

El modelo de expresión de los genes y el determinismo en los libros de texto de ciencias

Blanca Puig¹, María Pilar Jiménez Aleixandre²

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago de Compostela. España. ¹blanca.puig@usc.es, ²marilarj.aleixandre@usc.es

[Recibido en enero de 2014, aceptado en julio de 2014]

Se presentan los resultados de un estudio sobre el modelo de expresión de los genes y el determinismo en una muestra de libros de texto de Biología y Geología de 4º de ESO. Específicamente se analizan cuatro dimensiones: a) la definición de fenotipo; b) los ejemplos de la influencia del ambiente en la expresión de los genes; c) las preguntas y actividades que requieren aplicar la noción de fenotipo; d) referencias al determinismo o a la noción de ‘razas’ humanas. Los resultados muestran que sólo un libro propone actividades de aplicación del modelo de expresión de los genes. En ninguno de los libros analizados se aborda explícitamente el determinismo biológico. Sugerimos la necesidad de que los textos incorporen la aplicación del modelo de expresión de los genes de modo que se promueva el desarrollo del pensamiento crítico sobre el determinismo por el alumnado.

Palabras clave: Modelo de expresión de los genes; fenotipo, determinismo; pensamiento crítico; libros de texto.

The model of gene expression and determinism in science textbooks

This paper presents the results of a study about the model of gene expression and determinism in 10th grade Biology and Geology textbooks. Four dimensions are analyzed: a) the definition of phenotype; b) examples of the influence of the environment on gene expression; c) questions and activities requiring the application of the phenotype notion; d) mentions to determinism or “race”. The findings show that only one of the textbooks in the sample provides activities about the application of the model of gene expression. The issue of biological determinism is not explicitly addressed in any of the textbooks. We suggest that textbooks need to include activities that promote the application of the model of gene expression and favour the development of critical thinking about determinism.

Keywords: Model of gene expression; phenotype, determinism; critical thinking; textbooks.

Introducción

El modelo de expresión de los genes forma parte de los contenidos de genética de Biología y Geología de 4º de ESO, específicamente de los que hacen referencia a la “Herencia y la transmisión de caracteres” en el currículo (MEC, 2007). El modelo de referencia científico explica la manifestación de determinados caracteres fenotípicos como resultado de una interacción entre el ambiente y los genes. La comprensión de este modelo por parte del alumnado es importante, entre otras razones, para poder evaluar de forma crítica posiciones deterministas y evitar que la genética sea malinterpretada como estar ‘predestinado a’. En este trabajo entendemos por pensamiento crítico la capacidad de desarrollar una opinión independiente, de reflexionar sobre la realidad y participar en ella (Jiménez Aleixandre, 2010).

A pesar de la importancia de este modelo, el currículo de secundaria le dedica poco espacio, ya que el fenotipo se menciona únicamente en el criterio de evaluación referente a la capacidad del alumnado para distinguir los conceptos básicos de genética y para resolver problemas de genética mendeliana:

“Se pretende evaluar si el alumnado es capaz de diferenciar los conceptos básicos de genética y resolver problemas sencillos sobre la transmisión de caracteres hereditarios calculando porcentajes genotípicos y fenotípicos de los descendientes (...)” (MEC, 2007, p.701)

La perspectiva determinista ha sido descartada por la biología, sin embargo sigue estando presente en la sociedad. Esta visión aparece reflejada en aquellos discursos públicos que utilizan el concepto de ‘razas’ para atribuir diferencias esenciales y establecer jerarquías entre grupos humanos. En el currículo no se menciona la cuestión del determinismo dentro de las implicaciones sociales de la genética, que se centran exclusivamente en los beneficios y riesgos de la biotecnología. En este trabajo examinamos cómo se presenta el modelo de expresión de los genes en los libros de texto de mayor difusión en las aulas de ciencias de secundaria, y si se aborda o no, y en qué modo la cuestión del determinismo.

