



UNIVERSIDAD DE JAÉN  
*Centro de Estudios de Postgrado*

### Trabajo Fin de Máster

# EL USO DE LAS CONTROVERSIAS SOCIOCIENTÍFICAS (CSC) EN EL APRENDIZAJE DE LA GENÉTICA.

Alumno/a: **López Cruz José Antonio**

Tutor/a: **Marta Romero Ariza**

Dpto: **Didáctica de las Ciencias Experimentales**

**Septiembre, 2019**

# Índice

|                                                                        |           |
|------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN</b>                                                         | <b>3</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                                        | <b>4</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>                                                    | <b>5</b>  |
| <b>FUNDAMENTACIÓN DIDÁCTICA: CONTROVERSIAS SOCIOCIENTÍFICAS (CSC)</b>  | <b>11</b> |
| <b>FUNDAMENTACIÓN EPISTEMOLÓGICA</b>                                   | <b>25</b> |
| <b>PROYECCIÓN DIDÁCTICA DE LA SECUENCIA</b>                            | <b>53</b> |
| LEGISLACIÓN VIGENTE.                                                   | 53        |
| LEGISLACIÓN NACIONAL.                                                  | 54        |
| LEGISLACIÓN AUTONÓMICA.                                                | 54        |
| JUSTIFICACIÓN DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA.                               | 54        |
| ASPECTOS GENERALES DE LA SECUENCIA.                                    | 55        |
| <b>PROPUESTA DIDÁCTICA</b>                                             | <b>55</b> |
| EL DILEMA.                                                             | 59        |
| <i>Elección del dilema:</i>                                            | 61        |
| <i>Construcción del dilema:</i>                                        | 62        |
| LECTURA.                                                               | 63        |
| <i>Lectura de los textos</i>                                           | 66        |
| EL LÉXICO VS ANTI-LÉXICO                                               | 66        |
| EL DEBATE.                                                             | 67        |
| <i>Realización del debate</i>                                          | 69        |
| EL ENSAYO.                                                             | 71        |
| <i>Proceso de redacción del ensayo:</i>                                | 71        |
| <b>LOS ANDAMIOS DIDÁCTICOS</b>                                         | <b>72</b> |
| <b>CRITERIOS DE CALIFICACIÓN</b>                                       | <b>73</b> |
| <b>CONTENIDOS, ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN</b> | <b>75</b> |
| CRITERIOS DE EVALUACIÓN:                                               | 75        |
| ESTÁNDARES DE APRENDIZAJE:                                             | 75        |
| <b>COMPETENCIAS CLAVE</b>                                              | <b>76</b> |
| <b>OBJETIVOS</b>                                                       | <b>77</b> |
| <b>OBJETIVOS DE ETAPA</b>                                              | <b>77</b> |
| <b>OBJETIVOS DIDÁCTICOS ESPECÍFICOS DE LA SECUENCIA DIDÁCTICA</b>      | <b>79</b> |
| <b>ATENCIÓN A LA DIVERSIDAD</b>                                        | <b>81</b> |
| <b>CONSIDERACIONES FINALES</b>                                         | <b>81</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                      | <b>83</b> |
| <b>ANEXOS</b>                                                          | <b>89</b> |

## Resumen

En la actualidad, uno de los principales retos de la educación secundaria en nuestro país, es el de conseguir formar a nuestros estudiantes como ciudadanos preparados, con pensamiento crítico y con capacidad de toma de decisiones. Asimismo, en las clases de ciencias de nuestros centros, predominan la descontextualización, el dogmatismo y el antihistoricismo de las ciencias, dando a los estudiantes una visión distorsionada de la misma. Por ello, es de vital importancia la aplicación de nuevas metodologías didácticas que sean capaces, no solo de preparar a alumnado como ciudadanos críticos y capaces, sino que favorezcan la adquisición de una adecuada alfabetización científica (ATC) por parte de nuestros estudiantes. Una de estas nuevas metodologías vanguardistas, al igual que el trabajo por proyectos, es la implementación en nuestras aulas de controversias sociocientíficas (CSC), problemas complejos, que carecen de una solución simple, y que se encuentran causados por la intrincada relación entre los avances científicos y los actores sociales y éticos. La implementación de estas (CSC) en las aulas, no solo favorecen el debate y la capacidad de argumentación de los estudiantes, sino que aumentarán su motivación, y predisposición para el aprendizaje de las ciencias. Igualmente la aplicación de estas (CSC) permitirá mejorar aspectos psicológicos de los alumnos tales como, el autoconcepto académico y permitirán la eliminación en el alumnado de ideas previas que estos han construido con anterioridad. Por todas estas razones, el objetivo de este trabajo es llevar a cabo el diseño de una secuencia didáctica basada en el aprendizaje de las ciencias mediante la utilización de una controversia sociocientífica (CSC). Esta actividad didáctica se encontrará enmarcada más concretamente el Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología del curso 4º de ESO. Dicha actividad didáctica se centrará en las unidades didácticas focalizadas en el contenido de *Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética*, aunque con ella se conseguirá impartir otros conceptos sobre la genética y sus implicaciones, los cuales se encuentran repartidos por todo este Bloque de contenidos.

Palabras clave: Controversias sociocientíficas (CSC), alfabetización científica (ACT), conducta prosocial, genética, autoconcepto académico, competencias clave.

---

Nota: En este trabajo se llevará a cabo el uso gramatical del genérico masculino para referirse a ambos géneros.

## Abstract

Nowadays, one of the main challenges of the secondary education in our county is to form our students as well prepared citizens, with critical thought and decision skills. Furthermore, in our science classes there is a total domain of decontextualisation, dogmatism and antihistoricism, who provides to our students an untruth vision of the sciences. For this reason it is crucial to apply new didactics methodologies which are able not only to prepare the students as critical and capable citizens, but also to improve the acquisition of scientific literacy. One of these new modern methodologies, besides projects education, is the implement in our classes of socioscientific issues (CSC). This socioscientific issues are complex problems which lacks of simple solutions, and caused by the intricate relationship between scientific and social matters. The implement of these (CSC) is going to improve not only the debate and the argumentation in our students, but also the motivation and inclination of learning sciences. Another important feature of this educational methodology is that it may well improve in our students psychological aspects, like their academic concept and it might reduce or eliminate the previous ideas that our student's have built in their minds previously. For all these reasons, the goal of this academic work is to design a didactic sequence based in the implement of (CSC) in classes. This didactic activity will be delimit in the bloc 1º of the Biology and Geology subject of 4º year of secondary, mostly in these didactic units focused in *Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética*. Despite this fact, with this sequence we will be able to teach other genetics important genetic concepts.

Key words: Socioscientific issues (CSC), scientific literacy, prosocial behaviour, genetic, academic concept, key competences.

## Introducción

En la actualidad, uno de los grandes desafíos de la educación secundaria obligatoria es el de conseguir que los estudiantes desarrollen un pensamiento crítico y creativo así como un aumento en su capacidad de toma de decisiones, formando así a ciudadanos competentes y capaces en los diferentes ámbitos de su vida cotidiana.

En las clases de ciencias de nuestros centros de secundaria prevalecen de forma sistemática el formulismo, el antihistoricismo, la descontextualización y el dogmatismo de sus contenidos, dando sin duda a nuestros estudiantes una visión distorsionada y deformada de la naturaleza de la ciencia y del conocimiento científico, y suprimiendo el deseo de los alumnos de hacer sus propias preguntas y de crear sus propios caminos hacia el conocimiento (*Solbes, 2017*). De igual forma la enseñanza actual de las ciencias no permite el desarrollo de lo que se entiende por competencia científica, ya que en raras ocasiones se contemplan las dimensiones procedimentales y epistémica de la ciencia.

Es por tanto que surge la necesidad de una remodelación o transformación de nuestras metodologías didácticas en el ámbito de las ciencias. Esta transformación debe permitir que los alumnos adquieran una adecuada alfabetización científica (ACT) y que se deje de buscar en la ciencia una verdad absoluta, ajena a las condiciones y contextos sociales, alimentando así actitudes y habilidades tales como la responsabilidad individual y el espíritu crítico. Para llevar a cabo esta transformación, es necesario la aplicación en nuestros centros de secundaria de nuevas estrategias o metodologías educativas que sean capaces de eliminar la visión irreal que se tiene de la ciencia y que consigan poner énfasis en la problematización y la localización del aprendizaje de índole científico (*Ramírez, 2015*).

Dentro de estas nuevas metodologías educativas se encuentra la implementación en las aulas de ciencias de las conocidas como controversias sociocientíficas (CSC). Esta nueva estrategia didáctica consiste en el planteamiento y el trabajo por parte de los estudiantes de problemas complejos y actuales causados por la estrecha relación que actualmente establecen la ciencia, la tecnología y la sociedad y a la aparición de nuevos y confusos horizontes científicos. La gravedad de estas (CSC) que afectan a nuestra sociedad, permiten llamar la atención del estudiante y llevar a cabo acciones educativas basadas en la investigación y en la argumentación; habilidades fundamentales en la capacitación de nuestros alumnos y en su alfabetización científica (*Reis, 2014*). De igual forma, la aplicación de las (CSC) en nuestras clases de ciencias, también ayudara a superar la visión neutral y de objetividad que tradicionalmente se le

ha atribuido a la ciencia, al mismo tiempo, que favorecerá el dominio y aprendizaje de conceptos y contenidos propios de la materia.

La aplicación de las (CSC) no solo constituye un contexto excelente para enseñar ciencias y sus bases epistémicas, sino que son capaces de ubicar de manera más visible o palpable el léxico científico mediante situaciones de conflicto cognitivo que promueven en nuestros alumnos un aprendizaje más profundo y una visión más compleja de la naturaleza de la ciencia (*Su-Chi Fang, 2019*). Sin embargo, el aprendizaje de las ciencias mediante (CSC), no solo permite a nuestros alumnos aumentar su capacidad de análisis, de argumentación y de razonamiento, sino que va a permitir formarlos en aspectos morales y éticos, ya que el trabajo por (CSC) no solo incluye factores exclusivamente científicos, sino que también factores sociales y éticos, que van a forzar a los alumnos a tomar decisiones complejas basadas en todas estas realidades.

La enseñanza de las ciencias mediante (CSC) también supone una reestructuración de la dinámica y de la cultura de clase y una transformación de los roles tradicionales de profesor y estudiante, ya que el alumno es visto como un sujeto crítico en formación el cual, debe de interiorizar el conocimiento para así poder tomar decisiones complejas en las cuales tanto este conocimiento como factores sociales y morales sean predominantes, creándose una atmosfera relajada donde los estudiantes pueden exponer sus conocimientos y debatir para establecer consensos y decisiones (*García Ramírez, 2014*). Otra gran ventaja de este modelo didáctico es su interdisciplinaridad ya que promueve la integración de disciplinas científicas y no científicas en el desarrollo de los estudiantes.

Aunque son de constante actualidad la aparición de noticias e investigaciones en los medios de comunicación sobre biotecnología e ingeniería genética, no se suele tener una percepción clara de que grado de conocimiento presentan los estudiantes sobre estos conceptos (*Oliván, 2013*). Pues otro de los principales problemas asociados a la enseñanza de las ciencias y más concretamente al área de la genética, son las concepciones erróneas o ideas alternativas que los alumnos presentan sobre estas materias.

Cuando un estudiante trata de aprender un nuevo concepto, este no suele presentar un total desconocimiento del mismo, sino que se ha construido su propia concepción de dicho término, estas concepciones alternativas y generalmente erróneas que presentan los alumnos son conocidas como ideas previas y son de vital importancia a la hora de plantear la enseñanza de determinados contenidos. Atendiendo a este problema de la enseñanza de las ciencias es necesario aplicar una nueva estrategia que favorezca el cambio conceptual de nuestros estudiantes y que garantice un aprendizaje significativo de los conceptos científicos.

Existen diversas causas por las cuales los alumnos poseen ideas previas sobre conceptos relacionados con la genética. La gran relación que establecen conceptos de la genética entre sí, el uso de una terminología muy técnica o específica, o la falta de trabajo práctico, son unas de las principales causas por las cuales, los estudiantes pueden presentar dificultades a la hora de comprender conceptos genéticos y de presentar concepciones alternativas sobre los mismos. Existen gran cantidad de ideas previas que debido a los medios de comunicación, al cine o a creencias y saberes populares los estudiantes de todos los niveles de la educación secundaria presentan y mantienen de forma bastante arraigada (Rodríguez, 1995).

En este trabajo nos centraremos de forma más específica en aquellas concepciones erróneas que los alumnos de 4º de ESO presentan sobre conceptos de genética, pues el diseño de esta secuencia didáctica se centrará en las unidades didácticas de genética de la asignatura de Biología de este curso. Algunos ejemplos de ideas previas que los alumnos de 4º de ESO presentan sobre la temática de esta unidad son *"La posibilidad de añadir nuevos genes, en un par de décadas permitirá al hombre ser capaz de seleccionar determinados caracteres para producir niños personalizados."* o *"Uno de los mayores problemas de la humanidad son las enfermedades, a través del estudio del ADN y las moléculas que lo componen, algunas de estas podrían ser detenidas"* (Argento, 2013).

Por otro lado, también resulta evidente la existencia de una actitud negativa por parte de los alumnos frente a la genética. Generalmente suelen presentar falta de motivación, viendo a la genética como una cuestión de poco interés y fútil, sin ninguna repercusión en su día a día o futuro. Por tanto, queda bastante patente, la necesidad de aplicar una metodología didáctica que consiga eliminar la ideas previas de nuestros estudiantes en genética y fomentar su aprendizaje significativo, al mismo tiempo que consiga despertar en ellos la curiosidad y la motivación y permita que los estudiantes vean la ciencia y concretamente la genética como un área de interés y ¿porque no? de fascinación. En este contexto, también constituye una estrategia perfecta la implementación de controversias sociocientíficas (CSC), que conseguirán el cambio de concepción que nuestros alumnos presentan de las ciencias, un aprendizaje efectivo, y la amenización y motivación en nuestras clases.

Otro aspecto que se ha de tener en cuenta y que cada vez está más presente en el planteamiento de actividades y estrategias docentes es el factor psicológico de los alumnos. La adolescencia constituye un periodo crítico y difícil en la vida de una persona. Es una época en la cual comienzan a aparecer problemas externos como la conducta antisocial y problemas internos como la ansiedad social, aspectos de los estudiantes que deben de considerarse a la hora de planificar cualquier metodología didáctica. El autoestima constituye un factor determinante en el día a día de un

estudiante de secundaria y aunque, la apariencia física y el apoyo social de sus compañeros, son fundamentales en su consecución, también parece tener un papel muy importante su autoconcepto académico.

Diversos estudios evidencian la existencia de una relación entre la competencia académica percibida por el alumno y el nivel de logro escolar conseguido (*Cavero, 2000*). Por tanto, como docentes, aunque debamos de intentar actuar en la mayor medida en todos los ámbitos que favorezcan una buena autoestima por parte de nuestros alumnos, es en el autoconcepto académico donde podemos actuar en mayor medida, no solo mejorando el bienestar de los estudiantes sino mejorando su logro académico. Para ello, la aplicación de nuevos modelos que despierten la motivación e interés son fundamentales para reforzar el autoconcepto académico.

Estos programas deben de basarse en el desarrollo de destrezas y habilidades, encaminados a el logro de destrezas académicas. Dentro de este planteamiento, el trabajo por (CSC) cobra un gran sentido, ya que el planteamiento de estos problemas sociales y su trabajo por parte de los alumnos, no va únicamente a motivar a los estudiantes si no que va a permitir el logro de destrezas como, la argumentación, y el pensamiento crítico que van a realzar el autoconcepto académico que los estudiantes presentan de sí mismo y por tanto su autoestima y logro académico.

La implementación de las (CSC) también va a favorecer otro aspecto psicológico de importancia en el ámbito académico, la conducta prosocial, pues resulta ser otro factor importante en el rendimiento académico en educación secundaria, especialmente en los últimos curso de la ESO. La conducta prosocial, puede definirse como una conducta voluntaria y cuya finalidad es beneficiar al prójimo, y su presencia parece estar relacionada con un mayor rendimiento académico. Esta conducta prosocial favorece el apoyo social y la tendencia a la aceptación, reduciendo la vulnerabilidad a la depresión y la aparición de conductas disruptivas (*Inglés, C. et al., 2003*).

Desde este punto de vista la enseñanza de las ciencias y concretamente de la genética la aplicación de (CSC) supone un refuerzo en la conducta prosocial y consecuentemente en el rendimiento académico y el apoyo colectivo de compañeros. Mediante el trabajo por controversias sociocientíficas los estudiantes deben de conversar, discutir, llegar a conclusiones y en definitiva, relacionarse. Esta comunicación constante que deben de llevar a cabo los alumnos para superar la tarea, favorecerá a la mejora de su conducta prosocial y por tanto a una mayor autoestima, aceptación y logro escolar.

Mediante el uso de (CSC) tambien seremos capaces de combatir otra realidad muy marcada en nuestro sistema educativo, y es la falta de interés que el alumnado de secundaria presenta en su futuro académico y profesional. Es de vital importancia

fomentar proyectos educativos que potencien la motivación y la madurez vocacional de nuestros estudiantes. En estos proyectos deben de tener protagonismo metodologías vanguardistas que consigan aumentar la motivación de los estudiantes y les hagan plantearse su futuro y sus metas profesionales, y que les den consciencia de las nuevas realidades sociales y laborales. En este contexto el trabajo por (CSC) constituye una herramienta fundamental que le dará un sentido práctico y social al contenido, suscitando nuevas perspectivas vocacionales.

