

¿Epigenética en enseñanza secundaria? Elaboración y puesta en práctica de una propuesta de enseñanza-aprendizaje sobre epigenética con estudiantes de 4º de ESO

¹Ana María Rubio Abellán y ²G. Enrique Ayuso Fernández

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Murcia. España. ¹anamariarubioabellan@gmail.com, ²ayuso@um.es

Resumen: Los conocimientos sobre genética tienen gran importancia en el mundo actual por sus implicaciones para un mejor conocimiento de la biología, así como por su trascendencia en los avances biosanitarios; aspectos que justifican su presencia en los currículos escolares. Además, las investigaciones en genética incorporan nuevos conocimientos como los de epigenética, que modifican la comprensión de los mecanismos de la regulación de la expresión genética y que suscitan el interrogante de su incorporación en los niveles educativos obligatorios. Para abordar este problema, hemos realizado una investigación en 4º de ESO, centrada en conocer las dificultades de un grupo de estudiantes para comprender los aspectos de expresión genética y el diseño y puesta en práctica de una secuencia de enseñanza y aprendizaje que aborde la epigenética. Para esto, se ha elaborado un cuestionario inicial y una propuesta educativa que pretende mejorar la comprensión de estos temas. Los resultados indican que una propuesta en 4º de la ESO que incorpore aspectos más básicos de la epigenética puede promover la comprensión de ésta, así como, ayudar a superar las dificultades de los estudiantes para comprender los aspectos básicos de la expresión genética.

Palabras clave: Expresión genética; epigenética; dificultades estudiantes; secuencia de enseñanza-aprendizaje.

Title: Epigenetics in secondary education? Development and implementation of a proposal for a teaching-learning sequence on epigenetics with students in the 4th year of ESO.

Abstract: Knowledge about genetics is of great importance in our current world due to its implications for a better understanding of biology, as well as its significant relevance in biosanitary advances. These considerations justify its inclusion in school curricula. Furthermore, genetic research continues to unveil new insights, such as those in epigenetics, which alter our understanding of the mechanisms governing gene expression and raise questions about their integration into mandatory educational levels. To address this issue, we conducted a study in 4th year of Compulsory Secondary Education, aimed at assessing the challenges faced by a group of students in comprehending aspects of gene expression and developing and implementing a teaching and learning sequence that covers epigenetics. To accomplish this, an initial questionnaire was devised, along with an educational proposal designed to enhance understanding of these topics. The findings suggest that introducing fundamental aspects of epigenetics in

the 10th grade can facilitate comprehension and assist students in overcoming difficulties related to basic gene expression concepts.

Keywords: Gene expression, epigenetics, student difficulties, teaching-learning sequence.

Introducción

En estos últimos años, los estudios en genética se han visto sometidos a un notable aumento de interés por parte de la población, que ha dado lugar a un enorme fomento del progreso en este ámbito. Nuestra vida está, en mayor o menor medida, relacionada con esta disciplina de la biología y con las aplicaciones biotecnológicas que se derivan de ella, por lo que muchos de los debates sociales en el ámbito de la sanidad, la industria o la alimentación se encuentran directamente relacionados con el campo de la genética (Caballero, 2008).

Como es conocido, la genética estudia los mecanismos moleculares que tienen lugar en los seres vivos para transmitir la herencia biológica de generación en generación y cómo esta información, contenida en los genes, se expresa en cada individuo. Las investigaciones en genética no solo profundizan en el mejor conocimiento de tales mecanismos, sino también, evolucionan hacia nuevas disciplinas, como la epigenética, que permiten ampliar y profundizar aún más el conocimiento y el entendimiento de estos procesos.

En este sentido, la epigenética, fue definida como "los cambios que se dan en el fenotipo, sin presentar cambios en el genotipo" (Waddington, 1942). Actualmente, se precisa que son aquellos cambios químicos que alteran la expresión genética, sin modificar la secuencia del ADN (Allis et al., 2015).

De este modo, la epigenética se especializa en los procesos de regulación de la expresión genética que no dependen del código genético y son reversibles, al tiempo que heredables. Así, la epigenética explica la herencia de variación por encima y más allá de cambios en la secuencia del ADN (Pierce, 2016). En la Figura 1 observamos una representación de lo que podría ser la genética y la epigenética, la cual depende, además de los genes, de factores ambientales.

Gracias a la epigenética comprendemos mejor la aparición de diferentes fenotipos a partir de genotipos idénticos debido a alteraciones químicas (metilación del ADN y acetilación o fosforilación de histonas, entre otras) que no afectan la secuencia de ácidos nucleicos y otros factores reguladores como los ARN no codificantes. Las etiquetas (o "tags") epigenéticas se adhieren al genoma en respuesta a factores externos (diversos como el ambiente celular, como en la diferenciación de células embrionarias, o elementos extrínsecos, como la dieta, la exposición a toxinas o la temperatura). De este modo, la regulación epigenética controla algunos procesos biológicos como la diferenciación celular durante el desarrollo embrionario, el mecanismo de impronta y el ajuste fisiológico al medio, aspectos que, en el caso humano, pueden afectar al desarrollo de algunos tipos de cáncer, o la predisposición a la obesidad, enfermedades

autoinmunes, la diabetes mellitus tipo 2 o ciertos trastornos mentales (como nos recuerdan Zudaire y Napal, 2020).

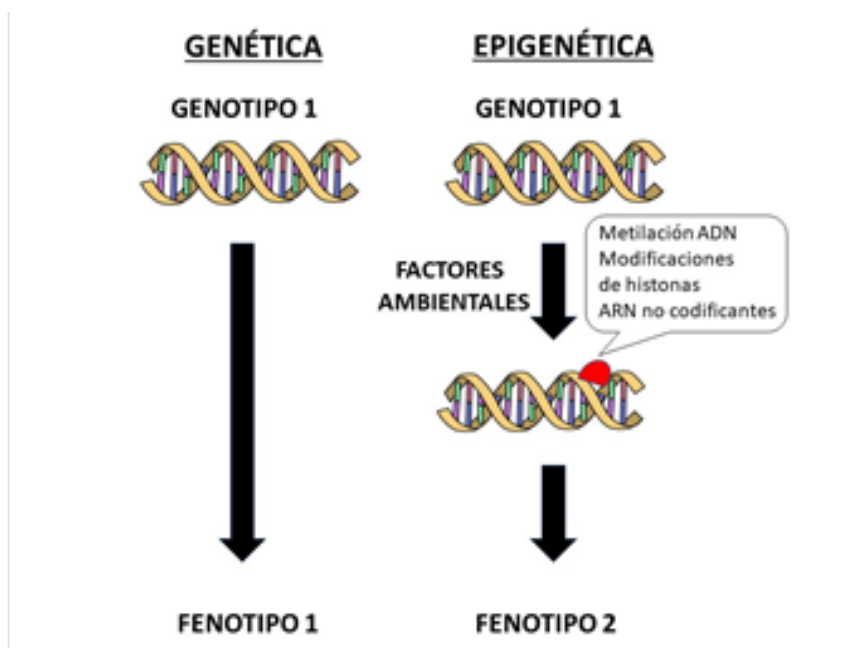


Figura 1. Representación de la diferencia entre genética y epigenética (influencia del ambiente en la expresión de los genes). (Fuente: elaboración propia).