Marco teórico y objetivos

El modelo de expresión de los genes en la enseñanza de la genética

La enseñanza de la genética lleva mucho tiempo preocupando a docentes e investigadores en didáctica de ciencias. Constituye un campo de conocimiento de gran interés en la enseñanza de la biología. Distintas investigaciones señalan que la genética es una de las áreas que presentan mayores dificultades para el alumnado (Banet y Ayuso, 1995; Banet, Ayuso y Abellán, 1996; Bugallo, 1995; Lewis y Wood-Robinson, 2000; Venville y Dawson, 2010, entre otros). En relación a los trabajos que abordan el modelo de expresión de los genes, existen estudios que muestran las dificultades del alumnado para entender las relaciones entre fenotipo y genotipo (Knippels, Waarloo y Boersma, 2005; Tsui y Treagust, 2007; Venville y Donovan, 2005), pero en ninguno de ellos se aborda de forma específica el determinismo biológico. La mayoría de los estudios hacen hincapié en el papel de las proteínas y en la importancia de esta función para comprender las relaciones entre genotipo-fenotipo. Por ejemplo, Duncan (2007) señala que la capacidad para explicar las relaciones genotipo-fenotipo depende de una adecuada comprensión de las proteínas que regulan la expresión de los genes. Lewis y Kattman (2004) señalan las dificultades del alumnado para diferenciar genotipo y fenotipo y, como consecuencia, para considerar los mecanismos moleculares que explican los fenómenos genéticos. Duncan, Rogat y Yarden (2009), en su propuesta de progresión de aprendizaje (*learning progression*) en genética, señalan que la comprensión de las interacciones entre genes y ambiente por parte del alumnado es una cuestión central, que sin embargo no aparece recogida en los currículos de genética. Estos autores sugieren que si los estudiantes desconocen los mecanismos que explican la relación entre los genes y determinadas características, y el nivel de organización especificado por la información genética podrían manifestarse posiciones deterministas en mayor medida. Por nuestra parte, sugerimos que las representaciones deterministas que aparecen en los medios de comunicación, y en el discurso social, pueden influir en el aprendizaje del modelo de expresión de los genes.

Los libros de texto son los materiales curriculares más utilizados por el profesorado y analizar cómo se presenta el modelo de expresión y, si existe o no, un tratamiento específico de las posiciones deterministas, ayuda a conocer mejor la enseñanza de este modelo. Esto permite abordar mejor las dificultades del alumnado para comprenderlo. Aunque la genética es uno de los campos de conocimiento más estudiados en didáctica de las ciencias y el racismo una causa de preocupación mundial, sólo hemos localizado un reducido número de trabajos sobre el determinismo (Castéra *et al.*, 2008; Ley, Selles y Ferreira, 2008; Molinatti, 2007; Willinsky, 1998a).

La expresión de los genes y la perspectiva determinista

El determinismo biológico es una perspectiva que contempla las capacidades y los desempeños de las personas como determinadas exclusivamente por sus genes. En su forma actual mantiene que la inteligencia, las destrezas físicas, deportivas, artísticas, y otras, dependen exclusivamente de los genes.

Un principio fundamental de la genética del desarrollo es que “todo organismo es el resultado de una interacción única entre los genes y las secuencias ambientales, modulada por posibilidades fortuitas de crecimiento y división celular” (Lewontin, 2000, p.33). Es decir, según el consenso mayoritario de la biología actual, no estamos determinados por los genes, sino que en el desarrollo se producen complejas interacciones entre los genes, los factores de regulación del propio ADN y diversos factores ambientales. El desarrollo de un organismo no depende sólo de los materiales heredados de los padres, sino en general de factores ambientales, entre los que se incluyen por ejemplo la nutrición, la educación y el ambiente en el que los individuos se desarrollan. En otras palabras, el fenotipo no es una mera expresión de la información genética, sino el resultado de esta información y el ambiente, como muestra el aumento de estatura humana por la nutrición. En resumen, la causalidad en genética no es simple y unívoca, sino que hay que entenderla en términos de una serie de interacciones entre distintos factores causales (Jiménez Aleixandre, 2014). La perspectiva determinista sostiene que existen diferencias de aptitud no sólo entre los individuos, sino entre grupos humanos, y que estas diferencias explican su éxito o fracaso social y económico. El determinismo actual afirma por ejemplo que las supuestas diferencias de inteligencia entre negros y blancos son debidas exclusivamente a los genes (Gould, 2007; Herrnstein y Murray, 1994; Lalueza, 2002). La genética confirma la inexistencia de ‘razas’, sobre todo en el sentido jerárquico. La persistencia del concepto de ‘raza’ en el discurso público muestra, como indica Lalueza (2002), que “cuando la comunidad científica crea un paradigma, cuesta mucho rectificarlo, aunque sea la comunidad científica quien lo haga” (p. 20).