Por todo lo expuesto con anterioridad el objetivo de este trabajo es llevar a cabo el diseño de una secuencia didáctica basada en el aprendizaje de las ciencias mediante la utilización de una controversia sociocientífica (CSC). Esta actividad didáctica se encontrará enmarcada en el Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología del curso 4º ESO. Concretamente dicha actividad didáctica se centrará en el apartado de *Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones*.

La realización de esta secuencia didáctica basada en la implementación de una (CSC) constará de una duración total de 2 semanas, en las cuales se llevarán a cabo 4 pasos claramente diferenciados. Dicha actividad está basada en los estudios pedagógicos de (*Domènech-Casal, 2017*) cuyos resultados favorables en el ámbito educativo se encuentran ampliamente probados. Los 4 pasos que serán realizados son (Presentación del dilema, Lectura, Debate y escritura del ensayo).

La controversia sociocientífica seleccionada, ha sido la reciente modificación genética y posterior implantación de embriones humanos, que el científico He Jiankui, ha realizado para la eliminación en estos del gen CCR5, principal receptor usado por el virus del SIDA para entrar en el organismo, protegiéndoles según él de futuras exposiciones con el virus.

Una vez que se haya presentado esta (CSC) a los alumnos y se haya construido el dilema en clase, los estudiantes en grupos llevaran a cabo una serie de lecturas relacionadas con el dilema tras la cual se procederá a la realización de un debate. Durante este debate los estudiantes defenderán si se encuentran a favor o en contra de este experimento utilizando argumentos basados en conocimiento científico, pero también en aspectos éticos morales y sociales. Por último, para concluir la actividad los alumnos deberán de escribir un breve ensayo en cual describan las principales características del problema y defiendan su opinión. Cabe destacar que, durante la realización de las lecturas elegidas, el debate y la escritura del ensayo, el alumnado será apoyado mediante una serie de documentos denominados "andamios didácticos" que favorecerán el seguimiento de la secuencia didáctica por parte de los estudiantes y la organización de sus pensamientos o razonamientos.

Un aspecto muy importante en esta actividad es la introducción de los términos de léxico y anti-léxico. El término de léxico hace referencia a términos propio de la

materia y que son clave para la comprensión del dilema, por ejemplo, *gen o mutación*. Por otra parte, el término anti-léxico constituye las concepciones alternativas o ideas previas que los alumnos presentan de estos conceptos. Durante la realización de la secuencia didáctica, concretamente durante la fase de lectura, una vez que los estudiantes hayan leído los textos se procederá a desglosar y comentar los términos del léxico científico que estas noticias presentan y que son clave para la comprensión, la reflexión y la argumentación sobre la (CSC). La realización de esta lista de conceptos propios de la unidad y fundamentales para la comprensión del problema, no solo mejorará la capacidad de los alumnos de reflexionar sobre el mismo, sino que permitirá la eliminación de las ideas previas que los alumnos presentan sobre estos términos. Otro aspecto fundamental del diseño de esta secuencia, es la utilización de una rúbrica McLeares para llevar a cabo la evaluación del trabajo de los alumnos. Quizás el aspecto más interesante de este método de evaluación es que le da un sentido más científico al trabajo ya que en él no solo se tienen en cuenta aspectos como la argumentación o la estructura, sino que también se tienen en cuenta el uso de datos y su interpretación (*Domènech-Casal, 2017*).

Teniendo en cuenta todo lo mencionado con anterioridad los objetivos de este trabajo son:

- 1) El diseño de una secuencia didáctica basada en la aplicación en las aulas de las controversias sociocientíficas (CSC) aplicable al Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología del curso de 4º de la ESO, concretamente en la unidad de *Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología .Bioética*. Mediante el diseño de esta secuencia se plantea impartir conceptos y contenidos propios de este bloque de la asignatura.
- 2) Conseguir mediante la aplicación de esta secuencia didáctica un aprendizaje significativo de conceptos propios de la genética y la biotecnología por parte de los estudiantes de Biología y Geología del curso de 4º de ESO. Quizás el principal objetivo de esta secuencia didáctica es conseguir en nuestros alumnos un verdadero aprendizaje de la ciencia, de sus métodos y de su naturaleza y un aprendizaje significativo de conceptos relacionados con la unidad didáctica que vamos a tratar, evitando la memorización y repetición de términos y favoreciendo su comprensión y dominio en situaciones de la vida real y no puramente académicas.
- 3) La eliminación de ideas previas o concepciones alternativas que los alumnos de 4º de ESO presentan sobre términos de genética y de ingeniería genética. Otro objetivo de la secuencia didáctica a diseñar es conseguir uno de los retos más complicados de la didáctica actualmente, y es la eliminación en nuestros

estudiantes de estas ideas previas sobre la ciencia que tan concienzudamente han sido grabadas en sus mentes, en consecuencia, de los medios de comunicación, la literatura, internet o saberes populares.

- 4) Aumentar la motivación, las ansias de conocimiento y cambiar la visión de la ciencia que los alumnos de cursos superiores de secundaria presentan. La implementación de las (CSC) en las clases de ciencia constituye una herramienta crucial para combatir la desmotivación que los alumnos presentan sobre temáticas y realidades científicas, mediante la aplicación de esta metodología las clases se convierten en verdaderos debates en los cuales, la ciencia cobra protagonismo, dejando a un lado metodologías tradicionales de emisión y recepción de conceptos. Durante estas sesiones los alumnos son tratados como personas críticas que deben de perseguir y profundizar en su propio conocimiento para poder aportar argumentos de peso sobre su decisión con respecto al problema. Asimismo, favorecerá la conversión de la actitud que los alumnos presentan sobre la ciencia, como un cajón de conocimiento hermético y complicado, llevado a cabo únicamente por genios y empollones y que no se relaciona en absoluto con la sociedad.
- 5) La Formación de los alumnos en aspectos morales y éticos. Uno de los objetivos de las (CSC) que suelen pasar desapercibidos, pero que también es crucial, es la formación moral y ética de los estudiantes, ya que para tomar una decisión sobre la validez o no del experimento o de la controversia, no solo deberán de tener en cuenta los aspectos científicos de la (CSC) sino que deberán de reflexionar sobre los aspectos morales y éticos que esta conlleva.

## Fundamentación didáctica: Controversias sociocientíficas (CSC)

Uno de los principales retos de las nuevas competencias de la enseñanza obligatoria es conseguir en nuestros alumnos el desarrollo de un pensamiento crítico y creativo, al mismo tiempo que un crecimiento en su capacidad de toma de decisiones, para así formar a ciudadanos competentes y capaces de desenvolverse en los diferentes ámbitos y situaciones de su vida diaria (*Solbes, 2017*).

Actualmente en las clases de ciencias de nuestros institutos, prevalecen el dogmatismo, el formulismo, el antihistoricismo y la descontextualización, perpetuando así en nuestros alumnos, una visión distorsionada y deformada del conocimiento

científico, en la cual, este no evoluciona, ni es tentativo, y olvidándose de que este conocimiento se produce de forma gradual a partir de evidencias experimentales y de discusiones (*Solbes, 2017*). En muchas de nuestras clases de ciencias, se pone énfasis en los productos de la ciencia y de la tecnología, pero no en sus mecanismos y procedimientos, suprimiendo así los deseos de los estudiantes de hacer preguntas, de buscar sus propios caminos de investigación, de criticar y argumentar diferentes perspectivas y de desarrollar sus propias conclusiones (*Reis, 2014*).

Este enfoque escolar de la ciencia promueve una concepción positivista y simplista de la práctica científica, así como la noción de que sus conclusiones y teorías son absolutas, inequívocas y dogmáticas. Sin embargo, como ya sabemos, la ciencia a menudo es incierta, vacilante y controvertida, y por tanto su enseñanza debe de promover el conocimiento acerca de su naturaleza y de los procedimientos de la investigación científica (*Reis, 2014*).

Asimismo los modelos tradicionales de enseñanza de las ciencias, basados en la transmisión y reproducción de contenidos, no permiten el desarrollo de lo que se entiende por competencia científica, ya que no contemplan ni la dimensión procedimental (prácticas, habilidades de razonamiento y diseño de experimentos) ni la dimensión epistémica (comprensión del marco lógico y social) de la ciencia (*Domènech-Casal, 2017*).

La enseñanza debe de pensarse actualmente, no como una simple transferencia de conocimiento, sino como la formación de individuos que sean capaces de asociar cada uno de los aspectos de su contexto con los conocimientos construidos en los procesos de formación. Es entonces cuando surge la necesidad de una Alfabetización Científica (ACT) de nuestros estudiantes, que responda a las necesidades de la sociedad actual y que no se limite únicamente a una transferencia de conceptos poco útiles e irrelevantes. La (ACT) constituye pues, un conjunto de procesos sociales que van a permitir un cambio cultural, donde los individuos sean capaces de tomar responsabilidad a propósito de situaciones que envuelven o se encuentran relacionadas con la ciencia, la tecnología y la sociedad, buscando justicia y equidad social.

También supone dejar de lado la idea ampliamente extendida, de que la ciencia busca una verdad absoluta y en cambio asociar esta con las condiciones y los contextos sociales (*García Ramírez, 2014*). Mediante una adecuada (ACT) los alumnos podrán adquirir aptitudes y capacidades, tales como actitud y espíritu crítico, responsabilidad individual, capacidad para buscar, analizar, sintetizar y comunicar la información y capacidad de razonamiento, que les proporcionarán un bagaje científico indispensable

para poder desenvolverse de forma adecuada en los diferentes contextos de su vida diaria (*Reis, 2017*).

Por esta razón, es de vital importancia la aplicación o implantación en nuestros centros de medidas o estrategias educativas que sean capaces de eliminar esta visión irreal e ingenua de la ciencia y permitan la adquisición de estas competencias científicas en nuestros alumnos. Estas nuevas metodologías didácticas van a poner énfasis en la problematización y la ubicación del aprendizaje de índole científica, centrándose en conflictos que impliquen de forma activa al alumnado y que favorezcan el desarrollo de habilidades cognitivas elevadas tales como, planificar, evaluar y crear. En ellas los alumnos instrumentalizan los contenidos aprendidos para el desarrollo de habilidades científicas como la identificación y la construcción de modelos científicos, la transferencia y la interpretación de fenómenos y la resolución de problemas. (*Domènech-Casal, 2017*).

En este contexto, la educación en CTS (Ciencia, Tecnología y sociedad) es capaz de tratar cuestiones, energéticas, medioambientales, médicas, tecnológicas, y, en definitiva, científicas, a las que las sociedades actuales se enfrentan. El trabajo por parte del alumnado de este tipo de cuestiones va a favorecer el desarrollo de ideas y valores críticos además de capacidades cognitivas elevadas (*Solbes, 2017*).

Dentro de las medidas educativas englobadas en la educación en CTS, se encuentra quizás su estrategia más potente o de mayor potencial, la implementación en las aulas de controversias sociocientíficas (CSC) (*Solbes, 2017*). Esta nueva estrategia didáctica se ha desarrollado en gran medida durante la última década y su principal objetivo, al igual que otras metodologías educativas vanguardistas, es el de preparar a los estudiantes para participar en los discursos y decisiones relacionadas con temas socialmente relevantes relacionados con la ciencia (*Díaz Moreno, 2017*). Pero, ¿Qué son exactamente las controversias sociocientíficas?

La sociedad contemporánea está marcada por propuestas, investigaciones y descubrimientos científicos y tecnológicos polémicos, debido al choque o tensiones sociales entre los derechos individuales, los intereses económicos, las prioridades políticas y la preocupación por la salud. Las sociedades y ambientes actuales, se encuentran amenazados por problemas complejos, algunos de ellos causados por la relación polémica entre rápido desarrollo de la ciencia y la tecnología con la sociedad y la economía (*Reis, 2014*).

Estos problemas complejos causados por la relación entre ciencia y sociedad son los que se conocen como controversias sociocientíficas (CSC) (*Domènech-Casal, 2017*). Las (CSC) pueden definirse como cuestiones o dilemas socialmente relevantes con vínculos

conceptuales con la ciencia y que presentan respuestas abiertas y complejas. Estas respuestas no solo tendrán componentes científicos, sino que también económicos, políticos y éticos. Por lo cual, estas controversias carecen de soluciones directas y simples (*Díaz Moreno, 2017*) y en ellas las competencias científicas se relacionan de manera compleja con el individuo (*Domènech-Casal, 2017*). Un ejemplo de (CSC) sería el cambio climático, la comercialización de alimentos transgénicos o la clonación de la oveja Dolly.

La gravedad de estas controversias sociocientíficas (CSC) que afectan a nuestra sociedad, requiere de una ciudadanía preparada, bien informada y capacitada para comprender y tomar decisiones apropiadas frente a estas cuestiones. Una acción educativa basada en la investigación y la argumentación es fundamental y necesaria para la alfabetización científica y la capacitación de nuestros estudiantes como ciudadanos críticos y creadores de conocimiento. En este ámbito, las prácticas de enseñanza de la ciencia deben de ser profundamente transformadas y abordadas desde el punto de vista de la alfabetización científica (*Reis, 2014*). La enseñanza de las ciencias basada en el trabajo de estas (CSC), constituye una propuesta educativa innovadora que sin duda, mejorará la alfabetización científica de nuestros alumnos y el desarrollo de capacidades cognitivas elevadas, así como fortalecerá y reforzará su aprendizaje significativo y motivación frente al conocimiento de las ciencias (*Topçu, 2018*).

El traslado de las (CSC) a las clases de ciencias y su implementación da lugar a espacios didácticos en los cuales, las competencias científicas son las protagonistas (*Domènech-Casal, 2017*) y que van a ayudar a superar esa visión neutral y de objetividad que tradicionalmente se la ha atribuido a la ciencia, promoviendo una visión más compleja y realista (*Ramos, 2010*).

Las (CSC) constituyen un contexto de aprendizaje excelente para enseñar ciencias y sus bases epistémicas, así como una plataforma capaz de estimular, motivar e incrementar el interés de los alumnos en conceptos propios del ámbito científico (*Su-Chi Fang, 2019*). Las (CSC) ubican el léxico científico en situaciones de conflicto cognitivo que promueven el aprendizaje más profundo y una visión más compleja y real de la naturaleza de la ciencia, habituando al alumno a tratar con conceptos científicos nuevos, no sistematizados y preparándolos para aprender ciencia a lo largo de su vida.

La implementación de las (CSC) también van a favorecer la capacidad de nuestros alumnos de analizar críticamente, argumentar, razonar y tomar decisiones (*Domènech-Casal, 2017*). El trabajo con (CSC) implica el aprendizaje de estrategias de lectura crítica, el uso de pruebas, argumentación y la toma de decisiones. Este conjunto de

estrategias son necesarias para los nuevos retos, para los cuales el ciudadano debe estar capacitado, para así poder participar en decisiones con impacto global en la sociedad.

Asimismo, las (CSC) permiten formar a los alumnos en aspectos morales y éticos. El trabajo mediante (CSC) hace confluir en clase, no solo factores exclusivamente científicos, sino también sociales y éticos alrededor de dilemas, contextualizando el conocimiento científico y preparando al alumnado en la toma de decisiones ante problemas complejos, participados por modelos científicos (alfabetización científica mediante negociación reflexiva) (*Díaz Moreno, 2017*). Las (CSC) suelen envolver preguntas tales como ¿Es el uso de esta ciencia/tecnología/conocimiento/ proceso, bueno, seguro o justos? (*Borgerding, 2018*).

Por otra parte, también promueven el posicionamiento personal, instrumentalizando así los modelos científicos (*Domènech-Casal, 2017*). La naturaleza y complejidad de las (CSC) supone un reto para el alumnado, que debe de enfrentarse a sus diferentes aspectos y consideraciones y realizar juicios o decisiones fundamentadas (*Su- Chi Fang, 2019*).

La formación mediante (CSC) aborda así el desafío de formar a nuestros alumnos, no solo en los ámbitos puramente científicos, sino también como ciudadanos capaces de enfrentarse a la sociedad moderna, de negociar con las cuestiones relacionadas con la ciencia, y de tomar decisiones responsables sobre los avances tecnológicos y científicos, teniendo en cuenta tanto determinados conocimientos científicos como las consideraciones éticas y morales implicadas, mediante el uso de estos temas como contexto didáctico (*Díaz Moreno, 2017*). También, se conoce que las (CSC) son capaces de estimular a los estudiantes en la conformación de las relaciones existentes en su entorno medioambiental, económico, social, político etc., con el ámbito científico, lo que a su vez permite que los estudiantes comprendan el mundo social en el que viven y desarrollen actitudes y valores comprometidos con la ciudadanía (*García Ramírez, 2014*). Cuando las clases se centran en torno a problemas sociales conectados con la ciencia, los estudiantes presentan una mayor predisposición a aprender los contenidos y prácticas de carácter científico, como la argumentación o el pensamiento crítico. Estudios llevados a cabo en Australia, Inglaterra, Tailandia y Turquía confirman la eficiencia de esta metodología (*Topçu, 2018*).

