. Posteriormente se realiza una puesta en común y se discuten las causas (genéticas y ambientales) que llevan a la expresión de la enfermedad.
- *Parte 3. Recomendar cómo reducir la mortalidad durante el transporte:* cada grupo ha de aconsejar a Martiño qué medidas tomar para reducir la mortalidad de los cerdos.
- *Parte 4. Revisar un modelo determinista de expresión de los genes para explicar la enfermedad:* se presenta un modelo determinista de expresión de los genes, presentado en la figura 2, en el que no se incluyen factores ambientales que intervienen en el desarrollo de la enfermedad. El alumnado ha de evaluar este modelo como adecuado o no para explicar el fenómeno de las muertes de los cerdos.

ADN → ARN → Proteína → Fenotipo

Fig. 2. Modelo determinista de expresión de los genes presentado.

Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación que orientan el trabajo son:

- P1: ¿Cómo son las posiciones del alumnado en el discurso escrito a la hora de aplicar y evaluar un modelo de expresión de los genes para explicar una enfermedad animal?
- P2: ¿Cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto?

Análisis de datos

El análisis de la primera pregunta de investigación conlleva, en primer lugar, la lectura intensiva, por parte de ambas autoras, de las respuestas escritas de los estudiantes a las dos preguntas de la actividad que requerían: *a)* recomendar acciones para disminuir la mortalidad y *b)* evaluar un modelo determinista presentado con relación a la enfermedad. En segundo lugar, se codifican las respuestas según si las explicaciones presentadas se sitúan más próximas a visiones deterministas o interaccionistas. Para ello adaptamos la rúbrica propuesta por Puig y Jiménez-Aleixandre (2011), que establece tres grandes categorías que separan las respuestas en no deterministas (o interaccionistas) de las deterministas, y estas últimas se diferencian de acuerdo con el grado de determinismo mostrado.

Categoría 1. Los genes son los únicos responsables del fenotipo: incluye las respuestas escritas que atribuyen a los genes exclusivamente el desarrollo de la enfermedad. Representada en la figura 3.

Genes → Fenotipo

Fig. 3. Representación de la categoría 1.

Categoría 2. Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor: incluye las respuestas escritas que contemplan la influencia de factores ambientales, aunque otorgan un mayor peso a la genética. Mostrada en la figura 4.

Genes → Factores ambientales → Fenotipo

Fig. 4. Representación de la categoría 2.

Categoría 3. Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo: incluye las respuestas escritas que hacen referencia a la influencia de ambos factores en el desarrollo de la enfermedad. Representación de la categoría en la figura 5.

Genes + Factores ambientales → Fenotipo

Fig. 5. Representación de la categoría 3.

La segunda pregunta de investigación, ¿cuál es la capacidad crítica mostrada en el discurso oral del alumnado para evaluar un modelo determinista en este contexto?, requiere centrarse en el análisis del discurso oral del alumnado en relación con las mismas cuestiones (partes 3 y 4) abordadas en la pregunta de investigación 1. Pretendemos comprobar las razones que motivan pasar de un modelo interaccionista a un modelo determinista al alumnado. Se analiza el contenido de las transcripciones (Gee, 2011), y el foco de atención es la aparición o no de operaciones de crítica u oposición al modelo determinista en el discurso oral de los grupos. Establecemos como operación *crítica* cuestionar o desafiar las ideas del modelo propuesto según pruebas; y como operación de *oposición* oponerse al modelo propuesto. La codificación del discurso tiene lugar en interacción con los datos y permite establecer dos grandes categorías:

1. *Oposición inicial al modelo determinista:* discurso oral en cuyas intervenciones se pone en cuestión el modelo determinista para explicar la enfermedad.
2. *No oposición al modelo determinista:* discurso oral en cuyas intervenciones no existen referencias que critiquen el modelo determinista o este se ponga en cuestión. Dentro de esta categoría se identifican dos subcategorías.
 - 2.1 *Adoptar el modelo sin cambios:* engloba las intervenciones en las que el alumnado aplica el modelo presentado y, por lo tanto, lo adopta como válido sin ningún cambio. La discusión se centra en los aspectos genéticos de la expresión de los genes y los factores ambientales no son mencionados.
 - 2.2 *Adoptar el modelo introduciendo cambios:* se relaciona con las intervenciones del alumnado que no cuestionan el modelo de forma explícita, asumiéndolo como válido. Hacen referencia a los factores ambientales, aunque de manera aislada, sin relacionarlos con la parte genética.