El modelo de expresión de los genes y las ‘razas’ en los libros de texto de ciencias

Existen numerosos trabajos de investigación sobre los libros de texto de ciencias naturales en la educación obligatoria (por ejemplo, Urones, Escobar, y Vacas, 2013). El interés por analizar los contenidos y las actividades de los textos se debe a que los textos son, en muchos casos, el recurso principal que guía la actividad del docente. Consideramos que, uno de los obstáculos a la hora de enseñar el modelo de expresión de los genes, es la representación social sobre el concepto de ‘raza’ en el discurso público. Coincidimos con Teun A. van Dijk (1993) en que una persona aprende a ser racista a través del discurso: el de la familia, los libros, y medios de comunicación. Hemos localizado tres trabajos que analizan cómo se presenta el concepto de ‘raza’ en los libros de texto de ciencias. Castéra *et al.* (2008) comparan el determinismo de los libros de texto de Biología de Francia y Finlandia, siendo más frecuente en los textos finlandeses. Willinsky (1998a) analiza los significados de ‘raza’ que aparecen en los textos y los que le atribuyen los docentes de ciencias de Canadá.

El trabajo de Levy, Selles y Ferreira (2008), con un enfoque similar a nuestro estudio, examina la noción de ‘razas’ en los textos de Brasil. Estas autoras identifican ambigüedades científicas en relación a la noción de ‘raza’. Cinco de los seis textos que analizaron abordan la noción de ‘razas’ en los capítulos de evolución humana y genética, y uno relaciona la ‘raza’ con la variación humana. Esta relación, como sugieren las autoras, puede reforzar la idea de que el concepto de raza tiene una base biológica. En este trabajo analizamos cómo se presenta el modelo de expresión de los genes en una muestra de libros de texto de Biología y Geología de España. Las preguntas de investigación son:

1. ¿Cómo se presenta el modelo de expresión de los genes en los libros de texto de mayor difusión en las aulas de secundaria?
2. ¿Abordan los libros de texto la cuestión del determinismo?, ¿cómo?

Pretendemos con ello contribuir al conocimiento acerca de los aspectos que intervienen en la enseñanza-aprendizaje del modelo de expresión de los genes.

Metodología

Muestra

Se seleccionaron cinco libros de texto de Biología y Geología de 4º de ESO, identificados como LT1-LT5, de editoriales de amplia difusión en España de acuerdo con los siguientes criterios: Dos libros, LT1 y LT2, fueron seleccionados por ser utilizados por los cuatro docentes que llevaron a cabo una unidad didáctica de argumentación y uso de pruebas sobre el modelo de expresión de los genes en el marco de la tesis de la primera autora (Puig, 2013). Estos dos libros además han sido publicados por las dos editoriales de mayor penetración en cuanto a libros de texto. A estos libros, se añadieron LT3 y LT5, correspondientes también a editoriales de amplia difusión; y LT4, publicado por la editorial de mayor difusión en Galicia. Las referencias de los textos figuran en el [Anexo 1](#). Aunque en este anexo figuran en gallego, son traducciones de libros disponibles en castellano en otros lugares de España.

Análisis

Nos centramos en el contenido de dos capítulos de genética, *genética molecular* y *genética mendeliana*. En concreto se analizan cuatro dimensiones: a) la definición de fenotipo, b) los ejemplos de la influencia del ambiente en la expresión de los genes, c) las preguntas y actividades que requieren aplicar la noción de fenotipo; d) las referencias al determinismo o a la noción de “razas” humanas. Hay que señalar que se analiza tanto el texto expositivo como las actividades que se proponen. Se realizó un análisis de contenido (Bardin, 1996), estableciendo las categorías en interacción con los datos.

Resultados: el modelo de expresión de los genes en los textos

En este apartado discutimos cómo se presenta el modelo de expresión de los genes en los cinco libros de texto, y si abordan o no la cuestión del determinismo y las ‘razas’, y cómo. En primer lugar se resumen los resultados cuantitativos, y en segundo lugar se discuten los resultados cualitativos.