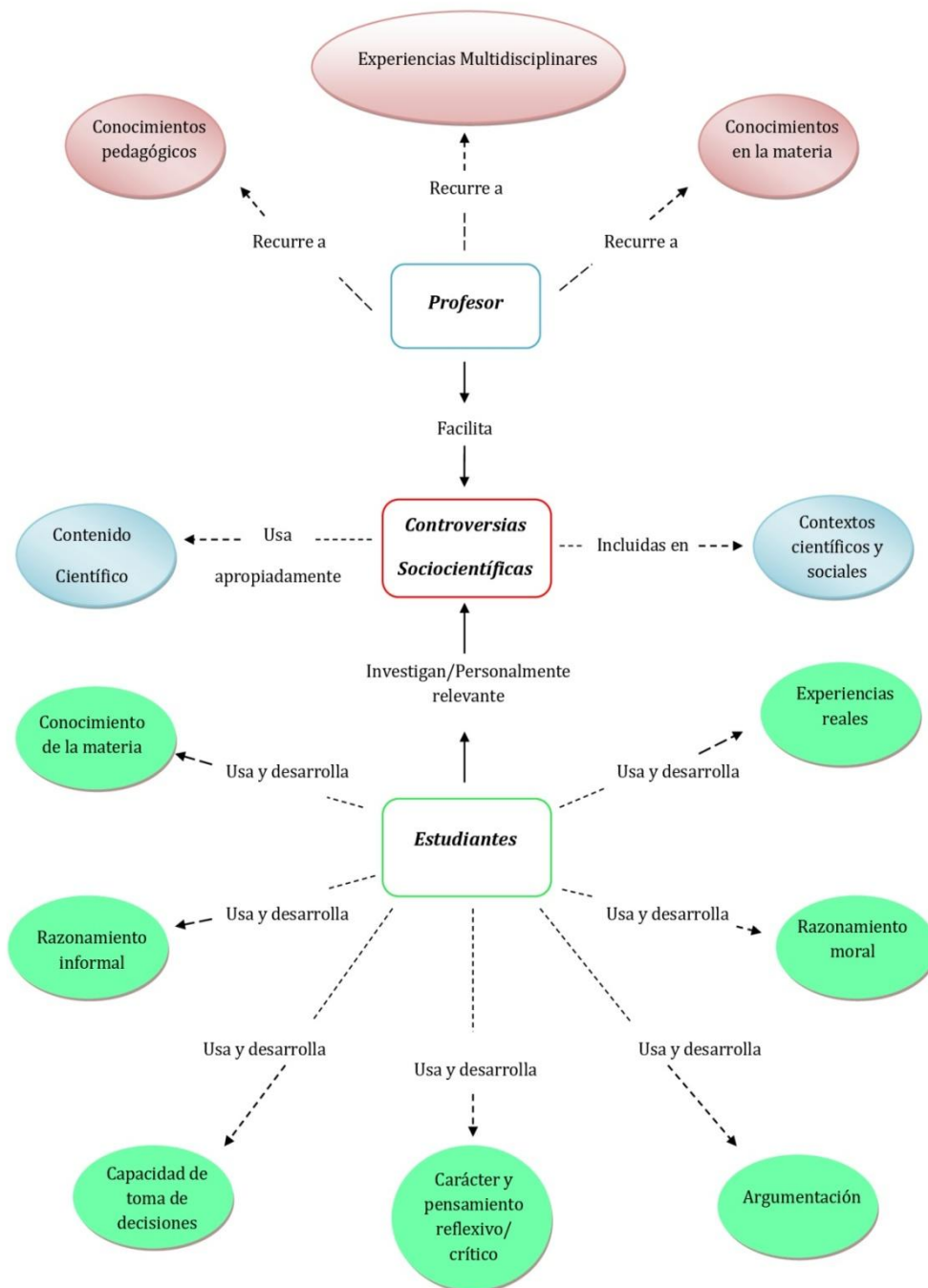
El aprendizaje de las ciencias por (CSC) supone una reestructuración de la dinámica y de la cultura de las clases, pues este requiere de una atmósfera donde los alumnos sean capaces, de forma natural, de exponer sus conocimientos, experiencias y puedan negociar y debatir para establecer consensos sobre la controversia (*Lee, 2019*). Esta

nueva dinámica de enseñanza se nutre de situaciones de aprendizaje motivantes, interesantes y relevantes que despertarán el interés del alumnado.

Con respecto a los roles de profesor y alumno en las aulas, la enseñanza de la ciencia en base a las (CSC), también supone una metodología didáctica innovadora, pues rompe con los roles tradicionales del profesor, transmisor de la "sabiduría científica" y del estudiante, mero receptor de dicha sabiduría. En la enseñanza basada en (CSC) se considera al estudiante como un sujeto crítico en formación que se prepara para ejercer su ciudadanía en una sociedad influenciada claramente por la ciencia y la tecnología, y por lo tanto el estudiante debe de comprender el conocimiento científico a nivel conceptual y metodológico, para así poder analizar las implicaciones sociales y ambientales que este desarrolla, permitiéndose de esta forma construir sus valores y actitudes éticas (*García Ramírez, 2014*). Durante las actividades basadas en (CSC) los alumnos se exponen a perspectivas dispersas de la ciencia, donde deben de evaluar las múltiples perspectivas sociocientíficas de la controversia (*Zeidler, 2009*). Estos serán capaces de involucrarse activamente en las (CSC), mediante las ideas científicas y las prácticas científicas relativas a las problemáticas, analizando datos científicos para entender o comprender el problema (*Topçu, 2018*).

Con referencia al profesor, este debe de aportar y contribuir al debate aportando ideas y conceptos, evitando su posicionamiento y siendo únicamente una "autoridad del conocimiento". Los profesores deben de guiar la discusión y el debate, y proponer implicaciones morales y éticas, que favorezcan la reflexión y la negociación en los estudiantes para llegar así a un consenso, en este contexto, la elaboración de preguntas guía, la utilización de documentos y plataformas web y la realización de role-play, suelen ayudar al profesor a mejorar la sofisticación de los razonamientos de sus alumnos (*Lee, 2019*).

Otra gran ventaja de las (CSC), además de estimular la argumentación y el debate, el discurso socio-moral y el pensamiento crítico, es su interdisciplinaridad. La enseñanza de las ciencias mediante (CSC), envuelve una mezcla de habilidades lectoras, científicas, sociales, matemáticas y artísticas, además de proporcionar tanto al profesor como a los estudiantes, de experiencias reales, en las cuales el razonamiento y el debate es estimulante, real y esencial en la construcción del conocimiento (*Zeidler, 2009*). Las (CSC) promueven la integración de disciplinas científicas y no científicas, lo cual mejorará el desarrollo de los estudiantes y su desenvoltura en un mundo real, en el que el conflicto, no solo en el ámbito científico, parece ser una constante unida inherentemente al desarrollo de la humanidad y de la sociedad.



**Imagen 1:** Relaciones pedagógicas entre profesores, estudiantes y controversias sociocientíficas. Esquema basado y traducido del trabajo de Zeidler (2009).

Durante los últimos años, el espectacular desarrollo tecnológico y científico en los campos de la genética y de la biología molecular han tenido importantes repercusiones no solo a nivel económico, sino también a nivel social y ético. A lo largo la segunda mitad del siglo XX el extraordinario incremento de información e investigación centrada en estos temas, más concretamente en ingeniería genética, han tenido un

profundo efecto sobre la sociedad actual, la cual, ha asumido e interiorizado estos avances científicos (Gallego, 2010).

Aunque ya queda lejos el nacimiento de la oveja clónica Dolly, son de constante actualidad las investigaciones y aplicaciones que la biotecnología y la ingeniería genética aportan a los campos de la medicina y la agricultura. Frecuentemente aparecen en los medios de comunicación noticias relacionadas con la clonación, la terapia génica y la creación de organismos transgénicos. Ahora bien ¿Que grado de conocimiento tienen los ciudadanos y especialmente los alumnos de educación secundaria de estos conceptos? (Oliván, 2013).

Dentro de los apartados o bloques de Biología en Educación Secundaria Obligatoria, la genética es uno de los más difíciles de entender por el alumnado y de los que reúne mayor dificultad conceptual. Por otra parte, también constituye uno de los temas suele motivar más al alumnado, ya que estos encuentran fácilmente sus aplicaciones en la vida real como, por ejemplo, la obtención de alimentos transgénicos o los test genéticos.

Sin embargo, uno de los principales problemas de la docencia en ciencias, es la existencia de una gran cantidad de concepciones erróneas o alternativas en nuestros alumnos, siendo el campo de la genética no ajeno a esta problemática (Oliván, 2013).

De todos es sabido que cuando los estudiantes tratan de aprender nuevos contenidos, especialmente aquellos de carácter científico, estos no presentan un total desconocimiento acerca de los mismo. Sino que, a través de la información obtenida de diversas fuentes, ya sean los medios de comunicación, lo que escuchan en su entorno, o lo que leen en internet, estos han construido sus propias concepciones, que pueden ser más o menos acertadas y que en pocas ocasiones suelen coincidir con las concepciones consideradas correctas. Estas concepciones previas, suelen estar muy arraigadas en el alumnado, y por tanto es importante considerarlas a la hora de plantear el aprendizaje y la enseñanza de determinados contenidos y conceptos propios de la ciencia (Armenta, 2008). De hecho, una de las principales dificultades en el aprendizaje y enseñanza de la genética son estas concepciones alternativas que los estudiantes presentan sobre conceptos y procesos propios de la misma. Ideas que los alumnos presentan de forma previa al aprendizaje y que suelen no coincidir con la definición correcta del concepto o la secuencia del proceso.

Existen numerosas investigaciones que afirman que estas ideas que poseen los alumnos acerca de determinados conocimientos científicos, difieren en gran medida de los conceptos que son considerados verdaderos o correctos. A estas ideas o concepciones que los estudiantes poseen sobre la realidad científica del mundo que les rodea se les conoce como *concepciones alternativas* o *ideas previas*.

Como ya se ha mencionado anteriormente estas ideas previas pueden ser acertadas o erróneas, siendo este último caso el de mayor frecuencia. Por ello, es necesario que se produzca un cambio conceptual en nuestros estudiantes que garantice el aprendizaje significativo de los conceptos científicos. Por lo tanto, es de vital importancia que los profesores sean capaces de conocer estas ideas previas que presentan sus alumnos para favorecer cambios en la concepción de estos conceptos científico y un mejor y mayor aprendizaje significativo (*Armenta, 2008*).

Algunas investigaciones apuntan a que los alumnos suelen tener dificultades para entender muchos de los conceptos sobre genética así como comprender los mecanismos relacionados con la herencia biológica. Muchas de las ideas previas que los alumnos poseen sobre genética suelen responder a afirmaciones y creencias muy extendidas en el saber popular y fuertemente arraigadas, siendo difíciles de superar (*Armenta, 2008*).

Existen diversas causas por las cuales los alumnos presentan concepciones alternativas sobre los conceptos propios de la genética, algunas de ellas son las siguientes. **En primer lugar, la gran relación entre los conceptos propios de la genética en ocasiones puede llevar a confusión a los alumnos.** Este problema es especialmente común con el proceso de meiosis, en el cual es esencial relacionar conceptos como, la fertilización, los ciclos de vida, la alternancia de generaciones haploides y diploides y las mutaciones. Otras relaciones con las cuales los estudiantes suelen tener problemas son, la separación (cromosoma - replicación del ADN) , el par (alelo - expresión del rasgo) y la separación cromosómica- transmisión del rasgo (*Rodríguez, 1995*).

Otra dificultad que supone un obstáculo en la comprensión de la genética, es **el uso de terminología muy técnica o específica.** Existe cierta semejanza superficial entre conceptos como mitosis, meiosis o división celular, lo cual suele provocar confusión y ocultar las diferencias entre ambos procesos. Asimismo, los libros de textos, frecuentemente suelen perpetuar esta problemática mediante el uso de ciertos conceptos genéticos de manera ambigua, como por ejemplo gen y alelo, los cuales se emplean indistintamente (*Rodríguez, 1995*). El uso coloquial de ciertos términos como mutación, también ha provocado cierta confusión en el alumnado. El estudio de la genética asimismo es un área que requiere de la resolución de problemas, ya que, a diferencia de otras áreas de la biología, la genética requiere de una mayor capacidad analítica, un mayor nivel de matemáticas y de resolución de problemas, lo cual suele ser una tarea ardua para nuestros alumnos.

Por último, **La falta de trabajo práctico o procedimental es una de las mayores carencias que presenta la educación en ciencias en general y concretamente en este ámbito.** Una fuente adicional de dificultades viene derivada de la falta de trabajo práctico en genética. Los experimentos clásicos de genética requieren semanas o

meses para realizarse, lo cual resulta incompatible con el ritmo de las clases en secundaria (Rodríguez., 1995).

Pero ¿Cuales son las ideas previas o concepciones alternativas que los alumnos de secundaria presentan en el campo de la genética?. A continuación se detallan algunos ejemplos.

1. No todos los seres vivos están formados por células.
2. No todos los seres vivos tienen genes y cromosomas.
3. Existe la creencia de que algunos organismos pueden tener cromosomas, pero no genes, lo que evidencia la confusión y el desconocimiento de dichas estructuras.
4. La información hereditaria solo se encuentra en las células sexuales.
5. Cada célula posee la información genética necesaria para su propia función.
6. Los cromosomas sexuales solo se encuentran en los gametos.
7. El ambiente puede influir en la aparición de un determinado carácter hasta el punto de desconsiderar algunos alumnos que los factores ambientales tienen más influencia que los hereditarios.
8. Los alumnos no identifican ni relacionan correctamente la estructura y la función de los cromosomas.
9. No relacionan la estructura del material hereditario: genes, cromosomas y ADN.
10. La meiosis supone una importante dificultad durante el proceso de enseñanza-aprendizaje de la herencia biológica y los estudiantes no la relacionan con el proceso de formación de gametos ni con la resolución de problemas de genética.
11. Existen dificultades en relacionar el material hereditario con la síntesis de proteínas y con la expresión de la información genética .

Más concretamente y ya que este trabajo se centrará en el diseño de una secuencia didáctica en el bloque de genética de la asignatura de Biología de 4º de ESO, y aunque generalmente los estudiantes suelen presentar concepciones erróneas sobre, la localización de los cromosomas y los genes, la diferenciación de los conceptos de gen, ADN y cromosoma, la información genética de las células sexuales y la presencia de ADN en los seres vivos. Las principales ideas previas que los alumnos de este curso presentan sobre genética y que están relacionadas con la temática de este trabajo son las siguientes (Argento, 2013).

- La clonación viene referida a la reproducción asexual de los seres vivos.
- La posibilidad de añadir nuevos genes, en un par de décadas permitirá al hombre ser capaz de seleccionar determinados caracteres para producir niños personalizados.
- En el futuro, el conocimiento sobre la genética podría ayudar a detener las enfermedades mortales y el cáncer. Sin embargo, esto sólo ayudará a las enfermedades que son hereditarias .
- Uno de los mayores problemas de la humanidad son las enfermedades, a través del estudio del ADN y las moléculas que lo componen, algunas de estas podrían ser detenidas.
- La genética puede crear un ser perfecto, cambiando los genes. Lo que podemos tener es gente brillante, inteligente, con ojos, nariz y labios perfectos.

Sin embargo, además de las ideas previas existen otras dificultades que los alumnos presentan en el aprendizaje de la genética. Algunas de ellas son la invisibilidad de los elementos que se estudian en esta disciplina, la implicación de múltiples niveles y las diferencias ontológicas que se establecen entre los diferentes niveles de los fenómenos genéticos (*Gallego, 2010*). Por otro lado, también existen problemas asociados a la actitud de los alumnos frente a la genética, pues se ha comprobado de forma evidente la falta de motivación que el alumnado suele tener por este bloque de la Biología, ya que suelen ver la genética como una cuestión de poco interés y que no va a repercutir en su día a día.

Por todas estas razones y en aras de conseguir no solo un aprendizaje significativo de nuestros estudiantes en el ámbito de la genética, sino de lograr una mayor motivación de los mismos, la educación actual en nuestro país, debe apostar por metodologías didácticas más innovadoras, que no solo garanticen el cambio de concepción de los alumnos, consiguiendo superar sus concepciones o ideas previas, sino también lograr que los alumnos sean partícipes de su propio aprendizaje, sintiéndose implicados y motivados en el conocimiento, y la visión práctica que este mismo presenta. En este contexto, la educación en ciencias basada en la implementación de controversias sociocientíficas (CSC) constituye un marco perfecto para alcanzar estos objetivos.

Además de estas *ideas previas* que los alumnos suelen presentar, otro aspecto importante a considerar en el planteamiento de metodologías pedagógicas y que en bastantes ocasiones suele olvidarse es que nuestros alumnos se encuentran en una etapa de la vida ciertamente complicada, la adolescencia. De todos es conocido que la adolescencia constituye un periodo difícil en el ciclo vital de una persona. Se trata de una época en la que comienzan o se incrementan de manera sustancial problemas externos, como la conducta antisocial, la agresividad, el maltrato o la violencia , y problemas internos tales como, la timidez y la ansiedad social (*Inglés, 2003*).

Durante la adolescencia otro factor que es fundamental es la autoestima. De acuerdo a diversos estudios durante este periodo (8-16 años) los factores más importantes que suelen influir en el autoestima de los estudiantes son, la apariencia física y el apoyo

social de los padres y compañeros (Cavero, 2000). Sin embargo, estos factores no son los únicos que influyen en el bienestar de nuestros alumnos, según varios estudios la consecución de un adecuado autoconcepto por parte de los alumnos parece encontrarse también relacionado de manera significativa y proporcional con su rendimiento académico, y aunque como docentes podríamos actuar en los demás ámbitos que constituyen el autoestima de nuestros estudiantes, es en este ámbito donde podemos llevar a cabo una mayor acción (Cavero, 2000).