RESULTADOS

Resultados 1. Posiciones del alumnado respecto al modelo de expresión de los genes

Para abordar la primera pregunta de investigación el análisis se centra en las dos últimas partes de la actividad. Por un lado, en la recomendación que el alumnado ha de proponer para reducir la mortalidad de los cerdos (parte 3); y, por otro, en la evaluación de un modelo de expresión de los genes determinista para explicar la enfermedad (parte 4). La tabla 1 muestra los datos incorporados por los cinco grupos en sus respuestas escritas (manteniendo las expresiones utilizadas por el alumnado de forma literal) a la parte 3 de la tarea.

Tabla 1.
Datos utilizados por el alumnado en respuestas escritas

Recomendar a Martiño qué acciones llevar a cabo para disminuir la mortalidad		
	<i>Genética</i>	<i>Ambiente</i>
Grupo 1	Hembras criadoras	Menos cerdos durante el transporte Transporte más corto
Grupo 2	Hembras criadoras	Estrés debido a separación Transporte más corto
Grupo 3	Hembras criadoras	Evitar estrés en el transporte
Grupo 4	Portadores de genes	Mejor transporte
Grupo 5	Hembras criadoras	Transporte más corto Menos cerdos durante el transporte

Todos integran datos referidos a la genética y al ambiente y recomiendan mejorar las condiciones de transporte, además de seleccionar genéticamente a los progenitores, como medidas para reducir las muertes por la enfermedad. Los cinco grupos se sitúan dentro de la categoría 3 (los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo). Un ejemplo es la siguiente respuesta del grupo 3:

Grupo 3 (recomendación escrita): *Cambiar las hembras escogidas y procurar no producirle tanto estrés en el transporte. En cuanto a las hembras, las que contienen la enfermedad genética, recomendaríamos que las intentara cambiar por otras hembras que no la contengan. En cuanto al estrés en el transporte, podían no ir tan apretados y no hacer tantos traslados tan largos.*

Este grupo explica los factores ambientales que influyen en el desencadenamiento de la enfermedad y muerte de los cerdos, que relacionan con las características del transporte. Recomiendan reducir el número de individuos transportados para evitar el hacinamiento y reducir el tiempo en los traslados. Tanto este grupo como el resto utilizan información sobre los factores ambientales extraída directamente de la tarea. Además, indican la importancia de que las progenitoras no porten la mutación que hace más proclives a los cerdos a sufrir la enfermedad, indicando la necesidad de cambiar a las hembras portadoras por otras que no porten el gen de la enfermedad. Hay que destacar que todos los grupos, como se ve en este ejemplo, hacen referencia a las hembras progenitoras, pero no a los machos que contribuyen igualmente con la mitad de la información genética. Esto puede deberse a que la información proporcionada incluye la granja de cría donde conviven las hembras criadoras, que serían inseminadas artificialmente, con las crías y sus condiciones, sin mencionarse explícitamente a los progenitores masculinos.

El análisis de respuestas escritas de la parte de la actividad en la que el alumnado tenía que evaluar un modelo determinista y su posible validez a esta situación muestra diferencias en los resultados con respecto al contexto anterior. En este caso, no todos los grupos hacen referencia a los factores ambientales en sus explicaciones. Tres grupos (grupos 2, 3 y 4) identifican a los genes como únicos responsables, y un grupo, el 1, reconoce el papel del ambiente, haciendo referencia explícita a determinados factores ambientales, aunque destacando el papel de los genes y su mayor importancia. Un solo grupo, el 5, relaciona la aparición de la enfermedad con una combinación de factores ambientales y genéticos. Se muestran ejemplos de cada categoría.

Categoría 1. Los genes son los únicos responsables del fenotipo (grupos 2, 3, 4)

Grupo 4 (recomendación escrita): *El ADN es un ácido nucleico al igual que el ARN y es el encargado de formar las proteínas. Las proteínas tienen función estructural, lo que las relaciona con el fenotipo ya que este es lo que percibimos. Sí, sería aplicable para esta situación ya que la información genética, junto con sus posibles fallos o enfermedades, están relacionadas con el genotipo y no con el fenotipo; pero a través del fenotipo percibimos los síntomas de la enfermedad genética.*

Este grupo no relaciona la enfermedad con ningún factor ambiental y muestra dificultades para conectar el genotipo y el fenotipo. Identifican la enfermedad con el genotipo, pero de manera confusa, identificando el fenotipo como mecanismo para poder observar los síntomas.