Así, los avances en el conocimiento sobre epigenética han permitido explicar que nuestros genes definen nuestras características; si bien, el ambiente o los hábitos de vida son extraordinariamente importantes y también determinan el cambio hasta el punto de que, en ocasiones, el entorno puede ser mucho más determinante que la propia genética (Giménez, 2013).

Estos avances en genética, con tantas repercusiones en la mejor comprensión de la expresión genética, nos llevan a considerar en la formación educativa obligatoria, dentro del estudio de la genética básica, no solo los mecanismos que explican la expresión de los genes (transcripción y traducción), sino, además, estos otros factores que la regulan derivados de la epigenética. Aspectos estos que nos podrían permitir estudiar los avances en esta área que han permitido desarrollar nuevas técnicas y herramientas, cada vez más comunes, como las de secuenciación masiva, de modificación del genoma, terapias genéticas..., las cuales proporcionan nuevas vías para conseguir entender y conocer las bases del funcionamiento de la vida, así como las implicaciones éticas y sociales de estas técnicas (Íñiguez y Puigcerver, 2013).

De hecho, el currículo de secundaria obligatoria español tradicionalmente deja para 4º de la ESO (Real Decreto 1105/2014) el estudio de los mecanismos de transcripción y traducción, así como la expresión de la información genética. En este aspecto, la introducción de una epigenética básica podría contribuir a comprender la influencia de los factores ambientales sobre la expresión de genes y su consecuencia observable en el fenotipo.

La capacidad de llegar a conseguir estos conocimientos depende de forma muy importante de la incorporación de estos contenidos al sistema

educativo obligatorio. Por ello, debemos conseguir que el alumnado adquiera los conocimientos básicos en estas áreas para poder comprenderlos, argumentarlos y poder tener una posición personal fundamentada en los debates sociales que les afectan (Ocelli et al., 2018).

Objetivos de la investigación

En este contexto educativo, este trabajo se plantea los siguientes objetivos:

- Identificar las concepciones de un grupo de estudiantes de 4º de la ESO sobre los aspectos básicos de la expresión genética.

- Planificar, llevar a la práctica y evaluar una propuesta de secuencia de enseñanza-aprendizaje (en adelante, SEA) para el último curso de secundaria obligatoria que favorezca la comprensión de la expresión genética y consiga sustituir la concepción errónea del determinismo genético introduciendo las bases de la epigenética.

Obstáculos del alumnado al estudiar la expresión genética

El conocimiento de genética básica, como se ha señalado, es de suma importancia para poder comprender contenidos de gran relevancia en el curriculum de Biología en la educación secundaria, como evolución, especie, adaptación o selección natural, así como, por su trascendencia en las investigaciones biomédicas.

Sin embargo, numerosos estudios indican que la genética resulta uno de los apartados de más difícil comprensión por el alumnado y de los que reúne una mayor dificultad conceptual (Íñiguez y Puigcerver, 2013). Los motivos por los que la genética resulta tan difícil de comprender hacen referencia, en primer lugar, a la imposibilidad de visualizar de forma directa los fenómenos genéticos (Gilbert et al., 1982), ya que la genética consiste en procesos que involucran pequeñas entidades las cuales no se pueden experimentar directamente y, por tanto, deben imaginarse.

Otro de los motivos que explican su dificultad es la propia complejidad intrínseca de la misma, ya que implica multiplicidad de niveles organizativos en los procesos genéticos, que abarcan desde niveles micro de organización molecular (genes y moléculas en células), hasta niveles macroscópicos (organismo o población), entre los cuales el alumno no consigue establecer relación (Marbach-Ad y Stavy, 2000).

No son estas dificultades mencionadas anteriormente las únicas implicadas, sino que, también se ven acompañadas de otros obstáculos como pueden ser la propia enseñanza en el aula, el modelo tradicional de enseñanza, la secuencia de contenidos, así como la preparación y métodos de los profesores, y por supuesto, las ideas previas o concepciones alternativas, es decir, aquello que el alumno ya sabe al llegar al aula (Íñiguez y Puigcerver, 2013).

De modo que, según diversos estudios, las dificultades de los estudiantes en relación con la herencia biológica y expresión genética son condicionantes en el aprendizaje de conocimientos relacionados con la genética (Abril et al., 2004), y, además, si persisten en el tiempo, pueden suponer un obstáculo para alcanzar un conocimiento más adecuado desde

una perspectiva científica, por lo que su estudio puede aportar aspectos de gran interés para intentar llevar a cabo propuestas en la mejora de la enseñanza de la genética (Ruiz-González et al., 2017).

Por otra parte, los estudios también ponen de manifiesto las dificultades del alumnado de secundaria para comprender y aplicar el modelo de expresión de los genes (Zudaire y Napal, 2020) así como relacionar el ADN, ARN y proteínas (Marbach-Ad, 2001), aspectos clave, como decimos, para comprender los aspectos básicos de la epigenética. Somos conscientes de que este proceso de expresión genética es de bastante complejidad para nuestro alumnado y conseguir un aprendizaje significativo del mismo supone, entre otros aspectos, dar una mayor importancia a las relaciones entre los genes, las proteínas y el fenotipo para favorecer una correcta comprensión de la expresión genética (Todd y Kenyon, 2016).

Esta dificultad relacionada con la complejidad conceptual y abstracción que presenta, en muchas ocasiones lleva a intentar facilitar la comprensión de estos conceptos simplificándolos tanto por parte del docente como por los libros de texto, generando en el alumnado, aunque no de forma directa, la idea errónea de que si está la información sobre un carácter en los genes, ésta terminará inevitablemente manifestándose en el organismo; planteamiento poco adecuado que numerosas investigaciones denominan "determinismo genético" y que debemos evitar entre nuestro alumnado (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2011; Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015 y Carver et. al, 2017).