Resultados cuantitativos

La tabla 1 resume los resultados cuantitativos del análisis de los cinco libros de texto.

Tabla 1. El modelo de expresión de los genes en los libros de texto.

Dimensiones	Libros de texto (N=5)	Nº de ejemplos y actividades
Definición de fenotipo		
- Resultado de la interacción genes-ambiente	4 (LT1, LT2, LT4, LT5)	
- Resultado de la expresión de los genes	1 (LT3)	
Ejemplos de la influencia del ambiente		
- Nº de ejemplos	5 (entre todos los libros)	3 (LT3) 2 (LT1, LT4, LT5) 1 (LT2)
- Desarrollo de los ejemplos		
- <i>Explican la influencia del ambiente en el fenotipo</i>	1 (LT1)	
- <i>No explican la influencia del ambiente en el fenotipo</i>	4 (LT2, LT3, LT4, LT5)	

Tabla 1. El modelo de expresión de los genes en los libros de texto (continuación).

Dimensiones	Libros de texto (N=5)	Nº de ejemplos y actividades
Actividades sobre el modelo de expresión de los genes		
- <i>Requieren aplicar el modelo</i>	1 (LT2) (de 8 actividades)	
- <i>No requieren aplicar el modelo</i>	7 (de 8 actividades)	3 (LT1, LT2) 1 (LT4, LT5)
Referencias al determinismo o a las “razas” humanas	2 (LT2, LT3)	

Resultados cualitativos

a) *Ejemplos de la influencia del ambiente en la expresión de los genes*: dentro de esta dimensión examinamos: a.1) el número de ejemplos, a.2) el desarrollo de los mismos.

a.1) Un libro presenta tres ejemplos (LT3), tres libros (LT1, LT4, LT5) dos, y uno (LT2) un ejemplo. En total, hemos localizado cinco ejemplos distintos en los cinco libros: la estatura humana, el desarrollo muscular, ciertas formas de obesidad, el color de ojos y el color del pelaje en animales (conejo, ratones, gatos). La tabla 2 muestra los ejemplos de cada libro. La estatura es el ejemplo más frecuente, se aborda en cuatro de los cinco libros.

Tabla 2. Ejemplos de los libros de texto.

Ejemplos	Libros de texto
Estatura	LT2, LT3, LT4, LT5
Obesidad	LT3
Desarrollo muscular	LT1, LT3, LT5
Color de ojos	LT4
Color de pelaje de algunos animales	LT1

a.2) El LT1 dedica casi una página al desarrollo de ejemplos de la influencia del ambiente en la expresión de los genes, mientras que el resto de uno (LT2, LT4, LT5) a dos párrafos (LT3). El LT1 incluye un apartado denominado “El efecto del ambiente”, que desarrolla dos ejemplos para explicar la influencia del ambiente en la expresión de los genes: el entrenamiento en el desarrollo muscular y la influencia de la temperatura en el color del pelaje de conejos, ratones y gatos. Los otros cuatro presentan los ejemplos de la tabla 2 cuando abordan la herencia de los caracteres mendelianos, sin embargo, a diferencia del LT1, no destinan un apartado específico a la influencia del ambiente en la expresión de los genes. Hay que destacar que, los ejemplos de estos cuatro textos no incluyen la palabra ‘fenotipo’ dentro de la explicación. A continuación se muestran dos ejemplos: la estatura y el desarrollo muscular, de dos libros distintos:

Estatura:

“[...] La estatura es un carácter heredado, ya que los padres altos suelen tener hijos que también son altos, pero la alimentación influye de forma decisiva en este carácter” (LT2, p.32).

“[...] la estatura es un carácter hereditario pero no hay duda de que la alimentación influye también en la altura alcanzada” (LT3, p.9).

La estatura se explica en ambos textos como un ejemplo de la influencia de los factores ambientales, en particular de la nutrición. Aunque la del LT2 se extiende más para aclarar que se entiende por carácter heredado.

Desarrollo muscular:

“La influencia del ambiente se observa muy bien en los gemelos (individuos con genes idénticos), ya que si, por ejemplo uno entrena levantando pesos (factor ambiental) desarrollará músculos más grandes que su hermano (fenotipo diferente)” (LT1, p.58).