Categoría 2. Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor (grupo 1)

Grupo 1 (recomendación escrita): *[...] Las proteínas son las que intervienen en la expresión de los caracteres que determinarán el aspecto del individuo, es decir, su fenotipo. Además, puesto que es el proceso por el cual la información genética (en este caso una enfermedad que provoca la muerte de los cerdos) se expresa en cada uno de los individuos (es decir, en sus fenotipos). Además, los factores ambientales –a) largas horas de transporte y sol, b) gran cantidad de animales acumulados en el mismo transporte– influirán en que los cerdos más débiles genéticamente enfermen o sufran síndromes de estrés, lo que causará su muerte.*

La respuesta de este grupo se centra en explicar el papel de las proteínas en la expresión de los genes. Los estudiantes hacen referencia a factores ambientales relacionados con el transporte y a su influencia en los cerdos más «débiles genéticamente». Es decir, aquellos portadores de la mutación que favorece la aparición de la enfermedad. Identifican los factores ambientales y genéticos como causas de la aparición de la enfermedad, pero no son capaces de elaborar una explicación detallada de cómo interaccionan y enfatizan además el papel de los genes. Otro aspecto destacable es que identifican las mutaciones como una debilidad, un rasgo perjudicial.

Categoría 3. Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo (grupo 5)

Grupo 5 (recomendación escrita): *Sí [puede ser aplicable a esta situación] porque algunas de las hembras progenitoras tienen un gen patógeno que provoca un defecto en la actividad muscular de los cerdos que, con el aporte del estrés en los viajes al criadero, provoca la muerte súbita.*

Este grupo es capaz de identificar la influencia del ambiente y los genes y explica las muertes de los cerdos según una interacción entre ambos factores.

Resultados 2. Crítica del alumnado a un modelo determinista

El análisis de la segunda pregunta atiende a las dos últimas partes de la actividad, pero en este caso nos centramos en el discurso oral de los cinco grupos. Pretendemos conocer en qué medida el alumnado se opone o critica el modelo determinista presentado, ya que en las respuestas escritas no nos permiten conocer este aspecto. El análisis muestra que cuatro de los cinco grupos no se oponen al modelo, frente a un único grupo que se opone a este (grupo 4). Se muestran ejemplos de las distintas categorías.

Oposición inicial al modelo: incluye la discusión del grupo 4, que se opone al modelo inicialmente, indicando de manera explícita que este no es válido para explicar la mortalidad de los cerdos. Sin embargo, al final del debate deciden adoptarlo como válido.

Grupo 4

Carla: Es que yo no le veo relación con el fenotipo [con la enfermedad], se la veo con el genotipo, pero con el fenotipo no.

Carme: Hombre, sí, porque cuanto más rubio o más oscuro.

Cosme: ¿Y eso qué tiene que ver?

Carla: Claro, ¿y eso qué tiene que ver con la enfermedad? El aspecto físico lo tienen igual.

Carme: Porque está más degradado.

Cosme: Lo que tiene que ver es el aspecto genético.

[...]

Carla: *No sería aplicable para esta situación*, ya que la información genética, junto con sus posibles fallos y enfermedades, pon aquí coma, coma, están relacionados con el genotipo y no con el fenotipo; pero a través del fenotipo percibimos los síntomas de la enfermedad genética. Y ya no sé qué más, así.

[...]

Carla: Si decimos que no [que el modelo no sería aplicable a esta situación] y después que sí... Sí pon que sí.

En el ejemplo mostrado, vemos que Carla dice explícitamente que no pueden aplicar el modelo determinista a la situación de la alta mortandad de cerdos. Sin embargo, la justificación que construye muestra confusión a la hora de relacionar el genotipo con el fenotipo. Este grupo identifica que la enfermedad está en los genes, relacionándola con el genotipo. Identifican el fenotipo como el vehículo que les permite observar los síntomas de la enfermedad, de tal modo que finalmente adoptan el modelo como válido. De este modo, aunque la narrativa empezaba con un modelo interaccionista, termina con un modelo determinista, como muestra la respuesta final escrita recogida en la pregunta de investigación 1.

No oposición al modelo: incluye a los cuatro grupos restantes en cuya discusión se adopta el modelo determinista como válido, aunque con diferencias que se agrupan en las dos subcategorías presentadas a continuación.

«*Adoptar el modelo sin cambios*»: incluye los grupos 3 y 2. Aplican el modelo determinista sin oponerse ni introducir factores ambientales a la explicación sobre el desarrollo de la enfermedad.

Grupo 3

Berta: *Sí, sería aplicable porque, dependiendo de la información genética, un cerdo tendrá mayor o menor desarrollo muscular.*

En el ejemplo anterior, la alumna de este grupo afirma que el modelo sería aplicable y desarrolla una breve explicación.

Grupo 2

Carola: El ARN.

Carlos: Sí.

Carola: Hay diferentes.

Carlos: Transferente, traductor...