Como vemos, este determinismo es un obstáculo de gran importancia para comprender mecanismos más complejos aún, como los epigenéticos, ya que parte de la idea extendida de la preponderancia de los genes, sin tener en cuenta la influencia que puede tener el ambiente en la manifestación de esos caracteres fenotípicos, puesto que se considera que los genes se encuentran por encima de cualquier factor ambiental (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015).

Junto a esta dificultad, encontramos que, en la mayoría de las ocasiones, se considera a las mutaciones en el material genético como única causa de variabilidad genética; de modo que, se impide dar al alumnado una información realista acerca de los verdaderos mecanismos de regulación de la expresión genética (Ruiz-González et al., 2017).

En la Tabla 1 mostramos de forma esquemática los resultados de nuestra revisión sistemática sobre las dificultades de comprensión de la expresión genética que hemos clasificado en tres categorías: a) relativos a la influencia de los factores ambientales en los caracteres de los individuos; b) la transmisión de la información hereditaria de célula a célula en un organismo; y c) la relación entre material genético, proteínas y caracteres.

De forma general, se aprecia la falta de comprensión de que las interacciones con el entorno (medio ambiente y hábitos) da lugar a los caracteres observables de todo ser vivo; también, la creencia de que cada tipo celular contiene la información genética que necesita para realizar sus funciones; así como, la dificultad para relacionar genes y proteínas; también la escasa relación entre estas y el funcionamiento celular y del organismo.

Algunas concepciones sobre la expresión genética	Referencias de los artículos científicos
<i>a) Influencia de los factores ambientales en los caracteres de los individuos</i>	
Los caracteres de los individuos dependen de factores hereditarios más que de ambientales.	Lewis et al., 2000; Ramorogo y Wood-Robinson, 1995.
Los genes determinan todos los caracteres, enfermedades etc., que van a desarrollar las personas sin tener en cuenta la influencia del ambiente.	Lewis y Wood-Robinson, 2000; Osman et al., 2017; Zudaire y Napal, 2020.
<i>b) Transmisión de la información hereditaria de célula a célula</i>	
La información hereditaria la poseen únicamente las células sexuales o que cada célula lleva únicamente la información hereditaria necesaria para la función que realiza.	Hackling y Treagust, 1984; Banet y Ayuso, 1995.
Dificultad para comprender la expresión diferencial (en cada tipo celular se expresan unas proteínas u otras).	Dougherty et al., 2011; Todd y Kenyon, 2016.
<i>c) Relación entre material genético, proteínas y caracteres</i>	
Pueden comprender que los genes son necesarios para la transmisión de características de una generación a otra, pero no lo relacionan con la síntesis de proteínas.	Lewis y Kattmann, 2004; Todd y Kenyon, 2016; Dorrell y Lineback, 2019.
Dificultades en relacionar el material hereditario con la síntesis de proteínas y con la expresión de la información genética.	Marbach-Ad y Stavy, 2000; Marbach-Ad, 2001; Duncan y Reiser, 2007.
Son capaces de indicar diferentes tipos de ARN involucrados en la expresión de los genes, pero, muestran confusión acerca del papel que juega la proteína en el desarrollo de una enfermedad.	Marbach-Ad y Stavy, 2000.
Dificultad con la regulación de la expresión genética, o directamente no la conciben.	Mills Shaw et al., 2008; Zudaire y Napal, 2020.

Tabla 1. Resumen de artículos sobre concepciones de los estudiantes respecto a la expresión genética.

Por otra parte, diversas investigaciones han destacado la falta de una estructura adecuada en el desarrollo de los contenidos de genética en los libros de texto utilizados en secundaria, separando en capítulos diferentes no expresamente relacionados los aspectos relacionados con los genes y los relacionados con los cromosomas (Todd y Kenyon, 2016). Así como, el planteamiento de series de problemas de genética centrados en un mecanismo de resolución (algoritmo) no explícitamente relacionado con su significado biológico (Stewart, 1983; Douglas, 2000; Stansfield, 2008, entre otros). Además, también se pone de manifiesto el deficiente tratamiento de la influencia del ambiente en el fenotipo y la total ausencia de las relaciones entre ambiente y regulación de la expresión génica, lo que podría favorecer el desarrollo de ideas deterministas sobre la información genética (Puig y Jiménez-Aleixandre, 2015).

Metodología

Descripción de los participantes en el estudio

El grupo de alumnos y alumnas que ha seguido la propuesta planificada en la investigación sigue el curso de 4º de la ESO (15-16 años) en un instituto de secundaria de la periferia de una capital de tamaño grande en la Región de Murcia (España). El grupo está conformado por un total de 20 estudiantes que han elegido la modalidad de ciencias que cursan, por tanto, la asignatura Biología y Geología. Del total de estudiantes, 10 son chicos y 10 chicas y su nivel educativo, a juicio de su profesorado habitual, es medio-alto. Por otra parte, los estudiantes en el momento de participar en nuestra investigación ya han seguido unas sesiones, con su profesorado habitual, sobre la herencia biológica y la evolución de los seres vivos.

Análisis de los conocimientos de los estudiantes acerca de la expresión genética

Con el fin de identificar el grado en el que los estudiantes de 4º de ESO han adquirido los conocimientos acerca de los procesos de expresión genética después de haberlo trabajado por primera vez en el aula en ese mismo curso, unas semanas antes de nuestra investigación, se diseñó un cuestionario con un total de ocho preguntas tipo test como instrumento de recogida de dicha información. Este cuestionario ha sido elaborado teniendo en cuenta las principales concepciones identificadas en la revisión bibliográfica en torno a cuestiones básicas de genética. Algunas de las cuestiones incluidas en el cuestionario han sido extraídas de otros estudios ya descritos en la bibliografía.

Además, el cuestionario fue previamente utilizado con un grupo de tres estudiantes del mismo nivel educativo y de otro centro para analizar el grado de dificultad de las cuestiones, el lenguaje empleado y el tiempo de realización. Se introdujeron pequeños ajustes tras esta prueba piloto. Posteriormente, se introdujeron algunas modificaciones para elaborar el cuestionario final. En la Tabla 2 se muestra la información relativa a las preguntas, opciones de respuesta y fuentes bibliográficas de cada una de ellas (en el Anexo I, el cuestionario completo).