Recientes estudios revelan la existencia de relaciones positivas entre la competencia académica que los alumnos perciben de sí mismos y el nivel de logro escolar conseguido. Los alumnos que perciben su propia competencia escolar como buena o adecuada, tienen una mayor probabilidad de alcanzar el éxito académico, mientras que aquellos que perciben su competencia escolar como más baja tienen una mayor probabilidad de conseguir peores calificaciones (Cavero, 2000). Esto tiene un gran sentido, ya que en los adolescentes es fundamental la motivación. Cuanto mayor es el autoconcepto académico de uno mismo, también lo es su motivación y predisposición a la hora de afrontar los estudios y por tanto mayor será la probabilidad de alcanzar el éxito académico. Por el contrario, alumnos con un bajo autoconcepto académico se encuentran poco motivados y predispuestos a realizar las tareas académicas y por tanto menor es su probabilidad de éxito. Por esta razón es importante la implementación de nuevos modelos educativos que despierten el interés y la motivación de los alumnos para que de esta manera se vea reforzado su autoconcepto académico.

Desde el punto de vista escolar, existen programas educativos encaminados a mejorar el autoconcepto académico y por tanto la autoestima global de los estudiantes. Hay programas orientados en el fortalecimiento del yo, dirigidos a realzar el autoconcepto y autoestima de los estudiantes mediante afecto y apoyo, y programas que por otro lado están basados en el desarrollo de destrezas y habilidades. Estos últimos argumentan que las actitudes acerca de uno mismo, son en gran medida consecuencia del logro académico y por tanto los esfuerzos educativos deben de ir dirigidos hacia el logro de destrezas académicas específicas en nuestros alumnos (Cavero, 2000).

Durante los últimos años la balanza educativa parece haberse inclinado hacia el segundo planteamiento, ya que existen estudios que muestran que los programas cognitivos son más consistentes y efectivos que los programas únicamente basados en términos afectivos (Cavero, 2000). Estos programas argumentan que las actitudes acerca de uno mismo son consecuencia de los logros académicos y que por tanto los esfuerzos educativos deben de ir dirigidos hacia el logro de destrezas académicas. Dentro de esta perspectiva de refuerzo educativo, el trabajo por (CSC) cobra un gran sentido, ya que mediante la implementación de estos problemas sociales en la aulas los alumnos no solo van a aumentar su motivación en la tarea académica, si no que al reforzar ciertas destrezas académicas, como la argumentación, el razonamiento y el pensamiento crítico, estos van a realzar su autoconcepto académico y por tanto su autoestima y teóricamente su rendimiento académico.

Otro elemento de importancia a considerar durante la adolescencia en lo relativo al ámbito estudiantil es la conducta prosocial, pues parece ser un factor determinante en el rendimiento académico de los alumnos de educación secundaria, especialmente en

los cursos de 3º y 4º de ESO. La adolescencia como ya se ha mencionado con anterioridad constituye un periodo complicado en la vida de una persona, pero también constituye un periodo de identificación y conformidad con los iguales, por lo tanto las habilidades prosociales adquieren una gran importancia en el ajuste escolar durante esta etapa educativa (*Inglés, 2003*).

La conducta prosocial puede definirse como una conducta voluntaria y cuya finalidad es beneficiar a otros (*Inglés, 2003*). La presencia de una mayor comportamiento prosocial, parece verse también relacionado con un mayor rendimiento académico en alumnos de secundaria. No solo parece aumentar la proporción de asignatura aprobadas, sino también una mayor promoción a cursos superiores, esta tendencia es observada en mayor medida en las alumnas, debido posiblemente al mayor arraigo de comportamientos prosociales en el género femenino, lo cual puede estar causado por factores culturales, por factores biológicos, o por una suma de ambos.

Diversos estudios longitudinales muestran que las conductas prosociales se encuentran relacionadas de manera positiva y significativa con el rendimiento académico de estudiantes adolescentes. Estos estudios ponen de manifiesto que la conducta prosocial en edades tempranas constituyen un predictor significativo de rendimiento académico en edades posteriores (*Inglés, 2003*). Por otro lado, existen estudios causales que revelan que la conducta prosocial no solo favorece el apoyo social, sino que parece reducir la vulnerabilidad a la depresión y el desarrollo de conductas disruptivas. Asimismo, las conductas prosociales favorecen la popularidad de los alumnos y su tendencia a la aceptación y a un mayor rendimiento escolar. En este aspecto la docencia de las ciencias mediante la aplicación de (CSC) supondría un refuerzo de la conducta prosocial de los alumnos y por tanto una ayuda a su rendimiento académico y a su aceptación por parte del resto de sus compañeros. Mediante el aprendizaje por (CSC) los alumnos, deben de conversar, argumentar y llegar a soluciones o decisiones consensuadas. Esta comunicación que los estudiantes deben de realizar para superar la tarea basada en la (CSC), constituye un apoyo, en el cual, los estudiantes aprenden a respetar las opiniones de sus compañeros, su turno de palabra y sus perspectivas con respecto a la controversia, por tanto supone una actividad didáctica que no solo contribuye a mejorar el autoconcepto académico de los estudiantes, sino que favorece la consecución de una mejor conducta prosocial y por tanto debido a ambos factores, posiblemente a un mayor rendimiento académico de nuestros alumnos.

De igual manera otra realidad muy patente en nuestro sistema educativo es la necesidad de incrementar el interés del alumnado de ESO en su futuro académico y profesional, las instituciones deben de favorecer y planificar proyectos educativos sólidos que fomenten la motivación, la madurez y autoeficacia vocacional de los estudiantes (*Vega, 2013*). En estos proyectos educativos, deben de tener un papel protagonista, metodologías educativas innovadoras que aumenten la motivación del alumno y que le hagan plantearse metas profesionales.

Entre ellas sin duda se encuentra el aprendizaje basado en proyectos o las implementación de controversias sociocientíficas. En estas nuevas metodologías de enseñanza, el alumno, pasa de ser un mero espectador de su aprendizaje y toma las riendas de su formación, siendo participe de sus propias y ideas conclusiones y

aumentando su motivación no solo en la tarea académica, sino en los temas tratados en la clase, lo cual despertará en nuestros alumnos la curiosidad y el interés desencadenando sin duda intereses vocacionales en los estudiantes.

La madurez o interés vocacional del alumno de secundaria experimenta cambios a lo largo de los cursos y esta, como es lógico, suele aumentar a medida que los alumnos promocionan de curso, sin embargo es fundamental tratar de potenciar esta madurez en todos los ciclos de educación secundaria. El alumnado adolescente presenta una serie de características que afectan a su madurez vocacional (Vega, 2013).

1. La falta de elementos de juicio para reflexionar sobre sí mismo. Esto puede ser debido probablemente a su poca experiencia vital.
2. La nula o escasa planificación de su proyecto vital a corto o medio plazo.
3. El poco uso de los recursos para la exploración de sí mismo y del contexto, ya que posiblemente este se encuentre concentrado en otros asuntos de interés más lúdico.
4. La deficiente información académico-laboral que tienen y que reciben. En este caso el problema o el defecto no es de los alumnos, sino de los centros.
5. La escasa aproximación al mundo laboral y a los roles que ha de desempeñar en dicho mundo.

Este conjunto de circunstancias condicionan el desarrollo de la madurez vocacional de los alumnos y hacen que su proyecto de vida sea configurado desde la incertidumbre. Por esta razón, es crucial que los centros educativos jueguen un papel activo en el desarrollo de esta madurez de los estudiante; en este contexto la implementación de nuevas metodología educativas que no solo motiven a los alumnos sino que les haga ver la realidades sociales y del mundo laboral es fundamental en este proceso de desarrollo cognitivo. En este sentido el trabajo por (CSC) constituye una metodología ideal, ya que no solo puede darle un sentido práctico y social a la materia, sino que puede suscitar el interés vocacional de mucho de nuestros alumnos.

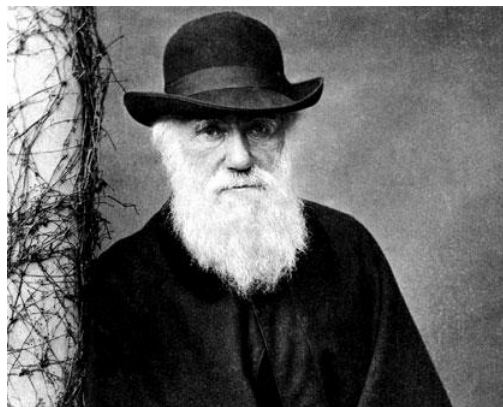
Por todas estas razones o argumentos, el objetivo de este Trabajo de Fin de Máster es el diseño de esta secuencia didáctica basada en la enseñanza de las ciencias mediante (CSC), para su implementación en la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO, más concretamente en el Bloque 1º "La evolución de la vida" y en aquellas unidades didácticas centradas en *"Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología y Bioética"*. Mediante la aplicación de esta secuencia didáctica, los alumnos no solo aprenderán los conceptos propios de la genética y de su ingeniería, si no que desarrollaran el interés por la ciencia, el pensamiento crítico, la argumentación, así como perfeccionaran su capacidad de razonamiento y sus aptitudes éticas y morales.

## Fundamentación Epistemológica

La construcción del edificio conceptual de la Genética constituye una de las aventuras intelectuales más apasionantes y prodigiosas de la mente humana. Aunque la Genética es una ciencia del siglo XX, pues se inicia con el redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1900, no fue hasta 1906 que el británico William Bateson acuñó el término y escribió el primer libro de texto sobre esta disciplina de las ciencias biológicas. Los avances conceptuales del siglo XIX fueron fundamentales para el pensamiento genético posterior (Barbadilla, 2019).

### La segunda mitad del siglo XIX

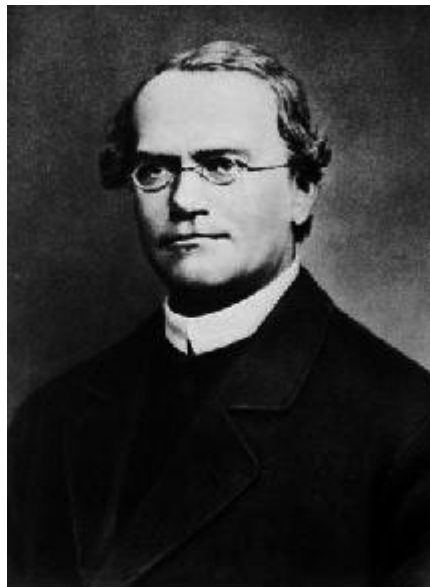
Durante el periodo (1850-1900) la biología emerge de los últimos vestigios medievales y aristotélicos y surge una visión unificada cuyo paradigma no es esencialmente distinto del nuestro. La teoría celular se había establecido ya en los años 30, pero en 1858 el fisiólogo alemán R. Virchow introduce una generalización adicional, el principio de la continuidad de la vida por división celular, que sintetiza en su célebre frase *omnis cellula e cellula* (Barbadilla, 2019). Se establece entonces la célula como la unidad de reproducción. El reconocimiento de la célula como unidad reproductora condujo al abandono de la generación espontánea y del preformacionismo. Un animal o una planta se originan de una simple célula mediante un proceso epigenético, a través de sucesivos estados de diferenciación de un huevo indiferenciado. La célula contiene las potencialidades de generar un organismo. Esta generalización llevó casi compulsivamente a la búsqueda de la base material de la herencia (Barbadilla, 2019).



**Imagen 2:** Charles Darwin (1809-1882). Charles Darwin. Biografía. (2019). Retrato de Charles Darwin. [Figura]. Recuperado de <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/darwin/>.

Es entonces cuando el naturalista británico Charles Darwin introduce en su libro de 1859 "*El origen de las especies*" la segunda gran unificación del siglo XIX: La teoría de la *evolución biológica*. Según esta teoría, la formas orgánicas ahora existentes proceden de otras distintas que existieron en el pasado, mediante un proceso de descendencia con modificación. Darwin reunió una evidencia arrolladora procedente

de muy diversas disciplinas de investigación biológica en favor del hecho evolutivo y logró que esas disciplinas convergieran en una única explicación: *La selección natural*. Con el objeto de imponer estas dos revolucionarias concepciones, Darwin introduce una nueva y radical perspectiva metafísica: *el pensamiento poblacional* (Barbadilla, 2019). En contraste con la visión esencialista dominante en su tiempo, la variación individual, lejos de ser trivial, es para Darwin *la piedra angular* del proceso evolutivo. Son las diferencias existentes entre los organismos en el seno de una población las que, al magnificarse en el espacio y en el tiempo, dan lugar a la evolución biológica. La teoría de la evolución fue casi inmediatamente aceptada por la comunidad científica, pero su teoría de la selección natural tuvo que esperar hasta la tercera década del siglo XX para su aceptación general (Barbadilla, 2019). Sin embargo, el esquema de Darwin carecía de una explicación para el origen y el mantenimiento de la variación genética sobre la que opera la selección.



**Imagen 3:** Gregor Mendel (1822-1884). (2019). Retrato de Gregor Mendel. [Figura]. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/301855329\\_Statistical\\_Inference](https://www.researchgate.net/publication/301855329_Statistical_Inference).

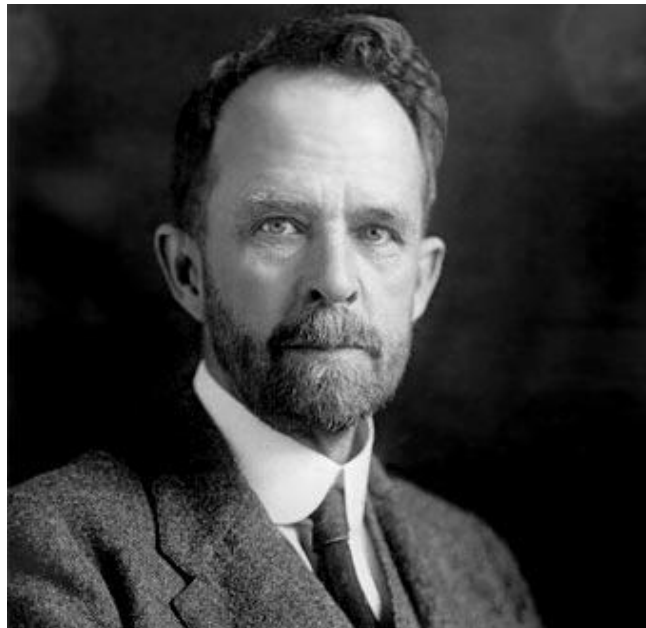
Cuatro años antes del tratado de Darwin sobre la herencia, en 1865, el monje Gregor Mendel publicó el trabajo *Experimentos de hibridación en plantas* en el Boletín de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brno (Moravia, en su tiempo pertenecía al imperio austro-húngaro, actualmente en la República Checa) (Barbadilla, 2019). En él se resumían experimentos que había llevado a cabo durante 8 años en el guisante *Pisum sativum*. El trabajo de Mendel se enmarcaba dentro del paradigma de la teoría de la evolución, pues una de las razones para efectuar dicho trabajo era "alcanzar la solución a una cuestión cuya importancia para la historia evolutiva de las formas orgánicas no debería ser subestimada". Sus experimentos son el paradigma del análisis genético y su trabajo es considerado fundacional de la ciencia de la Genética. Un diseño experimental sencillo junto con un análisis cuantitativo de sus datos fueron las claves principales de sus resultados (Barbadilla, 2019). Los experimentos demostraron:

1. La herencia se transmite por elementos particulados (refutando, por tanto, la herencia de las mezclas).
2. Las normas estadísticas sencillas rigen la herencia, las cuales se resumen en sus dos principios.

Pero el momento no era propicio y el nuevo paradigma de la ciencia de la Genética debería esperar 35 años. Y no fue, como se ha creído, porque su trabajo fuera desconocido. El trabajo de Mendel fue, simplemente, inapreciado (*Barbadilla, 2019*).

#### El siglo XX: 1900-1940: La Genética clásica.

La entrada en el siglo XX produce una explosión de nuevos descubrimientos que ya no se detendrá, y que continuará a un ritmo siempre creciente.



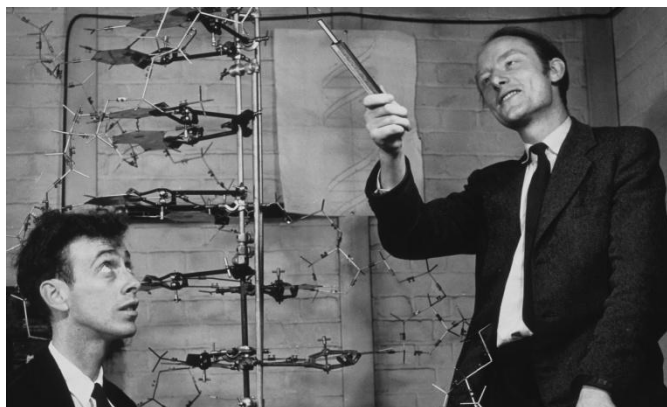
**Imagen 4:** Thomas Hunt Morgan 1866-1948 . Biografía de Thomas Hunt Morgan. (2019). Retrato de Tomas Morgan. [Figura]. Recuperado de [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/morgan\\_thomas.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/morgan_thomas.htm).

Durante la segunda década de este siglo Thomas Hunt Morgan y su grupo de la Universidad de Columbia inician el estudio de la genética de la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*. En 1910 descubren la herencia ligada al X y la base cromosómica del ligamiento. En 1913 A. H. Sturtevant construye el primer mapa genético y en 1916 Calvin Bridges demuestra definitivamente la teoría cromosómica de la herencia mediante la no disyunción del cromosoma X. En 1927 H. J. Muller publica su trabajo en el que cuantifica mediante una técnica de análisis genético (la técnica *CIB*) el efecto inductor de los rayos X de letales ligados al sexo en *Drosophila*. En 1931 Harriet Creighton y Bárbara McClintock en el maíz y Gunter Stern en *Drosophila* demuestran que la recombinación genética está correlacionada con el intercambio de marcadores citológicos. Todos estos descubrimientos condujeron a la

fundación conceptual de la Genética clásica (*Barbadilla, 2019*). Los factores hereditarios o genes son la unidad básica de la herencia, tanto funcional como estructuralmente (la unidad de estructura se definía operacionalmente por recombinación y por mutación). Los genes, a su vez, se encuentran lineal y ordenadamente dispuestos en los cromosomas como perlas en un collar (*Barbadilla, 2019*).