Carola: ¿Y qué más?

Carlos: Ribosómico.

Carola: Pero es que para poner que pasaría a los ribosomas que pasaría a las proteínas.

Carlos: ¿No dices que se transforma en ARN? El ADN se duplica en ARN... Ah, vale, ya lo has puesto.

Carola: ¿Que acabaría en los ribosomas dónde?

Carlos: Se convertiría en...

Carola: En proteínas.

Este grupo se centra en describir el modelo presentado incluyendo datos como los tipos de ARN que pueden estar relacionados con el proceso de expresión de los genes. No mencionan factores ambientales relacionados con el desarrollo de la enfermedad.

«Adoptar el modelo introduciendo cambios»: los grupos 1 y 5 introducen en su explicación información ambiental sin oponerse o contradecir el modelo determinista, como muestran los ejemplos que aparecen a continuación.

Grupo 1

Profesor: Se trata de relacionar esto con nuestra enfermedad, entonces... dónde está esa, dónde se sitúa, que moléculas dan esa enfermedad... que provoca tal...

Ana: Es que esto básicamente ya lo explicamos aquí, porque explicamos el proceso de paso de ADN.

Profesor: ¿Y la mortalidad está solamente influida genéticamente o también...?

Ana: Por las horas de transporte.

Anxo: Se ve incrementado con eso. Se ve incrementado el fenotipo por determinadas situaciones medioambientales.

Este grupo se centra en un principio en explicar el proceso molecular de expresión de los genes y, a continuación, introduce factores ambientales relacionados con el transporte. Para ellos el fenotipo «se ve incrementado» con estos factores, es decir, los síntomas de la enfermedad.

Grupo 5

Elías: Proceso de duplicación del ADN para la posterior formación de proteínas.

Esteban: Si el fenotipo es lo que no entiendo yo. ¿No era esto de los genes recesivos no recesivos?

Elías: No, eso era el fenotipo.

Esteban: Entonces, ¿el fenotipo qué era?

[...]

Esteban: En estas hembras puede ser que sea dominante el carácter, el gen.

Elías: Pero si estás considerando a todas las hembras ya no te sirve.

Esteban: Estamos considerando algunas de las hembras progenitoras.

Elías: Claro, lo haces en base a todo. ¿No?

Esteban: No, algunas, estamos considerando estas, que son las que tienen problemas genéticos; las otras no tienen problema genético.

Elías: Ponemos gen patógeno.

Esteban: Que provoca, eh, un defecto en la actividad muscular de los cerdos que, espera, déjame pensar, que con el aporte de estrés en los viajes al criadero provoca la muerte súbita.

El grupo 5 explica en un primer momento de forma breve el proceso de expresión de los genes. El análisis de las interacciones muestra que tienen dificultades para relacionar el genotipo con el fenotipo. Elías pregunta qué es el fenotipo y Esteban lo relaciona con la información genética, es decir, con el genotipo. La discusión no llega a una conclusión clara sobre el significado de fenotipo, que, en cualquier caso, no lo relacionan en ningún momento con la enfermedad. Finalmente, incorporan el dato del estrés a la explicación de cómo se desarrolla la enfermedad. Se centran en las hembras que tienen el «gen patógeno» y descartan incluir en la explicación al resto de hembras. Para ellos solo las hembras con el «gen patógeno» realizan la expresión de los genes, lo que muestra las dificultades para entender el concepto de gen con diferentes alelos y relacionar este con el fenotipo.

A modo de resumen, la tabla 2 muestra los resultados de ambas preguntas, donde se puede observar que al analizar el discurso oral y escrito encontramos que el grupo 4 durante el discurso es el único grupo que inicialmente se opone a él, pero termina por aceptarlo.

Tabla 2.
Comparación de los resultados de las dos preguntas de investigación

<i>Pregunta de investigación</i>	<i>Categoría</i>	<i>Grupos</i>	
1 (Análisis del discurso escrito)	1 Los genes son los únicos responsables del fenotipo	2, 3, 4	
	2 Tanto los genes como el ambiente influyen en el fenotipo, pero los genes tienen un papel mayor	1	
	3 Los genes y el ambiente influyen igualmente en el fenotipo	5	
2 (Análisis del discurso oral)	Oposición inicial al modelo	4	
	No oposición al modelo	Adopción sin cambios	3, 2
		Adopción con cambios	1, 5