Como vemos, las cuestiones han tenido los objetivos de conocer lo que sabe el alumnado sobre diferenciación celular y comprobar si entienden que todas las células del mismo organismo contienen los mismos genes; conocer lo que sabe el alumnado acerca de la constancia en la información genética y su expresión. Esto es, si asumen que todas las células de un organismo poseen la misma información, aunque solo se exprese la necesaria; la diferenciación entre gemelos y mellizos; así como, averiguar si el alumnado considera que la expresión genética se ve afectada por factores externos o, por el contrario, sus planteamientos coinciden con el denominado determinismo genético. *Diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje (SEA)*

La propuesta de esta SEA parte de la necesidad de tener en cuenta en el aula las dificultades reveladas para comprender la expresión genética. Además, se incluirá expresamente la influencia que ejerce el ambiente en la

expresión diferencial de los genes, y por tanto, en el fenotipo, por lo que se introducirán los principios básicos de epigenética.

Nº	Contenido	Posibles respuestas	Fuente
1	Cómo se transmite la información genética al resto de células de un individuo	a) La información se reparte según su destino; b) La información se copia en todas las células; c) La información sólo va a células sexuales; d) No estoy seguro.	Adaptada de Banet y Ayuso, 1995
2	Cómo se transmite la información genética al resto de los órganos de un individuo.	Marcar con una x si los genes del grupo sanguíneo, del color de ojos y del sexo están en: cerebro, sangre, corazón, espermatozoide, ovulo y ojos.	Adaptada de Íñiguez Porras y Puigcerver Oliván, 2013
3	Constancia de la información genética en las células del individuo.	a) La misma información en todas las células porque así se mantiene a las especies; b) La información se reparte; c) La información se copia en todas las células; d) La información se reparte por la meiosis.	Adaptada de Zudaire y Napal, 2020
4	Expresión de la información genética.	a) Todas las células expresan los mismos genes; b) Se expresa en función de las células; c) Se expresa en todas la información; d) Se expresa en todas la información menos en las sexuales.	Adaptada de Zudaire y Napal, 2020
5	Fecundación y diferenciación entre gemelos y mellizos.	a) Un ovulo fecundado por un espermatozoide; b) Dos óvulos fecundados por dos espermatozoides; c) Un ovulo fecundado por dos espermatozoides; d) Otra explicación.	Adaptada de Caballero, 2008
6	La conservación de la información genética en gemelos.	a) No se conserva; b) No se conserva, pero se parecen; c) Se conserva por nacer a la vez; d) Se conserva porque vienen del mismo cigoto que se divide.	Adaptada de Zudaire y Napal, 2020
7	Relación entre gemelos y su disposición a padecer las mismas enfermedades.	Padecen las mismas porque comparten genoma; b) Sólo las genéticas; c) No necesariamente, depende de sus hábitos; d) Padecen las mismas.	Adaptada de Zudaire y Napal, 2020
8	Conocer la influencia del ambiente, hábitos, alimentación en el fenotipo.	a) No hay influencia del ambiente; b) Lo que cambia son los genes; c) El ambiente afecta al fenotipo; d) Esos cambios son mutaciones en los genes.	Adaptada de Zudaire y Napal, 2020

Tabla 2. Representación de las preguntas, respuestas y referencias de estas.

Por otra parte, se plantea una secuencia didáctica para planificar específicamente una situación de enseñanza-aprendizaje respecto a un contenido disciplinar concreto, como en nuestro caso, la influencia del ambiente en la expresión genética. La propuesta utilizará como referencia los planteamientos de las secuencias de enseñanza-aprendizaje, entendida ésta como un documento para la planificación específica de situaciones de enseñanza y aprendizaje que giran en torno a un tema o contenido concreto. En la misma, se establecen los objetivos que se pretenden alcanzar, los contenidos concretos a enseñar, el contexto, la metodología,

de qué forma se lleva a cabo, cómo se evalúa y el material necesario que se va a emplear (Couso, 2011; Mora y López, 2021).

Por otra parte, la propuesta parte de un problema contextualizado, intentando que capte el interés de los estudiantes para que, con la ayuda de los textos de referencia, los grupos de trabajo busquen las soluciones más idóneas al mismo, siguiendo el modelo del aprendizaje basado en problemas (Chin y Chia, 2004). En nuestro caso, el problema planteado es ¿Por qué entre dos hermanas genéticamente idénticas, gemelas, una desarrolló un cáncer y la otra no?

Finalmente, con el objetivo de conseguir una valoración global del funcionamiento de esta propuesta, analizando su calidad y su capacidad para superar las dificultades detectadas, se han diseñado diversos instrumentos de recogida de información, tanto para la recogida a través de un informe final, las conclusiones de los grupos sobre la cuestión planteada; de las opiniones de los estudiantes sobre el proceso seguido; o la evaluación del profesorado del grado de eficacia de las actividades utilizadas (Tabla 3).

Toda esta información una vez recogida, nos informará sobre muchos aspectos de la propuesta permitiendo incorporar futuras mejoras si fuese necesario.

Resultados

Conocimientos de los estudiantes sobre la expresión genética

En la Tabla 4 se muestra un resumen de las respuestas de los estudiantes de nuestra muestra a las cuestiones planteadas para averiguar su conocimiento inicial sobre la expresión genética. Para analizar las respuestas a las cuestiones planteadas (en su mayor parte de opción múltiple) se han calculado las frecuencias en cada opción. Para facilitar el análisis solo incluimos las respuestas mayoritarias a cada una de las cuestiones.

Al analizar las respuestas de los estudiantes, debemos recordar que nuestra muestra de estudio acababa de terminar el seguimiento de las sesiones estimadas por su profesorado habitual para el desarrollo de la unidad "herencia biológica".

No obstante, observamos que persiste la dificultad recogida por diversos estudios referente a que cada célula lleva únicamente la información hereditaria necesaria para la función que realiza (Ruiz-González et al., 2017) y, es más, determinados genes se encuentran únicamente en algunos órganos y no en todos (Todd y Kenyon, 2016).

Por otra parte, encontramos la dificultad para diferenciar gemelos (hermanos genéticamente iguales) de mellizos (hermanos con diferencias genéticas), así como, la convicción bastante generalizada de que, en los primeros, son dos los espermatozoides que se unen a un óvulo, sin prestar atención, en consecuencia, a la constancia cromosómica entre generaciones (de acuerdo también con otros estudios como Banet y Ayuso, 1995).