#### Desde 1940 en adelante: El acceso al nivel molecular.

Tras la segunda guerra mundial se produce el verdadero asalto a la naturaleza física del material hereditario. La genética de procariotas inicia los nuevos horizontes de indagación. Se establece finalmente el ADN como la sustancia genética. A ello le sigue el descubrimiento del dogma de la biología molecular: ADN  $\rightarrow$  ARN  $\rightarrow$  proteínas. También se producen grandes avances en el conocimiento de la estructura y función de los cromosomas. Por último, en los setenta surgen las técnicas de manipulación de ADN que afectarán revolucionariamente a todas las disciplinas de la genética. A partir de los 1940 se aplican de un modo sistemático las técnicas moleculares a la Genética, resultando en un éxito extraordinario. Se inicia el acceso en el nivel molecular: La estructura y función de los genes es el próximo frente del avance genético (*Barbadilla, 2019*).



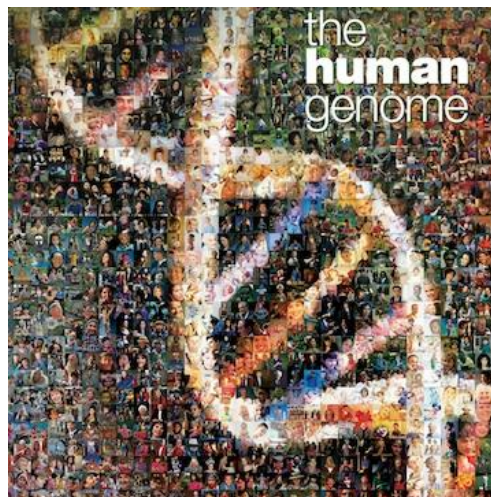
**Imagen 5:** J. Watson y F. Crick junto a su modelo metálico del DNA. : Mediavilla, D. (2019). Retrato de Watson y Crick. [Figura]. Recuperado de <http://esmateria.com/2013/04/25/el-secreto-de-la-vida-cumple-60-anos/>.

1953 constituye un momento culminante en el ámbito de la genética. James Watson y Francis Crick interpretan los datos de difracción de rayos X de Rosalind Franklin y Maurice Wilkins junto con datos de composición de bases de Erwin Chargaff concluyendo que la estructura del ADN es una doble hélice, formada por dos cadenas orientadas en direcciones opuestas (antiparalelas). La estructura 3-D se mantiene gracias a enlaces de hidrógeno entre bases nitrogenadas que se encuentran orientadas hacia el interior de las cadenas. Dicha estructura sugería, de un modo inmediato, como

el material hereditario podía ser duplicado o replicado. Una estructura pasmosamente simple proveía la explicación al secreto de la herencia: La base material (ADN), la estructura (doble hélice 3-D) y la función básica (portador de información codificada que se expresa y se transmite íntegramente entre generaciones). El fenómeno genético era, por fin, inteligible. No debe sorprendernos que el descubrimiento de la doble hélice se considere el más revolucionario y fundamental de toda la historia de la biología (Barbadilla, 2019).

#### La era genómica: El proyecto genoma humano.

El proyecto Genoma humano, con un presupuesto inicial de 3 mil millones de dólares, y promovido por un Consorcio Público Internacional participado por EEUU, Reino Unido, Japón, Francia, Alemania, China y otros países, tenía como objetivo principal la consecución de la secuencia completa del genoma humano, el texto lineal formado por la secuencia de las cuatro bases químicas del ADN que contiene las instrucciones para construir un ser humano. Iniciado en 1990, el proyecto se dio por concluido en el 2003, dos años antes de lo previsto. Otros objetivos del proyecto eran la secuenciación de genomas de otros organismos modelos sobre los que se tenía un amplio conocimiento previo, como la bacteria *Escherichia coli*, la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, el nematodo *Caenorhabditis elegans*, o la mosca del vinagre *Drosophila melanogaster*, y el considerar las implicaciones éticas, legales y sociales que suscitarían los resultados del proyecto (Barbadilla, 2019).



**Imagen 6:** Portada de Nature, proyecto genoma humano . Butler, D., Abbott, A., Spurgeon, D., Adam, D., Cyranoski, D., & Bosch, X. et al. (2019). Portada de Nature sobre el Proyecto genoma humano. [Ilustración]. Recuperado de <https://www.nature.com/nature/volumes/409/issues/6822>

Ocho años después del inicio del proyecto público apareció en escena una empresa privada, *Celera genomics*, presidida por un brillante y revolucionario científico, Craig J. Venter, que lanzó el reto de conseguir la secuencia humana en un tiempo récord, antes del previsto por el Consorcio Público. Proponía una estrategia de secuenciación alternativa a la secuenciación jerárquica que seguía el Consorcio, la secuenciación aleatoria (*shotgun*), con la que había conseguido secuenciar el primer genoma celular en 1995, el de la bacteria *Haemophilus influenzae*. Empieza a partir de ese momento una carrera apasionante por la conquista del genoma humano, que acabaría

finalmente en tablas (Barbadilla, 2019). El 26 de Junio de 2000, en un acto auspiciado por el presidente Bill Clinton y que tuvo como escenario la Casa Blanca, se encontraron los dos máximos representantes de las partes en competición, Venter por Celera, y el director del Consorcio Público, Francis Collins. Se anunció de forma conjunta la consecución de dos borradores de la secuencia completa del genoma humano. Las publicaciones correspondientes de ambas secuencias no aparecieron hasta Febrero de 2001. El Consorcio Público publicó su secuencia en la revista *Nature*, mientras que *Celera genomics*, lo hizo en *Science*. Tres años después, en 2004, el Consorcio publicó la versión final o completa del genoma humano. El proyecto genoma humano había concluido con un éxito rotundo y, en palabras de F. Collins, se iniciaba una nueva era de investigación basada en la genómica que afectaría crucialmente a la biología, a la salud y a la sociedad. Con ello se inaugura una nueva era, que dada la coincidencia con el nuevo siglo.

Debido este gran impacto e importancia de la genética en nuestra sociedad actual, uno de los principales objetivos de esta secuencia didáctica es el de conseguir impartir de forma adecuada conceptos y contenidos propios del Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología de 4º de ESO. Más concretamente, aquellos incluidos en las unidades didácticas dedicadas a la parte de *Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética*. Los principales conceptos que se desarrollarán durante esta actividad didáctica son los siguientes:

**1. Ingeniería genética:** Conocido como el proceso de la utilización de la tecnología del ADN recombinante (ADNr) para alterar la composición genética de un organismo. Tradicionalmente, los seres humanos han manipulado indirectamente los genomas mediante el control de la reproducción, así como seleccionando aquella descendencia que tenga las características deseadas. La ingeniería genética implica la manipulación directa de uno o más genes. La técnica más común, aunque no la única, es que un gen de otra especie se introduzca en el genoma de un organismo para producir el fenotipo deseado (Bodine, 2019).

La ingeniería genética es un término que se introdujo por primera vez en nuestro lenguaje en la década de los 70 para describir la naciente tecnología de recombinación del ADN y algunas de las cosas que estaban ocurriendo alrededor de la misma.

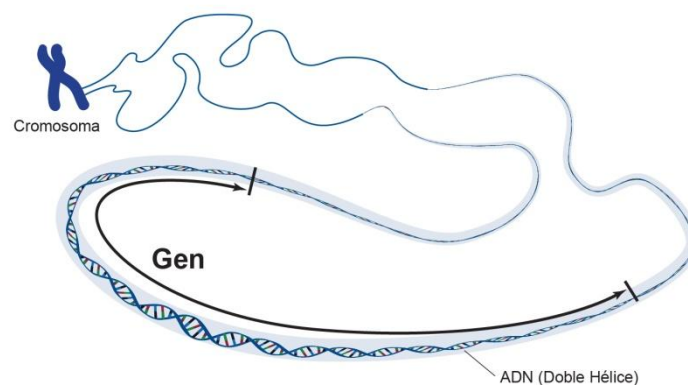
Como la mayoría de la gente que lee libros de texto sabe, la tecnología del ADN recombinante comenzó con experimentos muy simples, como la clonación de partículas muy pequeñas de ADN y su cultivo en bacterias. Hoy día esta rama de la ciencia ha evolucionado a un campo enorme donde genomas completos puede ser clonados y transferidos de una célula a otra, utilizando técnicas que se podrían definir de un modo muy amplio como ingeniería genética (Bodine, 2019).

**2. Biotecnología:** La Biotecnología se define como un área multidisciplinaria, que emplea la biología, la química y procesos varios para su uso en agricultura, farmacia, ciencia de los alimentos, ciencias forestales y medicina ("*¿Qué es la Biotecnología?*", 2019).

La biotecnología se refiere a toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos (Convention on Biological Diversity, Article 2. Use of Terms, United Nations. 1992) ("*¿Qué es la Biotecnología?*", 2019).

La biotecnología, comprende investigación de base y aplicada que integra distintos enfoques derivados de la tecnología y aplicación de las ciencias biológicas, tales como biología celular, molecular, bioinformática y microbiología.

**3. Gen:** El gen es la unidad física básica de la herencia. Los genes se transmiten de los padres a la descendencia y contienen la información necesaria para precisar sus rasgos. Los genes están dispuestos, uno tras otro, en estructuras llamadas cromosomas. Un cromosoma contiene una única molécula larga de ADN, sólo una parte de la cual corresponde a un gen individual. Los seres humanos tienen aproximadamente 20.000 genes organizados en sus cromosomas (Collins, 2019).



**Imagen 7:** Estructura de un gen. Collins, F. (2019). Gen. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Gen>.

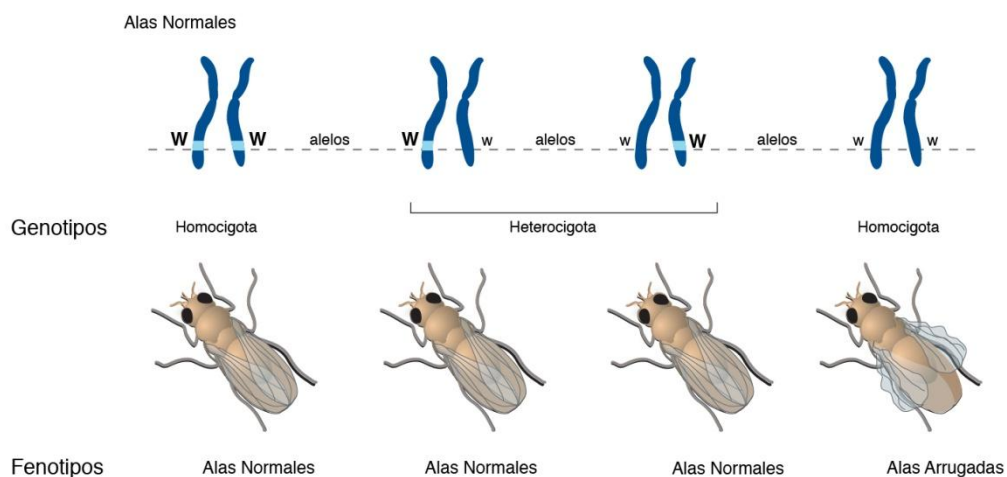
Un gen puede ser tan pequeño como unos pocos cientos de pares de bases o tan largo como miles. Los genes BRCA1 y BRCA2, por ejemplo, son enormes, muy largos. El gen de la beta-globina, por el contrario, sólo tiene unos pocos cientos de nucleótidos. La forma habitual de visualizar un gen es un paquete de información que, en general, codifica para una proteína (Collins, 2019). Por supuesto, el gen no lleva a cabo su función en el ADN. Es la proteína producida a partir del mismo la que realiza la actividad. Esto se ha vuelto un poco más lioso porque hay veces en que un gen no hace sólo una proteína. A menudo, a causa de un procesamiento alternativo, un gen puede producir múltiples proteínas. Y por supuesto, hay genes que ni siquiera hacen ninguna proteína. Dan lugar a moléculas de ARN que tienen algún papel funcional. Y algunas personas han comenzado a cuestionar si el término "gen" es útil, ya que se ha vuelto tan complicado (Collins, 2019).

**4. Genotipo:** Un genotipo es la colección de genes de un individuo. El término también puede referirse a los dos alelos heredados de un gen en particular. El genotipo se expresa cuando la información codificada en el ADN de los genes se utiliza para fabricar proteínas y moléculas de ARN. La expresión del genotipo contribuye a los rasgos observables del individuo, lo que se denomina el fenotipo (*Austin, 2019*).

El genotipo es, simplemente, la versión de la secuencia de ADN que un individuo tiene. Todos tenemos gran cantidad de ADN en común, por supuesto, por eso todos somos seres humanos, pero también hay una gran cantidad de variación en la secuencia entre distintos individuos. Y esas diferencias específicas en la secuencia, normalmente refiriéndose a un gen concreto, se denominan genotipo. Hoy en día, con nuestra capacidad de detectar muchas diferencias en las secuencias de diferentes individuos, el término genotipo ha adquirido una connotación que se refiere más a una diferencia en la secuencia en un lugar concreto en un gen específico. Cuando se utiliza de esta manera, por lo general, se relaciona con otro término denominado fenotipo (*Austin, 2019*). El cambio de secuencia con frecuencia, no siempre, pero con frecuencia, está relacionado con un cambio en un rasgo externo; algo que es observable, como la altura, el color de cabello o la aparición de una enfermedad. Y en ese caso, hablamos de una correlación genotipo-fenotipo. Entonces, de lo que estamos hablando, es de un cambio en la secuencia de ADN, ¿por qué es importante? Es importante porque conduce a un cambio observable en un rasgo de una persona. Y dicho cambio en el rasgo puede ser positivo, puede ser negativo, o ser una simple diferencia fenotipo (*Austin, 2019*).

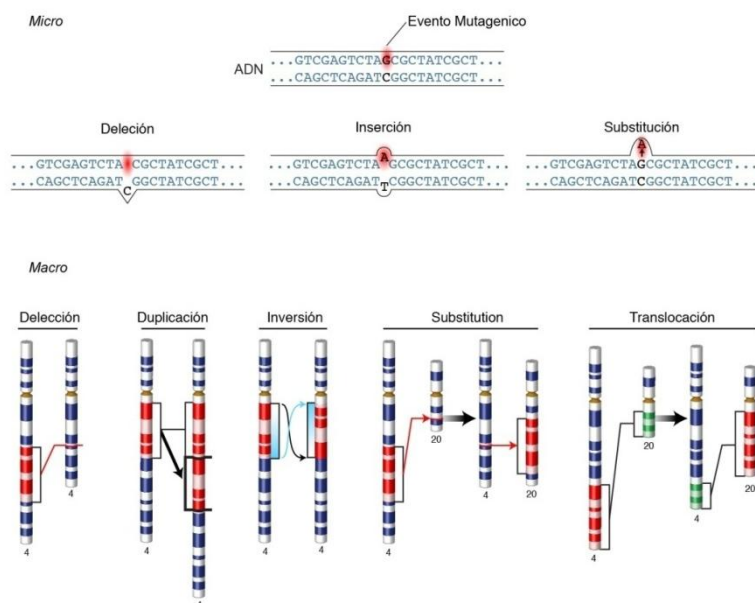
**5. Fenotipo:** El fenotipo constituye los rasgos observables de un individuo, tales como la altura, el color de ojos, y el grupo sanguíneo. La contribución genética al fenotipo se llama genotipo. Algunos rasgos son determinados en gran medida por el genotipo, mientras que otros rasgos están determinados en gran medida por factores ambientales (*Austin, 2019*).

"Fenotipo" simplemente se refiere a un rasgo observable. "Fenotipo" simplemente significa "observar" y tiene la misma raíz que la palabra "fenómeno". Y como tal es un algo observable en un organismo, y puede referirse a cualquier cosa, desde un rasgo común, como la estatura o el color del cabello, a la presencia o ausencia de una enfermedad. Pero es importante recordar que los fenotipos son igualmente, o incluso a veces mayormente, influenciados por los factores ambientales que por los efectos genéticos. Así que un fenotipo puede estar directamente relacionado con un genotipo, pero no necesariamente. Por lo general no hay una correlación uno a uno entre un genotipo y un fenotipo. Casi siempre hay factores ambientales, como lo que uno come, si hace ejercicio, cuánto fuma, etc. Todas esas son influencias ambientales que también afectan al fenotipo (*Austin, 2019*).



**Imagen 8:** Relación entre genotipo y fenotipo . Austin, C. (2019). Genotipo. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Genotipo>.

**6. Mutación:** Una mutación es un cambio en la secuencia del ADN. Las mutaciones pueden ser el resultado de errores en la copia del ADN durante la división celular, la exposición a radiaciones ionizantes o a sustancias químicas denominadas mutágenos, o infección por virus. Las mutaciones de la línea germinal se producen en los óvulos y el espermatozoides y puede transmitirse a la descendencia, mientras que las mutaciones somáticas se producen en las células del cuerpo y no se transmiten a los hijos (Collins, 2019).