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

La tarea analizada en este artículo presenta un problema relacionado con una enfermedad animal con componente genético en cuyo desarrollo influyen factores ambientales fácilmente reconocibles para el alumnado. Se trata de un diseño que parte de investigaciones previas sobre el modelo de expresión de los genes, que ponen de relieve la necesidad de explorar nuevos contextos que faciliten la transferencia de este modelo y una mejor comprensión de las relaciones fenotipo-genotipo (Kampourakis, 2017; Jamieson y Radick, 2017), así como el abordaje explícito del determinismo (Jiménez-Aleixandre, 2014). El determinismo constituye un problema que afecta a la enseñanza de genética, con implicaciones éticas, políticas y sociales (Shostak, Freese, Link y Phelan, 2009). Los deterministas biológicos defienden la idea de que existen diferencias de aptitud no solo entre los individuos, sino también entre grupos humanos que explican su éxito o fracaso social y económico. En el ámbito de la salud, autores como Castéra, Bruguere y Clément (2008) destacan la presencia del determinismo en los libros de texto para explicar enfermedades con componente genético. El determinismo puede ser utilizado como justificación científica a la aparición de determinadas enfermedades, así como su relación con las «razas» (Puig y Jiménez Aleixandre, 2015). Un ejemplo son algunas manifestaciones y la difusión de noticias relacionadas con el origen de la actual pandemia por la COVID-19. Desde el ámbito político, algunos gobernantes atribuyeron la propagación de este virus a la población china, denominando el coronavirus «gripe china».

Este estudio nos ha permitido identificar las posiciones del alumnado y su capacidad crítica con relación al determinismo en el abordaje de una enfermedad animal. Los resultados de la primera pre-

gunta de investigación muestran que los estudiantes son capaces de elaborar una recomendación por escrito para disminuir la mortalidad de cerdos y que, en este contexto, los cinco grupos presentan una posición interaccionista. Todos basan sus recomendaciones en datos relacionados con los genes y el ambiente. Sin embargo, estas posiciones varían en algunos grupos al pedirles que evalúen un modelo determinista y su posible validez en este contexto. Tres grupos reflejan aquí una posición determinista frente a la enfermedad y hacen referencia exclusivamente a los factores genéticos para explicar su desarrollo; y un cuarto grupo atribuye mayor importancia a los genes frente a los factores ambientales. Entendemos que al alumnado le podría plantear más dificultades un contexto de evaluación y crítica que de construcción de argumentos, como señala Ford (2008), y que esto podría afectar a su vez a su posición frente al determinismo. El contexto de crítica o evaluación implica en algunos casos analizar datos o pruebas, así como relacionarlos con la teoría pertinente, mientras que la construcción de argumentos requiere coordinar los datos con las conclusiones (Jiménez Aleixandre, Bravo Torija y Puig, 2009). Siendo uno de los objetivos de la enseñanza de las ciencias la construcción del conocimiento, entendemos la crítica como la construcción de argumentos como prácticas necesarias. Los resultados de este estudio sugieren la necesidad de promover en el aula no solo la aplicación del modelo de expresión de los genes para explicar enfermedades con componente genético, sino también la evaluación de explicaciones deterministas que pretenden explicarlas. Identificar por qué un modelo determinista es incorrecto basándose en las pruebas podría resultar clave para vencer el determinismo en las aulas.

Los resultados de la segunda pregunta indican que los estudiantes no son capaces de criticar el modelo determinista presentado. Un grupo se opone inicialmente al modelo, sin embargo, a medida que avanzan en una explicación terminan aceptándolo. Los restantes cuatro grupos aceptan el modelo, aunque en las explicaciones de dos grupos se incorporan factores ambientales sin relacionarlos con los genes, lo que da cuenta de las dificultades para evaluar críticamente un modelo. Este resultado coincide con los de un estudio previo sobre el modelo de expresión de los genes (Puig et al., 2017), en el que comprobamos que las operaciones de oposición o crítica son menos frecuentes que otras operaciones de argumentación como la del uso de datos.