Instrumentos de valoración de los aprendizajes de los estudiantes	
Cuestionario inicial	8 cuestiones (7 de elección múltiple, 1 verdadero/falso) sobre conocimientos de los estudiantes sobre la constancia en la información genética en las células de un organismo, expresión genética, diferencias entre gemelos y epigenética y abejas.
Cuestionario final	Con la misma estructura que el cuestionario inicial y sobre los mismos contenidos, si bien se plantearon variaciones en los ejemplos concretos presentados.
Actividades realizadas durante la aplicación de la propuesta	- Lectura de las diferencias entre gemelos y mellizos: Tabla respuestas correctas/incorrectas sobre diferentes afirmaciones. - ADN-Genes-Expresión genética-caracteres: Afirmaciones verdadero/falso. - Informe final: Resolución del problema planteado; recogida de información sobre el nivel de comprensión del contenido y su aplicación a la vida cotidiana.
Instrumentos de valoración del proceso enseñanza-aprendizaje	
Opiniones del alumnado	Ficha de reflexión del alumno a completar una vez finalizada cada sesión: ¿Qué hemos hecho hoy?, ¿Para qué lo hemos hecho?, ¿Qué has aprendido?, ¿Qué conclusiones has sacado? Anota los aspectos de la sesión de hoy que más dificultades has tenido que comprender.
Observación del ambiente de clase (profesor/a)	Ficha de reflexión del profesor/a a completar tras cada aplicación: Grado de interés, atención y participación de los alumnos/as en la actividad; Sobre quién recae el protagonismo del desarrollo de las actividades (profesor/a-alumnos/as); Otros comentarios.
Observación de la actividad en el aula (profesor/a)	Ficha de reflexión del profesor/a a completar tras cada aplicación: Percepciones del profesor en el aula; Grado de atención; Grado de motivación; Grado de comprensión de la actividad; Grado de dificultad de la actividad; Otras observaciones de interés sobre la actividad.

Tabla 3. Instrumentos utilizados para la valoración de la propuesta de secuencia de enseñanza.

Finalmente, identificamos la dificultad del alumnado para reconocer la influencia del ambiente en el fenotipo. Los resultados muestran que una gran mayoría responde incorrectamente y asocia este fenómeno a las mutaciones, considerando éste, como único agente de cambio (de acuerdo con otros trabajos como Ruiz-González et al., 2017).

En conclusión, tras finalizar este cuestionario, se comprueba que la mayoría del alumnado de la muestra presenta muchas de las dificultades acerca de los contenidos relacionados con la genética y la expresión genética, de modo que se hace evidente la necesidad de considerar cambios relevantes en las propuestas de enseñanza, así como tener en cuenta estas dificultades de los escolares.

Características de una propuesta de SEA sobre epigenética y principales resultados de su implementación

La SEA diseñada se desarrolló en el aula del grupo de 4º de la ESO a lo largo de dos sesiones de unos 50 minutos cada una de ellas. En el Anexo 1 se muestran sus características principales. Estas tuvieron lugar tras la implementación del profesor habitual de una unidad didáctica sobre la herencia biológica, en la que se habían desarrollado los contenidos habituales de genética mendeliana (las leyes de Mendel), la teoría cromosómica de la herencia, nociones de genética humana, el ADN, la duplicación, transcripción y traducción, las mutaciones y aplicaciones relacionadas con los avances de la genética.

Nº	Contenido	Respuesta mayoritaria	Nº estudiantes (N=20)
1	Cómo se transmite la información genética al resto de células de un individuo.	La información se reparte según su destino. Cada célula recibe la información que necesita (a)	16/20
2	Cómo se transmite la información genética al resto órganos de un individuo.	Marcan con una x únicamente los recuadros en los que los caracteres se relacionan con los órganos (ej. sangre/grupo sanguíneo)	20/20
3	Constancia de la información genética en las células del individuo.	La información se copia en todas las células (c)	8/20
4	Expresión de la información genética	Todas las células expresan los mismos genes (a)	10/20
5	Fecundación y diferenciación entre gemelos y mellizos.	Un ovulo fecundado por dos espermatozoides (c)	12/20
6	La conservación de la información genética en gemelos.	Se conserva porque vienen del mismo cigoto que se divide (d)	14/20
7	Relación entre la conservación de la información en gemelos y su disposición a padecer las mismas enfermedades.	No necesariamente, depende de sus hábitos (c)	14/20
8	Conocer la influencia del ambiente, hábitos, alimentación en el fenotipo.	Esos cambios son mutaciones en los genes (d)	16/20

Tabla 4. Resumen de las respuestas de los estudiantes sobre la expresión genética.

La primera de las sesiones se centra principalmente en la revisión de los contenidos de genética que ya han sido estudiados por el alumnado del grupo a lo largo de este curso. Las actividades que se llevan a cabo en esta sesión abordan específicamente los contenidos relacionados con la localización de la información (ADN, genes), la transmisión de la información de padres a hijos (gametos, cigoto) y la expresión de la

información (transcripción y traducción). Los estudiantes individualmente responden a un cuestionario inicial sobre conocimientos básicos sobre estos aspectos y posteriormente, trabajando en pequeños grupos, realizan tres actividades de enseñanza que giran en torno a un problema real planteado (¿Por qué entre dos hermanas gemelas una ha desarrollado un cáncer y la otra no?).

En la segunda sesión se introduce la influencia del medio ambiente en la expresión genética y como esta información, sin variar, puede expresarse o no según las condiciones ambientales (epigenética). En esta segunda sesión, se han utilizado piezas del tipo "tente" para simular secuencias genéticas y a partir de las mismas crear situaciones de una secuencia de ADN que determina un carácter y modificaciones epigenéticas que impiden la expresión de ese gen, modificando el carácter resultante (Montoliu, 2020) (Figura 2).