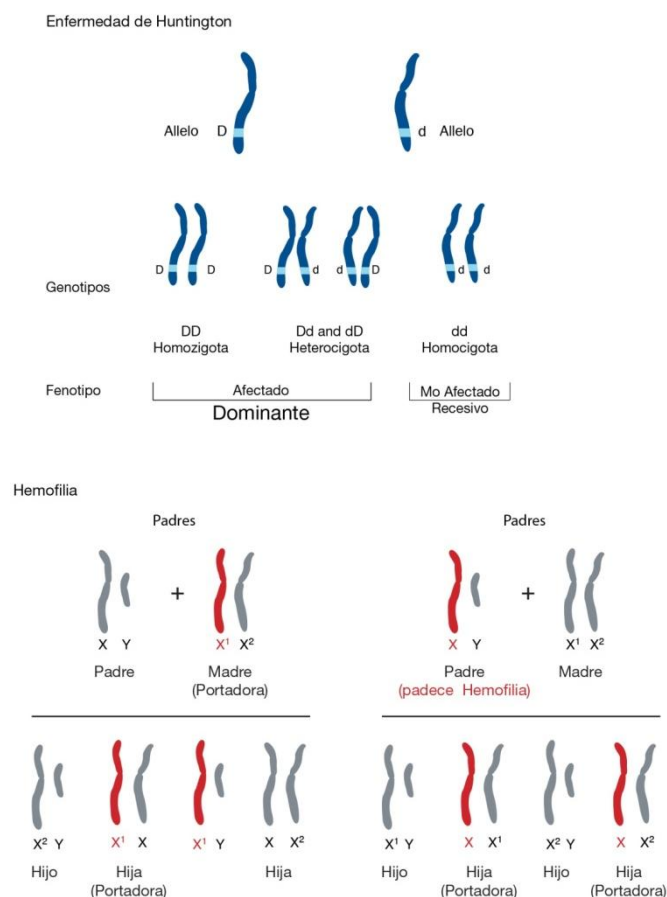


**Imagen 9:** Eventos mutagénicos macroscópicos y microscópicos. Collins, F. (2019). Mutación. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Mutacion>.

Las mutaciones han sido fuente de inspiración de muchas películas de Hollywood, pero en realidad es simplemente un error cometido al copiar una secuencia de ADN.

Algunas de ellas forman parte del ruido de fondo, ya que el proceso de replicación del ADN no es perfecto, de lo cual debemos estar contentos o no existiría la evolución. Pero una mutación también puede ser inducida por factores como la radiación o sustancias cancerígenas, de forma que puede aumentar el riesgo de padecer cáncer o defectos congénitos. En el fondo es bastante simple, no es más que una falta de ortografía inducida de la secuencia de ADN. Eso es una mutación (Collins, 2019).

**7. Herencia genética mendeliana:** La herencia mendeliana se refiere a los patrones de herencia que son característicos de los organismos que se reproducen sexualmente. El monje austriaco Gregor Mendel llevó a cabo a mediados del siglo XIX, miles de cruces con distintas variedades de la planta del guisante. Mendel explicó sus resultados describiendo las dos leyes de la herencia genética que introdujeron la idea de los rasgos dominantes y los recesivos (Collins, 2019).

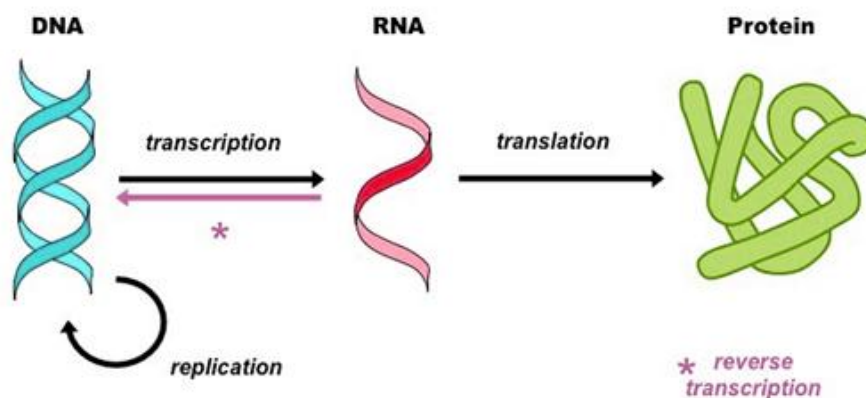


**Imagen 10:** Típico patrón de enfermedad con herencia mendeliana . Collins, F. (2019). Herencia mendeliana. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Herencia-mendeliana>.

**8. ADN:** ADN es el nombre químico de la molécula que contiene la información genética en todos los seres vivos. La molécula de ADN consiste en dos cadenas que se enrollan entre ellas para formar una estructura de doble hélice. Cada cadena tiene una

parte central formada por azúcares (desoxirribosa) y grupos fosfato. Anclado a cada azúcar hay una de las siguientes 4 bases nitrogenadas: Adenina (A), Citosina (C), Guanina (G), y Timina (T). Las dos cadenas se mantienen unidas por enlaces entre las bases; la Adenina se enlaza con la Timina, y la citosina con la guanina. La secuencia de estas bases a lo largo de la cadena es lo que codifica las instrucciones para formar proteínas y moléculas de ARN (Austin, 2019).

El ADN, o ácido desoxirribonucleico, es la molécula que contiene la información genética de todos los seres vivos, incluso algunos virus. El nombre viene de su estructura. El ADN tiene una parte central con un azúcar y un fosfato, a la que se enlazan unas moléculas llamadas bases (Austin, 2019). La desoxirribosa se refiere al azúcar, y el nucleico es el ácido formado por el fosfato y la base nitrogenada. Estas bases pueden ser de 4 tipos: Adenina, citosina, timina y guanina, nombradas normalmente como A, C, T, G. Y el orden en que se combinen una después de la otra, es lo que codifica la información genética. El ADN se organiza estructuralmente en cromosomas. A nivel funcional se organiza en genes, que son piezas de ADN que generan características físicas específicas. Estas características no vienen directamente del propio ADN, sino de una molécula llamada ARN, formada a partir del ADN, la cual codifica una proteína. Esto es lo que se llama el dogma central de la biología molecular: en el ADN hay genes que generan ARNs mensajeros, y estos generan proteínas. Y esto es lo que da las diferentes características físicas que observamos en individuos, como el color de ojos, o la altura. También se ha visto que algunas veces estas instrucciones están almacenadas directamente en el ARN, sin necesidad de pasar a proteínas, como en el caso de los micro ARNs. Pero estos suelen ser una excepción (Austin, 2019).



**Imagen 11:** Dogma central de la Biología molecular. Dogma Central De La Biología Molecular. (2019). Mecanismo de expresión del ADN. [Figura]. Recuperado de <https://www.frases333.com/dogma-central-de-la-biologia-molecular/>.

**9. Herencia vertical:** La transmisión vertical consiste en la transmisión de una infección u otra enfermedad de uno de los progenitores, ya sea la madre o el padre, a su hijo, esta puede ser antes del nacimiento (congénita), durante el parto (perinatal) y después del parto (neonatal). La transmisibilidad de un agente

patógeno se refiere a su capacidad para transmitirse verticalmente ("*Transmisión vertical*", 2019).

**10. Código genético:** El código genético constituye las instrucciones que le indican a la célula cómo hacer una proteína específica. A, T, C y G, son las "letras" del código del ADN; representan los compuestos químicos adenina (A), timina (T), citosina (C) y guanina (G), respectivamente, que constituyen las bases de nucleótidos del ADN. El código para cada gen combina los cuatro compuestos químicos de diferentes maneras para formar "palabras" de tres letras las cuales especifican qué aminoácidos se necesitan en cada paso de la síntesis de una proteína (Brody, 2019).

Tabla de los codones del RNA

| 1era posición | U                        | C                        | A                          | G                         | 3ra posición     |
|---------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------------------|
| U             | Phe<br>Phe<br>Leu<br>Leu | Ser<br>Ser<br>Ser<br>Ser | Tyr<br>Tyr<br>stop<br>stop | Cys<br>Cys<br>stop<br>Trp | U<br>C<br>A<br>G |
| C             | Leu<br>Leu<br>Leu<br>Leu | Pro<br>Pro<br>Pro<br>Pro | His<br>His<br>Gln<br>Gln   | Arg<br>Arg<br>Arg<br>Arg  | U<br>C<br>A<br>G |
| A             | Ile<br>Ile<br>Ile<br>Met | Thr<br>Thr<br>Thr<br>Thr | Asn<br>Asn<br>Lys<br>Lys   | Ser<br>Ser<br>Arg<br>Arg  | U<br>C<br>A<br>G |
| G             | Val<br>Val<br>Val<br>Val | Ala<br>Ala<br>Ala<br>Ala | Asp<br>Asp<br>Glu<br>Glu   | Gly<br>Gly<br>Gly<br>Gly  | U<br>C<br>A<br>G |
| Amino Acidos  |                          |                          |                            |                           |                  |

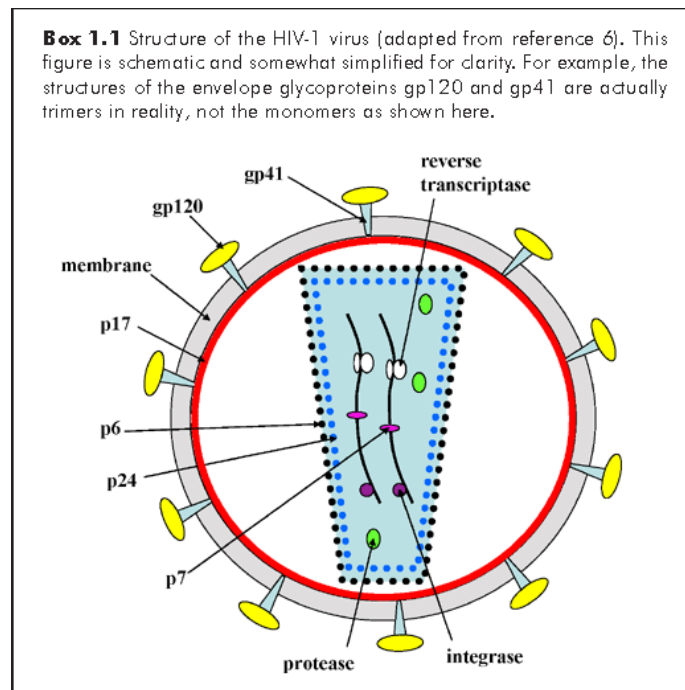
Ala: Alanina      Gln: Glutamina      Leu: Leucina      Ser: Serina  
 Arg: Arginina    Glu: Ácido glutámico    Lys: Lisina      Thr: Treonina  
 Asn: Asparagina    Gly: Glicina      Met: Metionina    Trp: Triptofano  
 Asp: Ácido Aspártico    His: Histidina    Phe: Fenilalanina    Tyr: Tirosina  
 Cys: Cisteína      Ile: Isoleucina    Pro: Prolina      Val: Valina

**Imagen 12:** Tabla de codones codificantes para aminoácidos. Brody, L. (2019). Código genético. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Codigo-genetico>.

El código genético es el término que usamos para nombrar la forma en que las cuatro bases del ADN - A, C, G y T - se encadenan de forma que la maquinaria celular, el ribosoma, pueda leerlos y convertirlos en una proteína. En el código genético, cada tres nucleótidos consecutivos actúa como un triplete que codifica un aminoácido. De este modo cada tres nucleótidos codifican para un aminoácido. Por esta razón se dice que el código genético es un código de tripletes. Cada triplete de ADN va a dar lugar durante la transcripción a un codón en el ARN, el cual dará lugar durante la traducción a un aminoácido de la proteína. Las proteínas se componen a veces de cientos de aminoácidos. Así que el código de una proteína podría contener cientos, a veces incluso miles, de tripletes (Brody, 2019).

**11. VIH:** El SIDA es un conjunto de síntomas que se conocen como el síndrome de la inmunodeficiencia adquirida. Está causado por la infección del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), que produce un daño en las células del sistema

inmune, de forma que, las personas que lo padecen, son susceptibles a otras infecciones y al desarrollo de ciertos tipos de cánceres. No existe cura para el SIDA, pero se dispone de medicamentos capaces de frenar el progreso de la enfermedad (Bodine, 2019).



**Imagen 13:** Estructura del VIH . Tang, W. and Chang, KS. (2019). Estructura del VIH. [Figura]. Recuperado de <https://www.aids.gov.hk/pdf/g190htm/01.htm>.

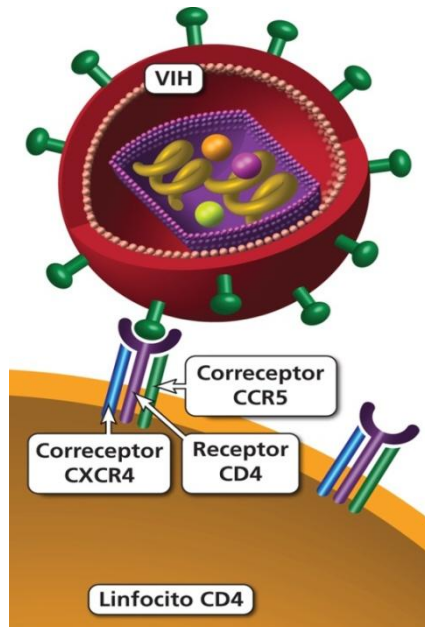
SIDA son las siglas del Síndrome de la Inmuno-Deficiencia Adquirida. Se empezó a hablar de este problema de salud en los años '80, en Estados Unidos. El SIDA está causado por un virus llamado virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), que fue aislado y purificado a mediados de los '80. A finales de esta misma década, se desarrolló un test que permitía detectar si una persona estaba infectada por este virus. El virus (VIH) interacciona con un tipo concreto de glóbulos blancos de la sangre, llamados células T. Para entrar dentro de estas células del sistema inmune, se une a unas moléculas que hay en la superficie celular. Lo que pasa cuando el virus entra en la células T de la sangre es lo siguiente: el VIH es un retrovirus, lo que significa que tiene un ARN genómico que debe convertirse en ADN (Bodine, 2019). Una vez el ARN ha pasado a ADN, se integra en el propio genoma de la célula infectada, llamada célula huésped. A su vez, el ADN integrado puede dar lugar a muchas copias de ARN porque utiliza la maquinaria de la célula infectada. Las copias de ARN, una vez en el citoplasma de la célula, permiten construir proteínas. Otro tipo de ARN y algunas proteínas se empaquetan formando nuevos elementos infecciosos o viriones, que pueden salir para infectar a otras células T. Cuando el VIH se está expandiendo por las células T, éstas pierden su función. A medida que el virus se extiende por el organismo, el sistema inmune del paciente se va volviendo débil, por eso aparece el síndrome de inmunodeficiencia (Bodine, 2019). Actualmente, no es posible eliminar el virus cuando ya está distribuido por el organismo. Pero hay medicamentos que inhiben el VIH en

distintas etapas de su ciclo. A principios de los años '90 un graduado de Boston experimentó con tres sustancias medicamentosas de forma separada, mostrando que cada una era capaz de interferir en un momento concreto del ciclo del virus. La idea era que, si estas sustancias eran bastante útiles por separado, quizás las tres juntas serían más efectivas, y sumarían esfuerzos. Se intentó confirmar esta hipótesis con ensayos clínicos. Y, a partir de aquí, se llegó a la estrategia terapéutica en el tratamiento del SIDA que tenemos actualmente; es lo que se conoce como la terapia combinada, porque combina los tres medicamentos. Este tratamiento enlentece mucho la expansión del virus VIH y permite al paciente llevar una vida casi normal. Existen algunos efectos secundarios con el uso de estos medicamentos, pero, de momento, esta es la mejor opción para lidiar con el virus mientras no se pueda erradicar o curar del todo (*Bodine, 2019*).

**12. Mosaicismo:** El mosaicismo se define como la presencia de dos o más poblaciones celulares con diferente composición genética en el mismo organismo. Este fenómeno se debe a la aparición de errores en el ADN durante las múltiples divisiones mitóticas que tienen lugar durante el desarrollo. El número de células o la cantidad de tejidos afectados que contienen una mutación depende del momento del desarrollo en el que ésta se produce y en el caso de que las células contribuyan a la línea germinal, la mutación puede ser transmitida a los hijos (*Picton, 2019*).

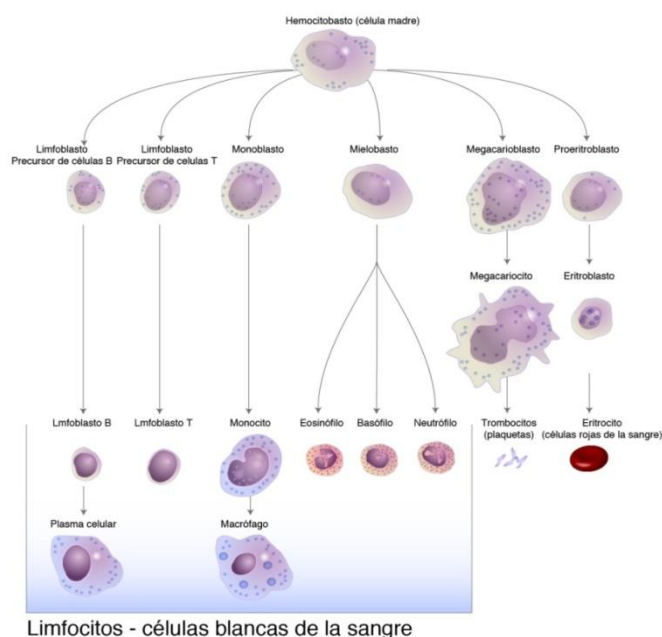
La idea de la presencia de mosaicismo afectando la línea germinal de uno de los padres ha sido utilizada con frecuencia para explicar la recurrencia de algunos desórdenes dominantes, ya que es posible que en los individuos mosaico la mutación no esté lo suficientemente extendida o afecte a la población celular susceptible necesaria como para desarrollar la enfermedad (*Picton, 2019*).