“(...) Pero otros caracteres como por ejemplo el desarrollo muscular debido a un entrenamiento adecuado, ciertas formas de obesidad, son debidas a la influencia de las condiciones de vida” (LT3, p.9)

Los dos libros atribuyen el desarrollo muscular al entrenamiento, aunque sólo el LT1 explica la influencia del ambiente, poniendo como ejemplo dos gemelos con distinto entrenamiento. Entre paréntesis se especifica además la parte de la explicación que hace referencia al genotipo, a los factores ambientales y al fenotipo.

Consideramos que los libros dedican poco espacio para explicar la influencia del ambiente en la expresión de los genes, limitándose cuatro de los cinco textos a poner ejemplos sin desarrollar una explicación de la influencia del ambiente para esos fenotipos concretos.

b) *Actividades y preguntas sobre el modelo de expresión de los genes:*

Se analiza el número de actividades sobre el modelo de expresión de los genes, y de éstas cuáles requieren aplicar el modelo de expresión de los genes. Por actividades entendemos todas las tareas a realizar por el alumnado. La tabla 1 muestra los datos cuantitativos.

Identificamos un total de ocho actividades acerca del modelo de expresión de los genes. De éstas, sólo una en el LT2 requiere entender la influencia del ambiente en la expresión de los genes: *Pueden dos individuos con distinto fenotipo mostrar el mismo genotipo?* (p.55). El resto de actividades o preguntas están relacionadas con la herencia o la transmisión de caracteres. Un ejemplo es:

“¿Crees que los cambios de pelaje debidos al ambiente se transmitirán a la descendencia?” (LT1, p.58).

Cinco son problemas de *genética mendeliana* que requieren usar el cuadro de Punnett, pero no aplicar el modelo de expresión de los genes en distintos contextos. Concordamos con Stewart (1983), que indica que resolver este tipo de problemas no requiere necesariamente una comprensión de los contenidos de genética.

c) *Referencias al determinismo o a las “razas”:* Se examina si existen referencias o no al determinismo y a las ‘razas’ humanas en los libros de texto, y cómo se abordan.

Los resultados muestran que ningún libro trata explícitamente el determinismo biológico, mientras que todos ellos abordan algunas de las implicaciones sociales relacionadas con la biotecnología y la ingeniería genética (organismos transgénicos, clonación, pruebas de ADN, etc.). Dos textos, LT2 y LT3, mencionan las ‘razas’ y el racismo. El LT2 menciona las similitudes genéticas humanas y utiliza este argumento para justificar la falta de una base científica para hablar de “razas” humanas:

‘Los seres humanos somos muy semejantes. El 99.9% de los datos genéticos, son comunes a todas las personas, por lo que no existe base genética para el concepto de “raza”.’ (p.42, comillas en el original).

El LT3 discute tres cuestiones en una sección titulada: “Diversidad y Racismo” en el “Boletín Científico” que aparece al final del tema de Reproducción y Herencia. Primero discute la idea de ‘razas’ como categorías que se utilizaban para clasificar a los seres humanos:

"La observación de personas que viven en diferentes regiones de la Tierra permite apreciar diferencias indiscutibles entre unas y otras. La más evidente de todas es, sin duda el color de la piel, que antiguamente se utilizaba para distinguir tres razas en la especie humana: blanca, negra y amarilla. ¿Significa esto que un individuo es distinto de otro? (...)" (p. 23).

En segundo lugar, hace hincapié en las diferencias individuales entre las personas: "*No existen dos personas totalmente idénticas, aunque tampoco diferentes en todo*". Y en tercero, afirma que no existe una base científica para hablar de "razas" humanas, y que el racismo es un problema social y no científico:

"Algunas personas creen que poner de manifiesto estas diferencias alimenta inevitablemente el odio y el rechazo, y luchan por demostrar que no existe una base científica para dividir en razas a la especie humana. Pero el racismo no es un problema científico (...)" (p. 23).

Hay que destacar que este texto trata el problema de las "razas", aunque no explica que éstas no existen como categorías jerárquicas en sentido biológico ni conecta este problema con el determinismo biológico.