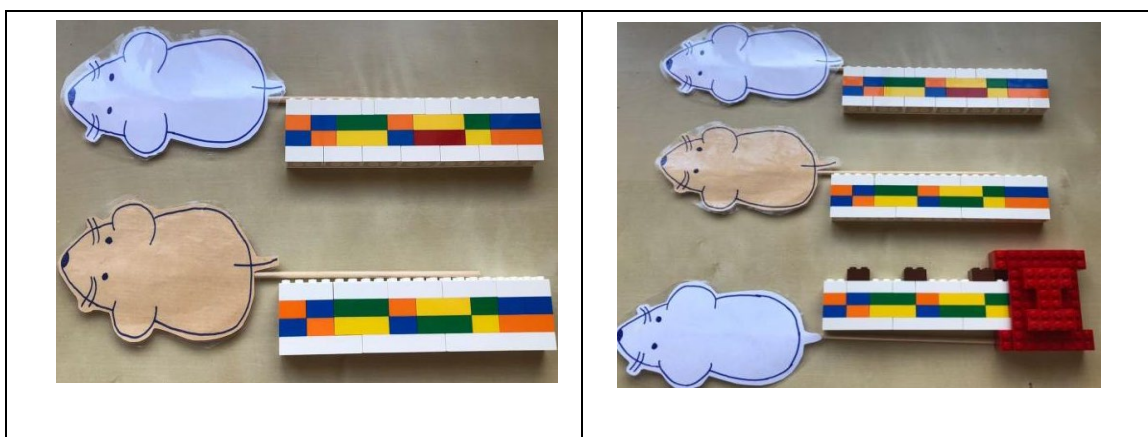


Figura 2. Ejemplo de representaciones con piezas del tipo "tente" del ADN. En la izquierda, dos secuencias genéticas distintas que dan lugar a dos fenotipos distintos, En la derecha, la simulación de metilaciones provoca la inactivación del gen y que, con la misma información genética, el fenotipo sea distinto.

La segunda sesión ha contado con dos actividades. En la primera se desarrolla el contenido sobre epigenética de una forma visual y manipulable y en la segunda, los estudiantes deben redactar un informe final que responda a la pregunta problema planteada en el inicio de la sesión anterior. Para ello, se plantea un guion con cuatro cuestiones que pueden servir para favorecer la argumentación de los grupos de alumnos y alumnas.

Valoración del desarrollo de la SEA

Antes de que los estudiantes (N=20) redactaran el informe final en que intentan responder a la cuestión problema planteado en la SEA, respondieron a un cuestionario final que contenía el mismo número de cuestiones que el inicial, abordando los mismos contenidos, pero utilizando distintos ejemplos en cada caso (en la Figura 3 comparamos los resultados de ambos cuestionarios). Como podría resultar previsible por el poco tiempo transcurrido entre ambos, encontramos una mejora en las respuestas del cuestionario 2. No obstante, debemos destacar los avances apreciables en cuestiones que no son abordadas explícitamente en las intervenciones habituales en genética y que, no obstante, forman parte de un conocimiento esencial de la misma.

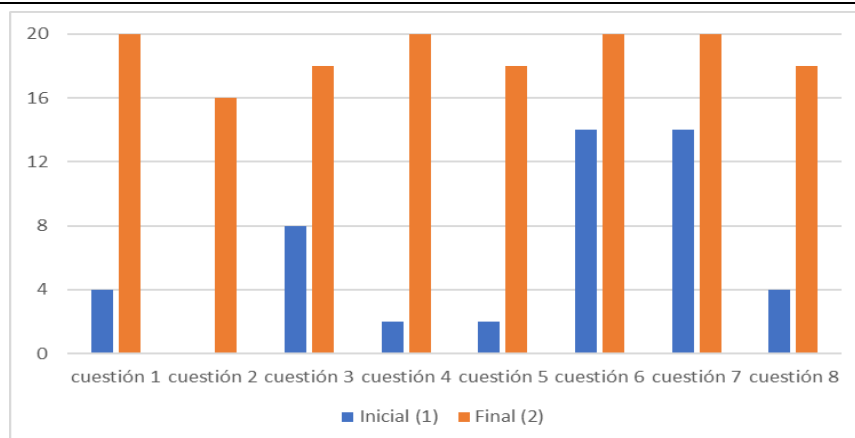


Figura 3. Respuestas correctas a los cuestionarios inicial (1) y final (2).

Con estos resultados, observamos un notable cambio positivo tras la propuesta en las respuestas del alumnado, en la que la mayor parte son respondidas correctamente por la totalidad de los estudiantes del grupo experimental.

Posteriormente, los estudiantes, trabajando en grupos, tuvieron que elaborar un informe final. Para ello, siguieron un guion con diversas cuestiones orientativas que podían resultarles de utilidad acerca de si la exposición a ambientes distintos puede tener consecuencias en la expresión de la información genética o si la influencia del ambiente puede también condicionar a individuos no iguales genéticamente. Aunque las respuestas obtenidas son diversas, la gran mayoría de ellas muestra que los estudiantes han conseguido reconocer esta influencia:

Al vivir de una forma diferente, en un ambiente distinto, se produce un cambio en la expresión de los genes que da lugar a esa enfermedad" (Estudiantes del Grupo 3)

"En Mónica se han producido unas metilaciones que en Rocío no por el diferente estilo de vida (hábitos)". (Grupo 5)

"Sí, porque dichos cambios en la expresión de los genes se desarrollan dependiendo de tu estilo de vida, entonces si viven en diferentes sitios pueden seguir desarrollando otras". (Grupo 2)

Los resultados nos indican que la totalidad del alumnado ha contestado adecuadamente a todas y cada una de las preguntas propuestas en el guion del informe final.

Por otra parte, hemos considerado necesario valorar las opiniones de los estudiantes respecto a la propuesta y también el ambiente observado en clase (Figura 4). Destacamos que, para la mayoría, la propuesta ha resultado bastante interesante y fácil, al mismo tiempo, motivadora para una buena parte del grupo.

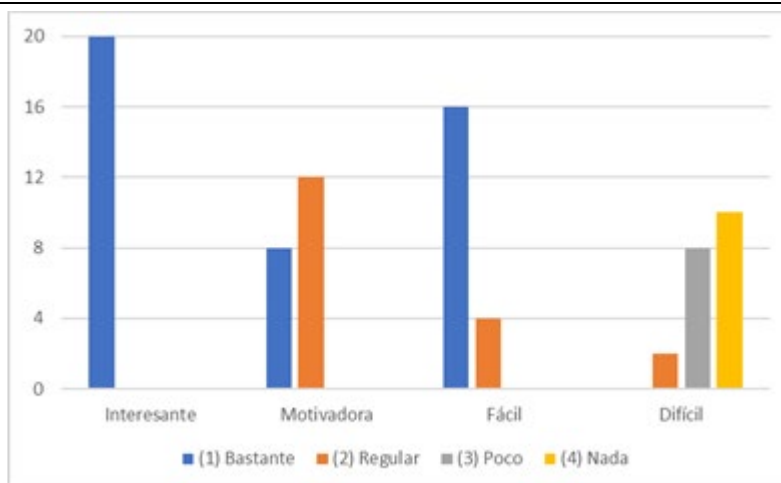


Figura 4. Representación de las opiniones de los alumnos de 4º ESO acerca de la propuesta.