**13. Receptor CCR5:** Proteína de la superficie de ciertos inmunocitos, incluso de los linfocitos (las células) T-CD4. El CCR5 puede obrar como correceptor (un segundo sitio de unión a los receptores) del VIH cuando el virus entra a la célula huésped ("*CCR5 Definición*", 2019).



**Imagen 14:** Unión entre receptor CCR5 y el virus del VIH. CCR5 Definición. (2019). Estructura del receptor CCR5. [Figura]. Recuperado de <https://infosida.nih.gov/understanding-hiv-aids/glossary/979/ccr5>.

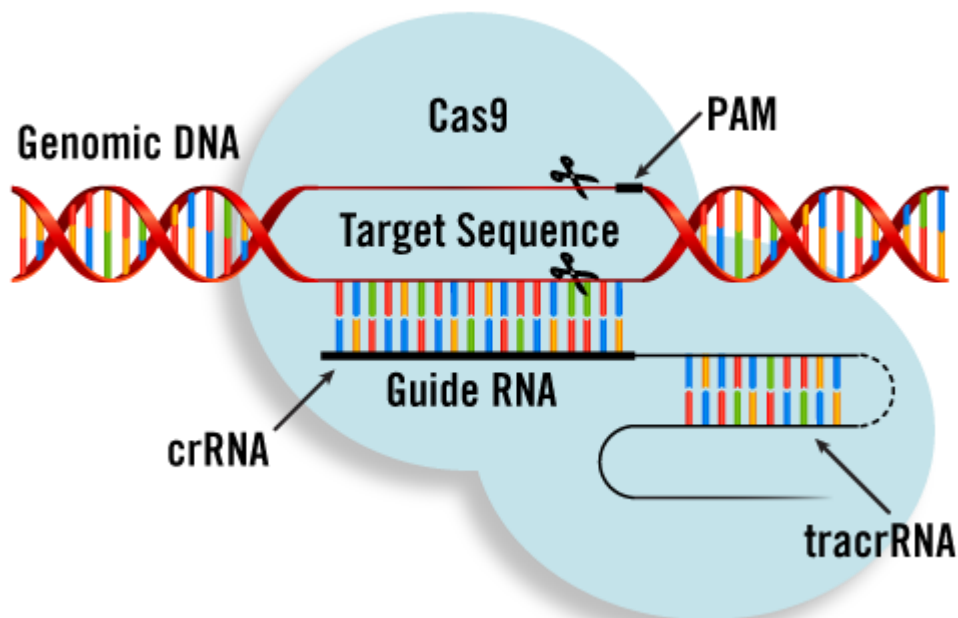
**14. Linfocitos:** Un linfocito es un tipo de glóbulo blanco que es parte del sistema inmune. Hay dos tipos principales de linfocitos: las células B y las células T. Las células B elaboran los anticuerpos para luchar contra bacterias, virus y toxinas invasoras. Las células T destruyen las propias células del cuerpo que han sido infectadas por virus o que se han vuelto cancerosas (Brody, 2019).



**Imagen 15:** Desarrollo de linfocitos a partir de células madre hematopoyéticas. Brody, L. (2019). Linfocito. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Linfocito>.

Los linfocitos son células que circulan en la sangre y son parte del sistema inmunológico. Hay dos tipos principales de linfocitos: células T y células B. Las células B producen anticuerpos los cuales se unen y destruyen los virus o las bacterias invasoras. Las células T son combatientes directos de los invasores extraños y también productoras de citoquinas, las cuales son sustancias biológicas que ayudan a activar otros componentes del sistema inmunológico, uno de los cuales son los macrófagos. Dichos macrófagos actúan limpiando los restos de los invasores y el tejido muerto después de una respuesta inmune (Brody, 2019).

**15. CRISPR cas9: Técnica de Ingeniería genética:** La tecnología CRISPR/Cas9 es una herramienta molecular utilizada para “editar” o “corregir” el genoma de cualquier célula. Eso incluye, claro está, a las células humanas. Sería algo así como unas tijeras moleculares que son capaces de cortar cualquier molécula de ADN haciéndolo además de una manera muy precisa y totalmente controlada (Morán, 2019). Esa capacidad de cortar el ADN es lo que permite modificar su secuencia, eliminando o insertando nuevo ADN. El sistema CRISPR/Cas9 fue descubierto como un mecanismo de defensa adaptativa utilizado por Archea y bacterias para degradar material genético extraño (Morán, 2019).



**Imagen 16:** Funcionamiento de la técnica CRISPR cas9. MoBiTec: CRISPR/Cas9 Genome Editing: Transfection Methods from Mirus. (2019). Mecanismo de acción de CRISPR/Cas9 [Figura]. Recuperado de [https://www.mobitec.com/cms/products/bio/02\\_genomics/crispr-cas-transfection.html](https://www.mobitec.com/cms/products/bio/02_genomics/crispr-cas-transfection.html).

**16. Implantación "in vitro" (FIV):** Normalmente, un óvulo y un espermatozoide se fecundan dentro del cuerpo de una mujer. Si el óvulo fecundado se fija o adhiere al revestimiento del útero y sigue creciendo, nace un bebé aproximadamente a los 9 meses, un proceso llamado concepción natural o sin ayuda (*"Fecundación in vitro (FIV): MedlinePlus enciclopedia médica", 2019*).

La FIV es una forma de tecnología de reproducción asistida (ART, por sus siglas en inglés). Esto quiere decir la utilización de técnicas médicas especiales para ayudar a una mujer a quedar embarazada. Se usa muy frecuentemente cuando han fallado otras técnicas de fecundación menos costosas.

Existen cinco pasos básicos para la FIV (*"Fecundación in vitro (FIV): MedlinePlus enciclopedia médica", 2019*).

**Paso 1: Estimulación, también llamada superovulación.**

- A la mujer se le administran medicamentos, comúnmente llamados fármacos para la fertilidad, con el fin de incrementar la producción de óvulos.
- Normalmente, una mujer produce un óvulo por mes. Los fármacos para la fertilidad hacen que los ovarios produzcan varios óvulos.
- Durante este paso, la mujer será sometida a ultrasonidos transvaginales regulares para examinar los ovarios y a exámenes de sangre para verificar los niveles hormonales.

**Paso 2: Retiro del óvulo**

- Se lleva a cabo una cirugía menor, llamada aspiración folicular, para retirar los óvulos del cuerpo de la mujer.
- El procedimiento casi siempre se realiza en forma ambulatoria en el consultorio médico. A la mujer se le administran medicamentos de tal manera que no sienta dolor durante el procedimiento. Utilizando imágenes de ultrasonido como guía, el proveedor de atención médica introduce una aguja delgada a través de la vagina y dentro del ovario y los sacos (folículos) que contienen los óvulos. La aguja se conecta a un dispositivo de succión, que extrae los óvulos y el líquido fuera del folículo, uno a la vez.
- El procedimiento se repite para el otro ovario. La mujer puede presentar algunos cólicos después de la cirugía, pero esto generalmente desaparece en cuestión de un día.
- En pocas ocasiones, se puede necesitar una laparoscopia pélvica para retirar los óvulos. Si una mujer no produce o no puede producir ningún óvulo, se pueden utilizar óvulos donados.

### Paso 3: Inseminación y fecundación

- El espermatozoide del hombre se coloca junto con los óvulos de mejor calidad. La mezcla de espermatozoide y óvulo se denomina inseminación.
- Los óvulos y el espermatozoide luego se almacenan en una cámara ambientalmente controlada. Generalmente, el espermatozoide entra en (fecunda) un óvulo unas cuantas horas después de la inseminación.
- Si el médico piensa que la probabilidad de fecundación es baja, se puede inyectar directamente el espermatozoide dentro del óvulo, lo cual se denomina inyección intracitoplásmica de espermatozoides (ICSI, por sus siglas en inglés).
- Muchos programas de fertilidad llevan a cabo, de manera rutinaria, el ICSI en algunos de los óvulos incluso si todo parece normal.

### Paso 4: Cultivo del embrión

- Cuando el óvulo fecundado se divide, se convierte en un embrión y el personal de laboratorio lo vigilará regularmente para asegurarse de que esté creciendo de manera apropiada. En aproximadamente 5 días, el embrión tiene varias células que se están dividiendo activamente.
- Las parejas que tienen un riesgo alto de transmitir un trastorno genético (hereditario) a un hijo pueden contemplar la posibilidad de hacerse un diagnóstico genético preimplantatorio (PGD, por sus siglas en inglés). El procedimiento se hace aproximadamente de 3 a 4 días después de la fecundación. Los científicos del laboratorio retiran una sola célula de cada embrión y examinan el material en búsqueda de trastornos genéticos específicos.
- De acuerdo con la American Society for Reproductive Medicine (Sociedad Estadounidense para la Medicina Reproductiva), *el PGD puede ayudar a los padres a decidir qué embriones implantar, lo cual disminuye la probabilidad de transmitirle un trastorno al hijo. La técnica es polémica y no se ofrece en todos los centros médicos.*

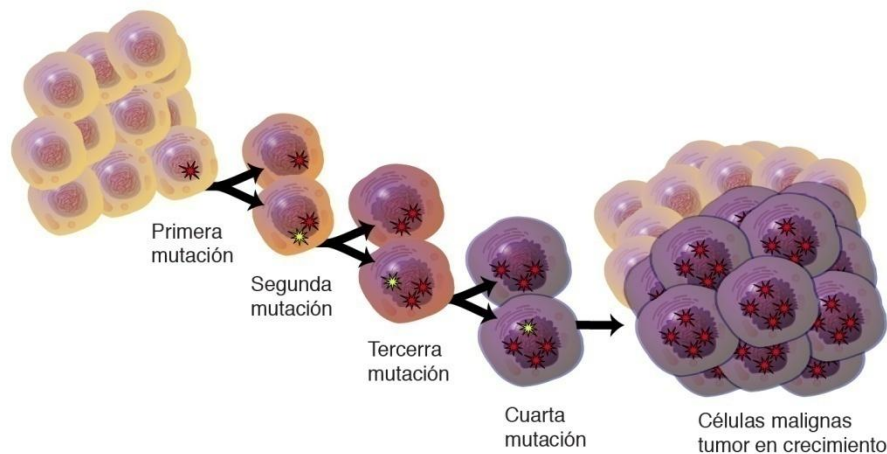
### Paso 5: Transferencia del embrión

- Los embriones son colocados dentro del útero de la mujer de 3 a 5 días después del retiro y fecundación del óvulo.
- El procedimiento se hace en el consultorio del médico mientras la mujer está despierta. El médico introduce un tubo delgado (catéter) que contiene los embriones, dentro de la vagina a través del cuello uterino hasta el interior del útero. Si un embrión se pega (se implanta) en el revestimiento del útero y crece allí, se presenta el embarazo.
- Se puede colocar más de un embrión dentro de la vagina al mismo tiempo, lo cual puede llevar a gemelos, trillizos o más. El número exacto de embriones

transferidos es un asunto complejo que depende de muchos factores, especialmente la edad de la mujer.

- Los embriones que no se utilizan se pueden congelar e implantar o donar en una fecha posterior.

**17. Cáncer:** El cáncer constituye un grupo de enfermedades caracterizadas por un crecimiento celular descontrolado. El cáncer empieza cuando una única célula muta, y se alteran los controles de regulación que mantienen a la división celular en correcto funcionamiento (pro-oncogenes, genes supresores de tumores). Estas mutaciones pueden ser heredadas, causadas por errores en la replicación del ADN, o el resultado de la exposición a sustancias químicas nocivas. Un tumor canceroso puede propagarse a otras partes del cuerpo en un proceso denominado metástasis, y si no se trata, puede llegar a ser fatal (Ostrander, 2019).



**Imagen 17:** Proceso de transformación tumoral. Ostrander, E. (2019). Cáncer. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Cancer>.

Al cáncer a menudo se le denomina "la Gran C". El cáncer no es realmente una enfermedad, sino un grupo de enfermedades, y lo que tienen en común es el crecimiento celular descontrolado (Ostrander, 2019). Esto es importante: El cáncer comienza normalmente en el cuerpo muchos, muchos años antes de que su médico lo diagnostique. Empieza cuando una célula determinada sufre suficientes mutaciones genéticas como para provocar una ruptura de los procesos normales que mantienen a la división celular bajo control. Dicho de una manera simple, las células se vuelven locas y no paran de dividirse una y otra y otra vez de forma descontrolada, hasta terminar causando un tumor. Las mutaciones pueden ser heredadas. Es decir, podrían estar ya presentes en el ADN de su madre o de su padre. También pueden ser causadas por errores en la replicación del ADN, ya que la maquinaria de la célula responsable de la duplicación no siempre funciona perfectamente (Ostrander, 2019). O también pueden ser debidas a la exposición a productos químicos peligrosos. Un tumor canceroso puede propagarse a otras partes del cuerpo, en un proceso que se

denomina metástasis. Y en general, si no es tratado, el cáncer termina a menudo siendo mortal (*Ostrander, 2019*).

#### **18. Mecanismos de reparación génica:**

- Las células tienen varios mecanismos para prevenir mutaciones, o cambios permanentes en la secuencia del ADN.
- Durante la síntesis de ADN, la mayoría de las ADN polimerasas "comprueban su trabajo" y arreglan la mayoría de las bases mal emparejadas en un proceso llamado corrección.

Inmediatamente después de la síntesis de ADN, es posible detectar y reemplazar cualquier base mal emparejada restante en un proceso llamado reparación de mal apareamiento (*"Revisión y reparación del ADN", 2019*).

- Si el ADN se daña, se puede reparar por varios mecanismos, que incluyen reversión química, reparación por escisión y reparación de ruptura de la doble cadena.

¿Qué tiene que ver el ADN con el cáncer? El cáncer se produce cuando las células se dividen de forma descontrolada, ignorando las señales normales de "alto" hasta producir un tumor. Este mal comportamiento es causado por mutaciones acumuladas, cambios permanentes en la secuencia del ADN de las células.

Todo el tiempo ocurren errores de replicación y daños al ADN en las células de nuestro cuerpo. Sin embargo, en la mayoría de los casos no causan cáncer, ni siquiera mutaciones. Eso es porque suelen detectarse y repararse por mecanismos de corrección y reparación del ADN. Si por el contrario, el daño no se puede reparar, la célula experimentará muerte celular programada (apoptosis) para evitar heredar el ADN defectuoso (*"Revisión y reparación del ADN", 2019*).

Las mutaciones ocurren y se heredan a células hijas solo cuando estos mecanismos fallan. A su vez, el cáncer solo se desarrolla al acumularse múltiples mutaciones en genes relacionados con la división en una misma célula.

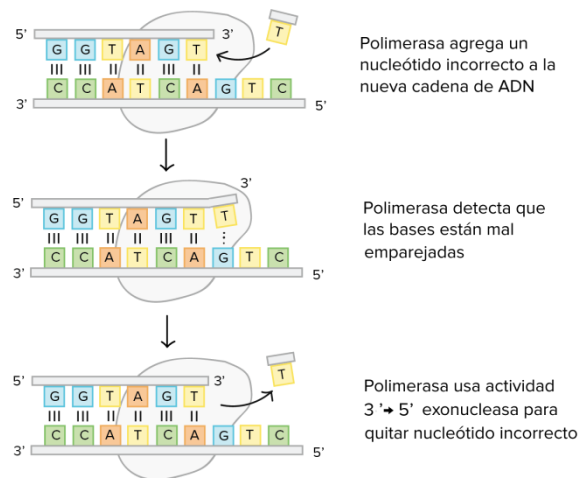
Sin embargo, las células presentan mecanismos para corregir los errores de la replicación y reparar daños al ADN, como:

- La revisión, que corrige errores durante la replicación del ADN.
- La reparación de mal apareamiento, que arregla bases mal emparejadas justo después de la replicación del ADN.
- Las vías de reparación de daño al ADN, que detectan y corrigen daños durante todo el ciclo celular.

#### **Revisión:**

Las ADN polimerasas son las enzimas que forman el ADN en las células. Durante la replicación (copiado) del ADN, la mayoría de las ADN polimerasas pueden "revisar su

trabajo" con cada base que añaden. Este proceso se llama **revisión**. Si la polimerasa detecta que ha agregado un nucleótido equivocado (apareado incorrectamente), lo quita y reemplaza enseguida, antes de continuar con la síntesis de ADN ("*Revisión y reparación del ADN*", 2019).