Conclusiones e implicaciones educativas

El análisis de los cinco textos muestra que todos, excepto uno, definen la noción de fenotipo de acuerdo con la perspectiva actual de interacción. Un libro desarrolla un apartado para explicar la influencia del ambiente en la expresión de los genes, presentando dos ejemplos, mientras que el resto se limitan a presentar ejemplos, pero no se desarrollan. Respecto a las actividades de los libros, identificamos ocho tareas sobre el modelo de expresión de los genes, pero sólo una de ellas requiere entender la influencia del ambiente en la expresión de los genes. Como indica Toulmin (1972), sólo entendemos el significado científico de determinados conceptos cuando somos capaces de aplicarlos. Si no solicitamos al alumnado que aplique el modelo de expresión de los genes a determinados contextos, no es posible conocer si realmente entienden este modelo.

Los resultados de una actividad sobre el aumento de estatura en las últimas generaciones, realizada con alumnado de secundaria dentro de una unidad sobre el modelo de expresión de los genes (Puig, Bravo Torija, y Jiménez Aleixandre, 2012), muestran que aunque la estatura es un ejemplo familiar, que está presente en la mayoría de los textos, resulta difícil de entender por una proporción del alumnado. Un 17% de los estudiantes interpretaron el aumento de estatura como una prueba de la evolución, lo que ha llevado a la revisión de la actividad por parte de las investigadoras (Jiménez Aleixandre y Puig, 2013). Relacionamos 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 desde los tiempos de nuestros abuelos es un ejemplo de la evolución (darwinista).

Dada la complejidad del modelo de expresión de los genes, consideramos necesario que los textos dediquen más espacio a explicar la influencia del ambiente mediante ejemplos concretos, e incorporen tareas que requieran que el alumnado movilice sus ideas acerca de la expresión de los genes.

El análisis del determinismo muestra que los libros de texto no abordan esta cuestión de manera explícita. Dos libros mencionan las "razas", aunque sin relacionar éstas con el modelo de expresión de los genes. Podemos concluir que existe coherencia entre el currículo de ciencias de secundaria (MEC, 2007) y los libros de texto en la ausencia de tratamiento del determinismo dentro de las implicaciones sociales de la genética. Coincidimos con Willinsky (1998b), cuando señala que:

“en las aulas de ciencias de secundaria la construcción científica de ‘raza’ está al mismo tiempo oculta y presente. Está oculta, por un currículo que no reconoce la ‘raza’ una categoría de distinción humana. Sin embargo, la categoría de ‘raza’ está presente en la vida de los estudiantes” (p. 163).

Podemos concluir que los libros de texto, utilizados como recurso principal en el aula proporcionan al docente y al alumnado definiciones adecuadas sobre el fenotipo, excepto en uno de los textos. Sin embargo, no resultan suficientes las actividades de aplicación del modelo de expresión de los genes. Sugerimos la necesidad de que los textos incorporen actividades de la aplicación del modelo de expresión de los genes, a fin de promover el desarrollo del pensamiento crítico sobre el determinismo por el alumnado.

Agradecimientos

Al proyecto EDU2012-38022-C02-01, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España, del que este trabajo forma parte.

Referencias bibliográficas

- Banet, E., y Ayuso, E. (1995). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: I. Contenidos de enseñanza y conocimientos de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (2), 137-153.
- Banet, E., Ayuso, E., y Abellán, T. (1996). Introducción a la genética en la enseñanza secundaria y bachillerato: II. ¿Resolución de problemas o realización de ejercicios? *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), 127-142.
- Bardín, L. (1996). El análisis de contenido. 2º edición. Madrid: Akal
- Bugallo Rodríguez, A. (1995). La didáctica de la genética: revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 13 (3), 379-385.
- Castéra, J., Clément, P., Abrougui, M., Nisiforou, O., Turcinaviciene, J.; Sarapuu, T.; Agorram, B., Calado, F., Bogner, F., Carvalho, G. (2008). Genetic Determinism in school textbooks: a comparative study conducted among sixteen countries. *Science Education International*, 19 (2), 163-184.
- Diehl, D., y Donnelly, M. P. (2008). *Inventors and Impostors. How History forgot the true heroes of invention and discovery*. Richmond: Crimson.
- Duncan, R. G. (2007). The role of domain-specific knowledge in generative reasoning about complicated multilevel phenomena. *Cognition and Instruction*, 25 (4), 271-336.
- 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.
- Herrnstein, R. J., y Murray, C. (1994). *The Bell curve. Intelligence and class structure in American life*. New York: The Free Press.
- 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.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P. y Puig, B. (2013). El papel de la argumentación en la clase de ciencias: Llevando a cabo prácticas científicas. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 75, 85-90.