Finalmente, planteamos a los estudiantes del grupo una cuestión abierta sobre "¿Qué has aprendido?". Las respuestas a esta pregunta nos indican que el objetivo se ha cumplido de forma importante. Entre las respuestas los estudiantes señalan que "He aprendido muchas cosas sobre cómo se expresan los genes y cómo pueden cambiar por nuestros hábitos", o "He aprendido que tus hábitos o tu ambiente también puede determinar tus enfermedades".

Conclusiones

Nuestro estudio corrobora la persistencia de las respuestas erróneas de los estudiantes de secundaria en relación con la expresión genética que han puesto de manifiesto los trabajos referidos en la revisión bibliográfica, a pesar, de que nuestra investigación se realizó tras la implementación en el aula, por parte de su profesorado habitual, de la unidad de herencia biológica. En este aspecto hemos comprobado que una de las ideas inadecuadas más asentadas entre los estudiantes establece que cada célula contiene la información genética que necesita para realizar sus funciones, de modo, que la información hereditaria es repartida desde la célula inicial o cigoto en cada tipo celular.

Por otra parte, también constatamos que los estudiantes no reparan en el mantenimiento de la constancia cromosómica entre generaciones, siendo frecuente que el alumnado considere que dos descendientes genéticamente idénticos, como son los gemelos, se han producido por la fusión de dos espermatozoides simultáneamente con un óvulo.

En otro aspecto, destacamos igualmente, la creencia generalizada de que la variabilidad dentro de los individuos depende más de cambios genéticos (como son las mutaciones) que de la influencia del medio ambiente o de la interacción entre este y el genotipo.

Deducimos, por tanto, que la enseñanza habitual, centrada en la repetición de términos a menudo abstractos y complejos, o la realización de ejercicios repetitivos, no consigue un aprendizaje efectivo entre el alumnado.

De este modo, sugerimos que los materiales educativos aborden, al menos de un modo inicial, la regulación de la expresión genética, aspecto necesario para superar el determinismo genético; una estructura menos compartimentalizada que evite la separación en unidades distintas de cromosomas y genes y en el que se dé la oportunidad a los estudiantes a expresar sus ideas iniciales para que puedan ser puestas en conflicto. De esta forma, sugerimos la necesidad de que los libros o los materiales utilizados por el profesorado incorporen mayor cantidad de actividades de aplicación del modelo de regulación de la expresión genética para el desarrollo de un planteamiento crítico con los postulados deterministas.

Con respecto al nivel de 4º de la ESO, consideramos que puede ser un nivel adecuado para mejorar el conocimiento de la expresión genética y cómo el medio ambiente puede influir en la misma; por lo que un planteamiento inicial y muy básico de epigenética puede ser oportuno. Para ello, nos ha resultado de gran utilidad una propuesta de SEA basada en una situación problemática real que promueva la movilización de los conocimientos, así como el planteamiento de actividades manipulativas y visuales como las presentadas con piezas tipo "tente".

Estas modificaciones que proponemos pueden ser de utilidad para planteamientos que mejoren el conocimiento de los estudiantes en los aspectos básicos de la genética. Una disciplina que resulta básica para la alfabetización tecnológica y científica de los ciudadanos, ya que, en muchos contextos sociales, es una materia que reclama un conocimiento mínimo e imprescindible del conjunto de la ciudadanía para la participación crítica en los debates sociales que producen sus investigaciones.

Referencias bibliográficas

Abril, A.M., Mayoral, M.V. y Muela, F.J. (2004). Los medios de comunicación social y la didáctica de la Genética y la Biología Molecular en E.S.O. En *La nueva alfabetización: un reto para la educación del siglo XXI* (pp. 367-368). Madrid: Ed. Centro de Enseñanza Superior en Humanidades y Ciencias de la Educación Don Bosco.

Allis, D., Caparros, M.L., Jenuwein, T. y Reinberg, D. (2015). *Epigenetics*, 2nd Edn. Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

Banet, E. y Ayuso, G.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.

Caballero, M.C. (2008). Algunas ideas del alumnado de secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 26(2), 227-244.

Carver RB, Castéra J, Gericke N, Evangelista NAM, El-Hani CN (2017) Young Adults' Belief in Genetic Determinism, and Knowledge and Attitudes towards Modern Genetics and Genomics: The PUGGS Questionnaire. *PLoS ONE* 12(1): e0169808

Chin, C. y Chia, L.G. (2004). Problem-based learning: Using students' questions to drive knowledge construction. *Science Education*, 88(5), 707-727.

Couso D. (2011) Las secuencias didácticas en la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias: modelos para su diseño y validación. En A. Caamaño (Coord.), *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 57-84). Barcelona: Graó.

Dorrell, M.I. y Lineback, J.E. (2019). Using Shapes & Codes to Teach the Central Dogma of Molecular Biology: A Hands-On Inquiry-Based Activity. *The American Biology Teacher*

Dougherty, M.J., Pleasants, C., Solow, L., Wong, A. y Zhang, H. (2011). A Comprehensive Analysis of High School Genetics Standards: Are States Keeping Pace with Modern Genetics? *CBE—Life Sciences Education*, 10(3), 318-327.

Douglas, A. (2000). Mending Mendelism. *The American Biology Teacher* 62(9), 633-639. Duncan, R.G. y Reiser, B.J. (2007). Reasoning Across Ontologically Distinct Levels: Students' Understanding of Molecular Genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(7), 938-959.

Gilbert, J.K., Osborne, R.J. y Fensham, P.J. (1982). Children's science and its consequences for teaching. *Science Education*, 66(4), 623-633.

Giménez, O. (2013). Epigenética: Una nueva frontera. *El Farmacéutico*, 493, 14-22.

Hackling, M.W. y Treagust, D. (1984). Research data necessary for meaningful review of grade ten high school genetics curricula. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 197-209.

Íñiguez, F. J. y Puigcerver, M. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 10(3), 307-327.

Lewis, J., Leach, J. y Wood-Robinson, C. (2000). All in the genes? — Young people's understanding of the nature of genes. *Journal of Biological Education*, 34(2), 74-79.

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.

Lewis, J. and Kattmann, U. (2004) Traits, Genes, Particles and Information: Re-Visiting Students' Understandings of Genetics. *International Journal of Science Education*, 26, 195-206.

Marbach-Ad, G. y Stavy, R. (2000). Students' cellular and molecular explanations of genetic phenomena. *Journal of Biological Education*, 34(4), 200-205.