Además, el análisis de ambas preguntas de investigación permite detectar dificultades por parte del alumnado para relacionar el genotipo con el fenotipo, al igual que estudios de aula anteriores (Lewis y Kattmann, 2004). De acuerdo con Knippels (2002), establecer conexiones entre los diferentes niveles de organización biológica resulta de gran complejidad para el alumnado. Parte de los participantes de nuestro estudio entienden el fenotipo como el mecanismo que permite detectar los síntomas de la enfermedad, en lugar de su desarrollo. Al igual que en el trabajo de Marbach-Ad (2001), los estudiantes no son capaces de relacionar el genotipo con el fenotipo, es decir, el gen con la característica fenotípica cuando se les pide, en este caso explicar una enfermedad con componente genético. Además, tienen dificultades para relacionar los genes con las proteínas (Freidenreich et al., 2011; Gericke y Wahlberg, 2013). Los estudiantes son capaces de indicar diferentes tipos de ARN involucrados en la expresión de los genes, sin embargo, muestran cierta confusión acerca del papel que desempeña la proteína en el desarrollo de la enfermedad. Marbach-Ad y Stavy (2000) sugieren que el hecho de que la proteína sea una entidad que no se puede visualizar a simple vista puede dificultar la comprensión del papel que esta ejerce. Esta cuestión, junto con el hecho de que el fenotipo no sea fácilmente identificable, podría explicar los resultados obtenidos. Elegir una enfermedad con un fenotipo más reconocible sería recomendable en futuras implementaciones de cara a ayudar al alumnado a relacionar los diferentes niveles de organización biológica en la expresión de los genes. Además, de acuerdo con Duncan, Choi, Castro-Faix y Vaver (2017), sería importante hacer explícitos estos conocimientos para facilitar la comprensión de las relaciones entre el genotipo y el fenotipo.

El análisis de las posiciones frente al determinismo sugiere promover el uso de tareas basadas en el currículo Weldoniano, que se basa en introducir la genética con ideas de interacción entre genes y entre

genes y ambiente. Un estudio en el que se compara la implementación del currículum Weldoniano y Mendeliano muestra que el alumnado participante desarrolla, en el primer caso, menos explicaciones deterministas (Jamieson y Radick, 2017). Introducir tareas que impliquen el análisis de datos relacionados con factores ambientales y genéticos que den lugar a la construcción de explicaciones interaccionistas puede contribuir a disminuir la aparición de ideas deterministas. Además, es necesario generar contextos de evaluación del determinismo en el aula que permitan practicar la crítica argumentada (Ford, 2008). La enseñanza de genética en temas de salud se enfrenta a desafíos relativos a la era de la posverdad, como el auge de las noticias falsas que apoyan explicaciones deterministas (Keller, 2009) y el uso de pseudoterapias.

Existen una serie de limitaciones que deben considerarse. Al tratarse de un estudio de caso, los resultados obtenidos no son generalizables. Además, el propio diseño de la tarea limita la interpretación de los resultados. El contexto escogido es muy concreto y se centra en una única enfermedad con componente genético que no presenta un fenotipo visible. Proponer un fenotipo más fácilmente reconocible podría ayudar al alumnado a establecer una relación entre el fenotipo y el genotipo. Además, el desarrollo de explicaciones deterministas puede verse afectado por experiencias y valores personales (Castéra y Clément, 2014; Carver et al., 2017), por lo que, si se hubiera escogido otra característica fenotípica o contexto, el resultado podría haber sido diferente.

Estas limitaciones nos han llevado a seguir investigando sobre los procesos de evaluación y crítica en la era de la posverdad, y justifican la necesidad de realizar estudios que desvelen los principales problemas a los que enfrentarse en la enseñanza de genética y enfermedades en este nuevo contexto que se nos presenta.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades – Agencia Estatal de Investigación/ Proyecto ESPIGA («Promoviendo el Desarrollo del Pensamiento Crítico y de las dimensiones de Implicación Cognitiva y Emocional de los desempeños Epistémicos en las Clases de Ciencias en la Era de la Posverdad»), referencia PGC2018-096581-B-C22. A los revisores, al alumnado y al profesor participante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ageitos, N., Puig, B. y Calvo-Peña, X. (2017). Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97.
https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i1.07
- Aivelo T. y Uitto, A. (2015). Genetic determinism in the Finnish upper secondary school biology textbooks. *Nordic Studies in Science Education*, 11(2), 139-152.
<https://doi.org/10.5617/nordina.2042>.
- 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. (2011). Classroom communities' adaptations of the practice of scientific argumentation. *Science Education*, 95(2), 191-216.
<https://doi.org/10.1002/sce.20420>
- Caballero Armenta, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las Ciencias*, 26(2), 227-244.