- Knippels M. C. P. J., Waarloo, A. J., y Boersma, K. Th. (2005). Design criteria for learning and teaching genetics. *Journal of Biological Education*, 39 (3), 109–112.
- Lalueza, C. (2002). *Razas, racismo y diversidad. La ciencia un arma contra el racismo*. Barcelona: Algar.
- Levy, R. S., Selles, S. E., y Ferreira, M. S. (2008). Examining the ambiguities of the human race concept in biology textbooks: tensions between knowledge and values expressed in school knowledge. En M. Hamman (Eds.), *Biology in Context: learning and teaching for the twenty-first century*, (pp. 338-346). University of London. London.
- Lewis, J., y Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26 (2), 195–206.
- Lewis, J., y Wood Robinson C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22 (2), 177–195.
- Lewontin, R. C. (2000). *A doutrina do ADN. A BioloXia como ideoloXia*. Edições Laiovento.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC). (2007). *Real Decreto 1631/2006 Enseñanzas Mínimas Educación Secundaria Obligatoria*. Boletín Oficial del Estado, 5-1, 677-773.
- Molinatti, G. (2007). *Médiation des sciences du cerveau. Approche didactique et communicationnelle de rencontres entre neuroscientifiques et lycéens*. Doctoral dissertation. Paris, Museum National d'Histoire Naturelle.
- Puig, B. (2013). *O desempeño da competencia de uso de probas sobre a expresión dos xenes en secundaria*. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Puig, B., Bravo Torija, B., y Jiménez Aleixandre, M.P. (2012). Argumentación en el aula: Dos unidades *didácticas*. Santiago de Compostela: Danú. Proyecto S-TEAM. [hay versiones en gallego, castellano e inglés].
- Stewart, J. (1983). Student problem solving in high school genetics. *Science Education*, 67, 523-540.
- Toulmin, S. (1972). *Human understanding: Vol. 1. The collective use and development of concepts*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tsui, C. Y., y Treagust, D. F. (2007). Understanding genetics: analysis of secondary students' conceptual status. *Journal of Research in Science Teaching*, 44 (2), 205-235
- Urones, C.; Escobar, B., y Vacas, J. M. (2013). Las plantas en los libros de conocimiento del medio. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (3), 328-352.
- van Dijk, T. A. (2003). *Racismo y discurso de las élites*. Barcelona: Gedisa.
- Venville, G., y Dawson, V. (2010). The impact of an argumentation intervention on Grade 10 students' conceptual understanding of genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (8), 952-977.
- Venville, G., y Donovan, J. (2005). Searching for clarity to teach the complexity of the gene concept. *Teaching Science*, 51 (3), 20-2.
- Willinsky, J. (1998a). The obscured and present meaning of race in science education. En D. A. Roberts e L. Ostman, (Eds.), *Problems of Meaning in Science Curriculum. Ways of knowing in science series*, chapter 6 (pp. 73-85). New York: Teachers College, Columbia University.

Willinsky, J. (1998b). *Learning to divide the world. Educationat Empire's End*. Minneapolis: University of Minnesota Press.

Anexo 1. Libros de texto

- LT1: Balibrea, S., Álvarez, A., Sáez, A., Reyes, M., y Vílchez, J. M. (2008). *4º Educación Secundaria. Biología e Xeología*. Madrid: Anaya.
- LT2: Madrid Rangel, M. A., Meléndez Hevia, I., Blanco Kroeger, M., Vidal- Abarca, E., y González Serén, X. A. (2008). *Biología e Xeología. Proxecto A casa do saber*. Barcelona: Obradoiro Santillana.
- LT3: Pedrinaci, E., y Gil, C. (2003). *Biología e Xeología. Proxecto Ecosfera*. Madrid: Ediciones Sm.
- LT4: Panadero Cuartero, Juan E., Lozano Montero, A., Olazábal Flórez, A., y Fuente Flórez, R., Argüello González, J. (2008). *Biología e Xeología. 4º ESO*. Edicións Xerais.
- LT5: Chapela Otero, C. (2008). *Biología y Geología. 4º ESO*. Madrid: MacGraw-Hill.