Marbach-Ad, G. (2001). Attempting to break the code in student comprehension of genetic concepts. *Journal of Biological Education*, 35(4), 183-189.

Mills Shaw, K. R., Van Horne, K., Zhang, H. y Boughman, J. (2008). Essay contest reveals misconceptions of high school students in genetics content. *Genetics* 178, 1157-1168.

Montoliu, L. (3 de mayo de 2020). *¿Qué es y por qué es tan importante la epigenética?* (Archivo de Vídeo). Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=s83b9Y4Q5qg>

Moore, L. D., Le, T. y Fan, G. (2013). DNA Methylation and Its Basic Function. *Neuropsychopharmacology*, 38(1), 23-38.

Mora F. y Blanco López A. (2021) Diseño de una secuencia de enseñanza-aprendizaje para el desarrollo de competencias científicas en el contexto del consumo de agua envasada. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 18(1), 1803.

Occelli, M., Romano, L. G., y Valeiras, N. (2018). La enseñanza de la biotecnología y sus controversias socio-científicas en la escuela secundaria: Un estudio en la ciudad de Córdoba (Argentina). *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 43, 31-46.

Osman, E., BouJaoude, S. y Hamdan, H. (2017). An Investigation of Lebanese G7-12 Students' Misconceptions and Difficulties in Genetics and Their Genetics Literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(7), 1257-1280.

Pierce, B. A. (2016). *Genética: un enfoque conceptual*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, cop.

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). Dordrecht: 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.

Ramorogo, G. y Wood-Robinson, C. (1995). Botswana 1 children's understanding of biological inheritance. *Journal of Biological Education*, 29(1), 60-71.

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*. Madrid, 3 de enero de 2015, núm. 3, pp. 169-546.

Ruiz-González, C., Banet, E. y López-Banet, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: Implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 14(3), 550-569.

Stewart, J. (1983). Student Problem Solving in High School Genetics. *Science Education*, 67(4). 523-540.

Stansfield, W.D. (2008). Teaching Mendelism. *The American Biology Teacher* (2008) 70 (6): 345-349.

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.

Waddington, C. H. (1942). Canalization of development and the inheritance of acquired characters. *Nature*, 150(3811), 563-565.

Zudaire, I. y Napal, M. (2020). Exploring the Conceptual Challenges of Integrating Epigenetics in Secondary-Level Science Teaching. *Research in Science Education*, 51, 957-974.

Anexo 1. Resumen de la SEA sobre expresión genética y epigenética con alumnado de 4º de la ESO.

Sesión 1		
Actividad	Objetivos	Desarrollo
1. Cuestionario inicial. ¿Qué sabes sobre la expresión genética?	Conocer las ideas de los estudiantes antes del comienzo de la intervención sobre diversos aspectos de la expresión genética.	Los estudiantes responden a un cuestionario de 8 cuestiones de opción múltiple. Una vez respondidas se hace una puesta en común para identificar coincidencias y discrepancias en las respuestas.
2. Idénticas, pero a la vez diferentes. ¿Por qué Mónica había desarrollado un cáncer y Rocío no?	Poner de manifiesto las explicaciones iniciales de los estudiantes a un problema planteado en el que dos personas que tienen la misma información genética (gemelas) y que han vivido en ambientes distintos tienen diferencias en relación con una enfermedad (cáncer).	Se plantea una situación concreta y se aporta el material necesario para su desarrollo. Para ello se suministra un texto con un problema real sobre dos hermanas gemelas que han vivido en ambientes distintos y que una ha desarrollado un cáncer y otra no. Los estudiantes leen, trabajando en grupos reducidos (4-5) el texto que lleva al problema de la propuesta. Los estudiantes esbozan la respuesta inicial a la pregunta problema.
3. Gemelos y Mellizos.	Interpretar un texto sencillo sobre las diferencias entre gemelos y mellizos. También acerca de la imposibilidad de que un óvulo sea fecundado por dos espermatozoides. Revisar el significado de términos como gametos, cigoto, división celular y transmisión de la información genética (entre células y de progenitores a descendientes).	El profesor muestra esquemas comparativos de mellizos (dos óvulos fecundados por dos espermatozoides) y gemelos (división completa de un cigoto). También presenta un texto con aclaraciones sobre estos términos y un cuestionario final. Los estudiantes, en grupos, responden a las cuestiones. También revisan las respuestas del cuestionario inicial implicadas en la actividad y seguir valorando posibles respuestas a la pregunta problema.
4. ADN- Genes- Expresión genética- Caracteres	Relacionar los contenidos de genes, ADN y caracteres hereditarios. Comprender las etapas de la expresión genética de transcripción y traducción.	Se revisa el conocimiento de los estudiantes sobre las relaciones entre genes, ADN y caracteres hereditarios. También las etapas de la expresión genética de transcripción y traducción. Para ello, se plantea una lectura sobre las relaciones entre información genética y caracteres. A través de imágenes y textos sencillos se revisan los contenidos de transcripción y traducción.
Sesión 2		
5. ¿Qué pasa ahora? Epigenética	Comprender, de modo genérico y sencillo, las características del cáncer (crecimiento descontrolado	Se plantea una lectura de un texto sobre los términos cáncer, expresión genética y ambiente y epigenética. Además, los estudiantes trabajan con

	<p>de tejidos) y relacionarlo con la influencia que puede tener el ambiente, el paso del tiempo y los hábitos a la hora de desarrollar la enfermedad. Introducir el contenido de epigenética señalando que produce una expresión diferencial de los genes.</p>	<p>piezas tipo "tente" que simulan secuencias de ADN y a partir de ellas, las relaciones entre una secuencia de ADN y un carácter determinado. En una segunda etapa se simula un caso de modificación epigenética (metilación) y como ésta, sin que suponga cambios en la secuencia del ADN, implica la inactivación del gen y la expresión de un carácter distinto. Se añade que las modificaciones epigenéticas se pueden producir por cambios ambientales.</p>
<p>6. Informe final</p>	<p>Redactar un informe final que responda a la cuestión inicial (¿Por qué Mónica había desarrollado un cáncer y Rocío no?) utilizando los conocimientos sobre gemelos, expresión genética y epigenética con la finalidad de mejorar sus habilidades argumentativas.</p>	<p>Los estudiantes, en pequeños grupos, responden a diversas cuestiones sobre la influencia de los factores ambientales en la expresión de los genes. Las respuestas se exponen en el gran grupo aclarando las dudas planteadas.</p>