- Carver, R. B., Castéra J., Gericke, N., Evangelista, N. A. y El-Hani, C. N. (2017). Young Adults' belief in genetic determinism, and knowledge and attitudes towards modern genetics and genomics: the PUGGS questionnaire. *PLoS One*, *12*(1).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169808>
- Castéra, J., Brugiére, C. y Clément, P. (2008). Genetic diseases and genetic determinism models in French secondary school biology textbooks. *Journal of Biological Education*, *42*(2), 53-59.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2008.9656111>
- Castéra, J. y Clément, P. (2014). Teachers' conceptions about genetic determinism of human behaviour: a survey in 23 countries. *Science Education*, *23*, 417-443.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9494-0>
- Castéra, J., Clément, P. y Abrougui, M. (2008). Genetic determinism in school textbooks: A comparative study among sixteen countries. *Science Education International*, *19*(2), 163-184.
- Chapman, R., Likhanov, M., Selita, F., Zakharov, I., Smith-Woolley, E. y Kovas, Y. (2019). New literacy challenge for the twenty-first century: genetic knowledge is poor even among well illustrated. *Journal of Community Genetics*, *10*, 73-84.
<https://doi.org/10.1007/s12687-018-0363-7>
- Donovan, J. y Venville, G. (2014). Blood and Bones: The Influence of the Mass Media on Australian Primary School Children's Understandings of Genes and DNA. *Science & Education*, *23*, 325-360.
<https://doi.org/10.1007/s11191-012-9491-3>
- Dougherty M. J. (2009). Closing the Gap: Inverting the Genetics Curriculum to Ensure an Informed Public. *The American Journal of Human Genetics*, *85*(1), 6-12.
<https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2009.05.010>
- Duncan, R. G., Choi, J., Castro-Faix, M. y Vaver, V. L. (2017). A Study of Two Instructional Sequences Informed by Alternative Learning Progressions in Genetics. *Science & Education*, *26*, 1115-1141.
<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9932-0>
- Duncan, R. G. y Reiser, B. J. (2007). Reasoning across ontologically distinct levels: Students' understandings of molecular genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, *44*(7), 938-959.
<https://doi.org/10.1002/tea.20186>
- Duncan, R. G., Rogat, A. D. y Yarden, A. (2009). A Learning Progression for Deepening Students' Understandings of Modern Genetics Across the 5th-10th Grades. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*(6), 655-674.
<https://doi.org/10.1002/tea.20312>
- Feinstein, N. W., Allen, S. y Jenkins, E. (2013). Outside the pipeline: reimagining science education for nonscientists. *Science*, *340*, 314-317.
<https://doi.org/10.1126/science.1230855>
- Ford, M. (2008). 'Grasp of Practice' as a Reasoning Resource for Inquiry and Nature of Science Understanding. *Science & Education*, *17*, 147-177.
<https://doi.org/10.1007/s11191-006-9045-7>
- Ford, M. (2012). A dialogic account of sense-making in scientific argumentation and reasoning. *Cognition and Instruction*, *30*(3), 207-245.
<https://doi.org/10.1080/07370008.2012.689383>
- Freidenreich, H. B., Duncan, R. G. y Shea, N. A. (2011). Exploring middle school students' understanding of three conceptual models in genetics. *International Journal of Science Education*, *33*(17), 2323-2350.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2010.536997>

- Gee, J. P. (2011). *An introduction to discourse analyses. Theory and method*. UK: Routledge.
- Gericke N., Hagberg M., dos Santos V., Joaquim L. y El-Hani C. (2014). Conceptual Variation or Incoherence? Textbook Discourse on Genes in Six Countries. *Science & Education*, 23(2), 381-416. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9499-8>
- Gericke, N. y Wahlberg, S. (2013) Clusters of concepts in molecular genetics: a study of Swedish upper secondary science students understanding. *Journal of Biological Education*, 47(2), 73-83. <https://doi.org/10.1080/00219266.2012.716785>
- Gilbert, J. K., Osborne, R. J. y Fensham, P. J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66, 623-633. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660412>
- González-Howard, M. y McNeill, K. L. (2017). Variation in how teachers support critique in argumentation discussions. Paper presented at the annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, San Antonio, TX.
- Harding, B., Egan, R., Kannu, P. y MacKenzie, J. (2017). Parents' understanding of genetics and heritability. *Journal of Genetic Counseling*, 26, 541-547. <https://doi.org/10.1007/s10897-016-0021-3>
- Henderson, J. B., MacPherson, A., Osborne, J. y Wild, A. (2015). Beyond construction: Five arguments for the role and value of critique in learning science. *International Journal of Science Education*, 37(10), 1668-1697. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1043598>
- Jamieson, A. y Radick, G. (2017). Genetic Determinism in the Genetics Curriculum. An Exploratory Study of the Effects of Mendelian and Weldonian Emphases. *Science & Education*, 26, 1261-1290. <https://doi.org/10.1007/s11191-017-9900-8>
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez-Aleixandre, M. P. (2014). Determinism and Underdetermination in Genetics: Implications for Students' Engagement in Argumentation and Epistemic Practices. *Science & Education*, 23(2), 465-484. <https://doi.org/10.1080/09500693.2015.1043598>
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo Torija, B. y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a usar y evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.
- Jiménez-Aleixandre, M. P., Bugallo, A. y Duschl, R. (2000). «Doing the Lesson» or «doing science» argument in high school genetics. *Science Education*, 84, 757-792. [https://doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F](https://doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6<757::AID-SCE5>3.0.CO;2-F)
- Kampourakis, K. (2017). *Making Sense of Genes*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keller, E. F. (2009). *Century of the Gene*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Kendler, K. S. (2005). A Gene for.: The Nature of Gene Action in Psychiatric Disorders. *American Journal of Psychiatry*, 162(7), 1243-1252. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.162.7.1243>
- Knippels, M. C. P. J. (2002). *Coping with the abstract and complex nature of genetics in biology education: The yo-yo learning and teaching strategy*. Utrecht: CD-b Press.
- Lehrer R. y Schauble L. (2012). Seeding Evolutionary Thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96, 701-704. <https://doi.org/10.1002/sce.20475>
- Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000). Chromosomes: The missing link-young people's understanding of mitosis, meiosis and fertilization. *Journal of Biological Education*, 34(4), 189-199. <https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655717>

- Lewontin, R. (2000). *The Triple Helix: Gene, Organism, Environment*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Marbach-Ad G (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biology Education*, 35(4), 183-189.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2001.9655775>
- Marbach-Ad G. y Stavy R. (2000). Students cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biology Education*, 34(4), 200-205.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2000.9655718>
- Martínez-Gracia, M. V., Gil-Quílez, M. J. y Osada, J. (2006). Analysis of molecular genetics content in Spanish secondary school textbooks. *Journal of Biological Education*, 40(2), 53-60.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2006.9656014>
- Puig, B., Ageitos, N. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2017). Learning gene expression through modelling and argumentation. A study exploring the connections between the worlds of knowledge. *Science & Education*, 119-122.
<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9943-x>
- Puig, B. y Jiménez-Aleixandre, M. P. (2011). Different music to the same score: teaching about genes, environment, and human performances. En T. D. Sadler (Ed.), *Socioscientific Issues in the Classroom. Teaching, Learning and Research* (pp. 201-238). Nueva York: Springer.
- Puig, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2015). El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 55-65. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.05<http://reure-dc.uca.es>
- Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado, 3 de enero de 2015, 3, 169-546.
- Reinagel, A. y Bray Speth, E. (2016). Beyond the central dogma: model-based learning of how genes determine phenotypes. *CBE Life Science Education*, 15(1).
<https://doi.org/10.1187/cbe.15-04-0105>
- Sadler, T. D. y Fowler, S. R. (2006). A threshold model of content knowledge transfer for socioscientific argumentation. *Science Education*, 90, 986-1004.
<https://doi.org/10.1002/sce.20165>
- Sanmartí, N., Burgos, B. y Nuño, T. (2011). ¿Por qué el alumnado tiene dificultad para utilizar sus conocimientos científicos escolares en situaciones cotidianas? *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 67, 62-69.
- Shostak, S., Freese, J., Link, B. G. y Phelan, J. C. (2009). The politics of the gene: social status and beliefs about genetics for individual outcomes. *Social Psychology Quarterly*, 72(1), 77-93.
<https://doi.org/10.1177/019027250907200107>
- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Empirical refinements of a molecular genetics learning progression: the molecular constructs. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9), 1385-1418.
<https://doi.org/10.1002/tea.21262>
- Zohar, A. y Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-62.
<https://doi.org/10.1002/tea.10008>

The examination of determinism in a genetics activity about an animal disease

Noa Ageitos, Blanca Puig

Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidade de Santiago de Compostela, A Coruña, España

noa.ageitos@edu.xunta.es; blanca.puig@usc.es

This study seeks to explore secondary students discourse while engaging in an argumentation task that requires using data and evaluating a deterministic model of gene expression. This paper aims to examine students written and oral arguments to identify their positions on the model of gene expression and their ability to critically evaluate a deterministic model. Two research questions drive this study: 1) How are the positions of the students in the written discourse when applying and evaluating a model of gene expression to explain an animal disease? and 2) what is the critical capacity shown in the oral discourse of the students to evaluate a deterministic model in this context? The methodological approach of this case study is qualitative and draws on discourse analysis. For the identification of students' views on the model of gene expression a rubric was adapted based on the categories proposed by Puig & Jiménez-Aleixandre (2011).

The results of the first research question show that students were capable of building an interactionist explanation to explain the development of an animal disease, but they had difficulties to critically assess a deterministic model. The analysis shows changes in students' positions regarding determinism throughout the task. Drawing from these results, an educational implication would be to further explore the relationships between deterministic positions and critical thinking in the biology classroom.