**Imagen 18:** Revisión del ADN ("*Revisión y reparación del ADN*", 2019) Revisión y reparación del ADN. (2019). Mecanismo de revisión . [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

### Proceso de Revisión:

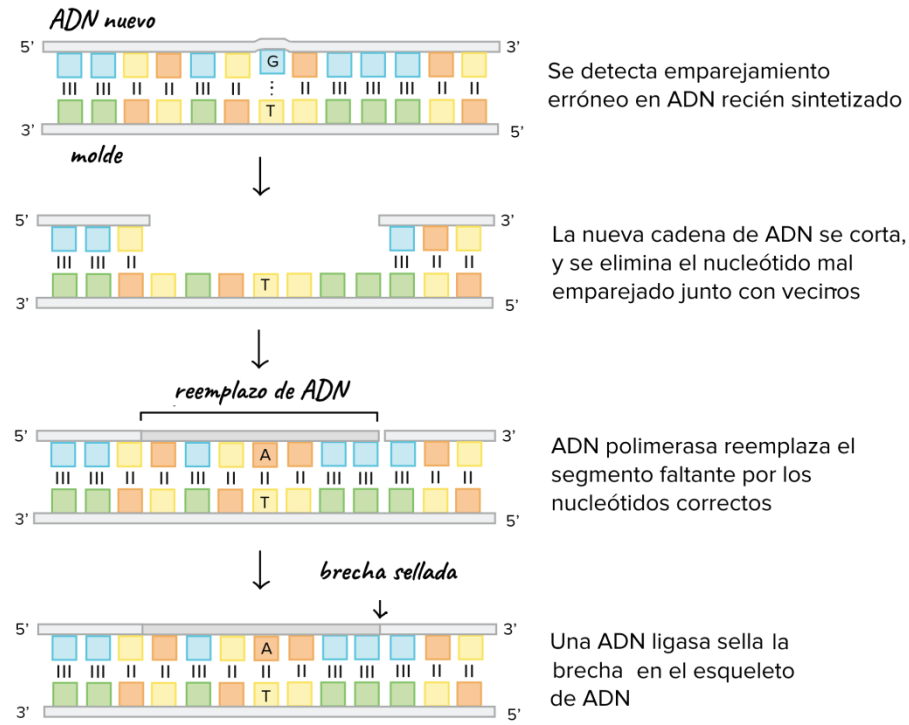
1. La ADN polimerasa agrega una nueva base en el extremo 3' de la nueva cadena creciente (el molde tiene una G y la polimerasa añade incorrectamente a la cadena nueva una T en lugar de una C).
2. La polimerasa detecta que las bases están mal emparejadas.
3. La polimerasa usa su actividad exonucleasa 3'-5' para quitar la T incorrecta en el extremo 3' de la cadena nueva.

### Reparación de mal apareamiento:

Muchos errores se corrigen con la revisión, pero algunos se escapan. La reparación de mal apareamiento sucede justo después de que se ha hecho ADN nuevo, y su función es eliminar y reemplazar las bases mal apareadas (las que no se arreglaron durante la revisión). La reparación de mal apareamiento también puede detectar y corregir pequeñas inserciones y deleciones que suceden cuando las polimerasas "se resbalan" y pierden su lugar sobre el molde.

¿Cómo funciona la reparación de mal apareamiento? Primero, un complejo proteico (grupo de proteínas) reconoce y se une a la base mal apareada. Un segundo complejo corta el ADN cerca de la pareja errónea y otras enzimas cortan el nucleótido incorrecto

junto con un segmento de ADN circundante. Luego, una ADN polimerasa reemplaza la sección faltante con los nucleótidos correctos y una enzima llamada ADN ligasa sella el espacio ADN ("*Revisión y reparación del ADN*", 2019).



**Imagen 19:** Reparación de apareamientos erróneos. Revisión y reparación del ADN. (2019). Mecanismo de reparación del mal apareamiento. [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

### Proceso de reparación de mal apareamiento:

1. Se detecta un emparejamiento erróneo en el ADN recién sintetizado. Hay una G en la cadena nueva que se empareja con una T en la cadena molde (la original).
2. La nueva cadena de ADN se corta, y se elimina un segmento del ADN que contiene el nucleótido mal emparejado junto con sus vecinos.
3. Una ADN polimerasa sustituye el segmento faltante por los nucleótidos correctos.
4. Una ADN ligasa sella la brecha resultante en el esqueleto del ADN.

Quizás te preguntes cómo es que las proteínas que participan en la reparación del ADN saben "qué está bien" durante la reparación de mal apareamiento. Es decir, cuando dos bases están mal apareadas (como G y T en el dibujo anterior), cuál de las dos se debe eliminar y reemplazar?

En bacterias, las cadenas de ADN originales y recién hechas se pueden diferenciar por una característica llamada *estado de metilación*. Una cadena de ADN antigua tiene grupos metilo ( $\text{CH}_3$ ) en algunas de sus bases, mientras que una cadena de ADN recién

hecha todavía no habrá recibido su grupo metilo ("*Revisión y reparación del ADN*", 2019).

En eucariontes, los procesos que permiten identificar la cadena original en la reparación de mal apareamiento usan el reconocimiento de mellas (rupturas en las cadenas sencillas) presentes solo en el ADN recién sintetizado.

#### Mecanismos de reparación de daños al ADN:

En casi cualquier punto en la vida de una célula le pueden producirse daños en el ADN, no solo durante la replicación. De hecho, tu ADN se daña todo el tiempo por factores externos como la luz UV, productos químicos y los rayos X.

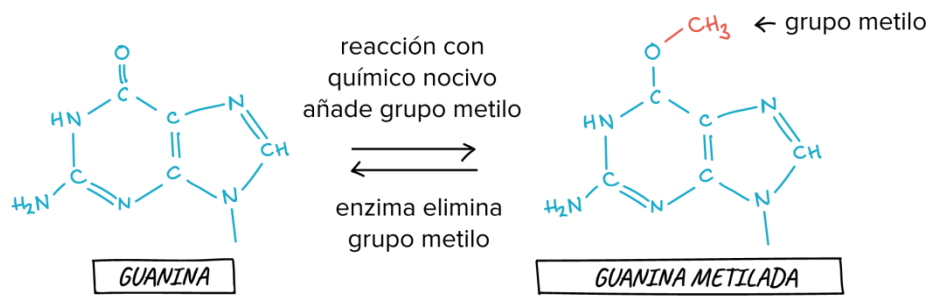
Afortunadamente, tus células tienen mecanismos de reparación para detectar y corregir muchos tipos de daño al ADN. Los procesos de reparación que ayudan a arreglar el ADN dañado incluyen:

- **Reversión directa:** Algunas reacciones químicas que dañan el ADN pueden ser "deshechas" directamente por enzimas de la célula.
- **Reparación por escisión:** El daño a una o unas cuantas bases de ADN se suele arreglar al eliminar (escindir) y reemplazar la región dañada. En la reparación por escisión de bases, solo se quita la base dañada. En la reparación por escisión de nucleótidos, como en la reparación de mal apareamiento que vimos antes, se elimina una sección de nucleótidos.
- **Reparación de ruptura de la doble cadena:** Se utilizan dos vías principales, la unión de extremos no homólogos y la recombinación homóloga, para reparar rupturas en la doble cadena del ADN (es decir, cuando un cromosoma entero se divide en dos pedazos).

#### Reversión del daño:

En algunos casos, una célula puede reparar daños en el ADN al simplemente revertir la reacción química que los causó. Para entender esto, necesitamos darnos cuenta que el "daño al ADN" suele implicar solo un grupo extra de átomos que se unen al ADN mediante una reacción química.

Por ejemplo, la guanina (G) puede sufrir una reacción que añade un grupo metilo a un átomo de oxígeno de la base. Si no se corrige, la guanina que contiene metilo formará pareja con timina (T) en lugar de citosina (C) durante la replicación del ADN. Afortunadamente, los seres humanos y muchos otros organismos tienen una enzima que puede quitar el grupo metilo, y revertir la reacción para regresar la base a su estado normal ("*Revisión y reparación del ADN*", 2019).



**Imagen 20:** Reversión de una guanina metilada. Revisión y reparación del ADN. (2019). Mecanismo de rparación de daños. [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

### Metilación de la guanina:

Una base de guanina normal experimenta una reacción con una sustancia química nociva y causa que un grupo metilo se añada al O del carbonilo en uno de los anillos de la base.

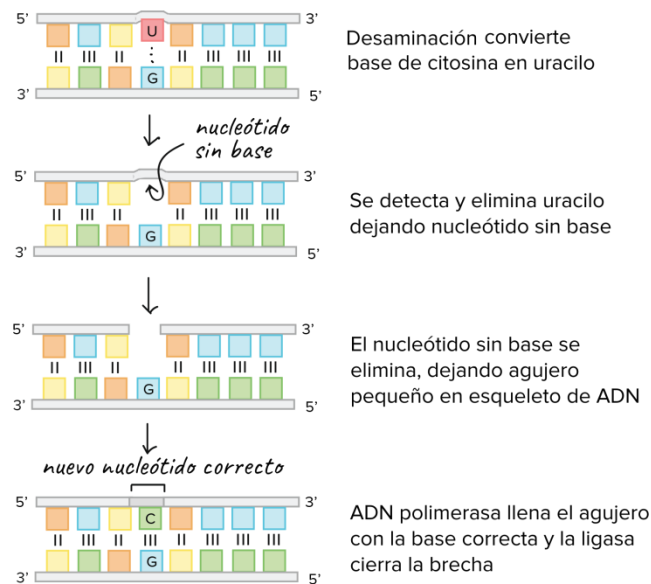
Una enzima que se encuentra en la célula puede eliminar el grupo metilo de la base dañada por metilación.

### Reparación por escisión de base:

La reparación por escisión de base es un mecanismo que se usa para detectar y eliminar ciertos tipos de bases dañadas. Un grupo de enzimas llamadas glicosilasas tiene un papel clave en la reparación por escisión de bases. Cada glicosilasa detecta y elimina un tipo específico de base dañada.

Por ejemplo, una reacción química llamada desaminación puede convertir una base citosina en uracilo, una base que suele encontrarse solo en el ARN. Durante la replicación del ADN, el uracilo formará pareja con adenina en lugar de guanina (como lo haría si la base todavía fuera citosina), por lo que un intercambio de citosina por uracilo sin corregir puede causar una mutación.

Para evitar tales mutaciones, una glicosilasa de la vía de reparación por escisión de base detecta y elimina específicamente citosinas desaminadas. Una vez que se elimina la base, también se elimina la pieza "vacía" del esqueleto de ADN y otras enzimas llenan y sellan la brecha (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).



**Imagen 21:** Reparación por escisión de base. Revisión y reparación del ADN. (2019). Mecanismo de reparación por escisión de base . [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

#### Proceso de reparación por escisión de base de una citosina desaminada:

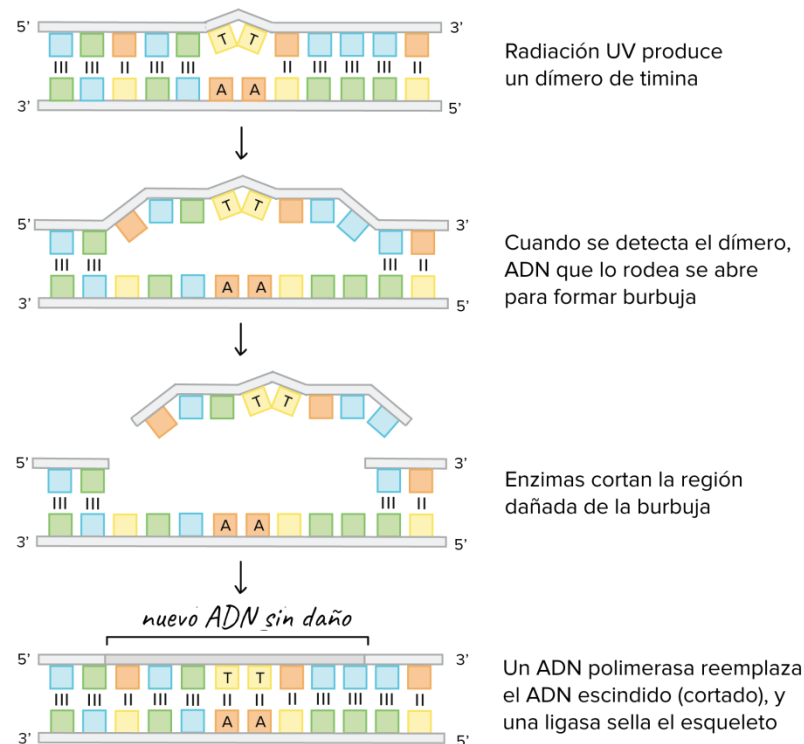
1. La desaminación convierte una base de citosina en uracilo. Esto resulta en una doble hélice en la que una G en una cadena forma pareja con U en la otra cadena. La U era C originalmente, pero se convirtió en U mediante desaminación.
2. Se detecta el uracilo y se elimina, lo que deja un nucleótido sin base.
3. Se retira el nucleótido sin base, lo que deja un agujero de 1 nucleótido en el esqueleto del ADN.
4. Una ADN polimerasa llena el agujero con la base correcta y una ligasa sella la brecha.

#### Reparación por escisión de nucleótidos:

La reparación por escisión de nucleótidos es otra vía que se usa para eliminar y reemplazar bases dañadas. La reparación por escisión de nucleótidos detecta y corrige tipos de daño que distorsionan la doble hélice del ADN. Por ejemplo, esta vía detecta bases que han sido modificadas con grupos químicos voluminosos, como los que se unen a tu ADN cuando se expone a las sustancias químicas del humo de cigarrillos.

La reparación por escisión de nucleótidos también se utiliza para reparar algún tipo de daño que causa la radiación UV, como cuando te quemas con el sol. La radiación UV puede causar que la citosina y la timina reaccionen con bases vecinas que también sean C y T, y se forman enlaces que distorsionan la doble hélice y causan errores en la

replicación del ADN. El tipo más común de unión, el dímero de timina, se compone de dos bases de timina que reaccionan entre sí y se unen químicamente (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).



**Imagen 22:** Reparación por escisión de nucleótidos. Revisión y reparación del ADN. (2019). Mecanismo de reparación por escisión de nucleótidos. [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

### Proceso de reparación por escisión de nucleótidos de un dímero de timina:

1. La radiación UV produce un dímero de timina. En un dímero de timina, dos T que están una al lado de la otra en la misma cadena se unen mediante una reacción química entre las bases. Esto crea una distorsión en la forma de la doble hélice.
2. Una vez que se detectó el dímero, se abre el ADN que lo rodea para formar una burbuja.
3. Las enzimas cortan la región dañada (el dímero de timina más las regiones vecinas sobre la misma cadena) de la burbuja.
4. Una ADN polimerasa reemplaza el ADN escindido (que se recortó) y una ligasa sella el esqueleto.

En la reparación por escisión de nucleótidos se elimina el nucleótido (o nucleótidos) con daño junto con un segmento circundante de ADN. En este proceso una helicasa (enzima que abre el ADN) abre el ADN para formar una burbuja y enzimas que cortan

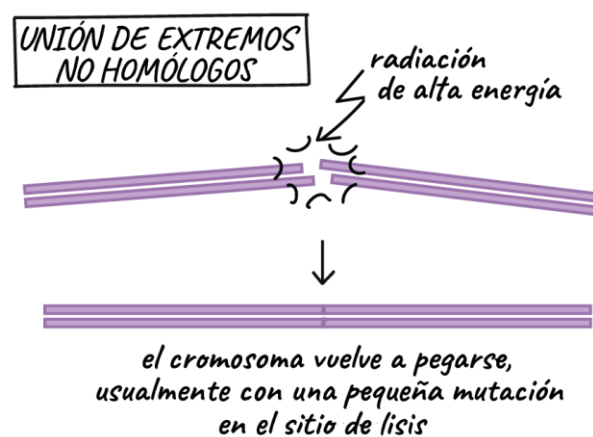
el ADN quitan el segmento dañado de la burbuja. Una ADN polimerasa reemplaza el ADN que falta y una ADN ligasa sella la brecha en el esqueleto de la cadena (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).

#### Reparación de rotura de la doble cadena:

Algunos factores ambientales, como la radiación de alta energía, pueden causar roturas en la doble cadena del ADN (rompen un cromosoma en dos). Este es el tipo de daño al ADN suele relacionarse con las historias del origen de los superhéroes en los cómics y con desastres como Chernóbil en la vida real (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).

Las roturas de la doble cadena son peligrosas porque pueden perderse grandes segmentos de cromosomas y los cientos de genes que contienen si la fragmentación no se repara. Dos vías que participan en la reparación de rotura del ADN de doble cadena son la vía de unión de extremos no homólogos y la de recombinación homóloga.

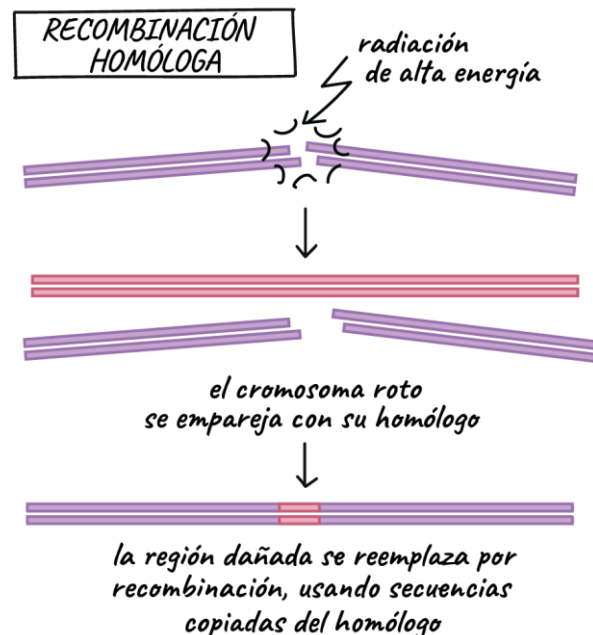
En la unión de extremos no homólogos, los dos extremos rotos de un cromosoma simplemente se vuelven a pegar. Este mecanismo de reparación es "desordenado" y por lo general resulta en la pérdida, o a veces adición, de unos cuantos nucleótidos en el sitio de corte. Por lo tanto, la unión de extremos no homólogos tiende a producir una mutación, pero eso es mejor que la alternativa (la pérdida de un brazo entero del cromosoma) (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).



**Imagen 23:** Unión de extremos homólogos . *Revisión y reparación del ADN*. (2019). Mecanismo de unión de extremos homólogos . [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

Una fragmentación de la doble cadena puede repararse por la unión de extremos no homólogos. El cromosoma se vuelve a "pegar", generalmente con una pequeña mutación en el sitio de la rotura.

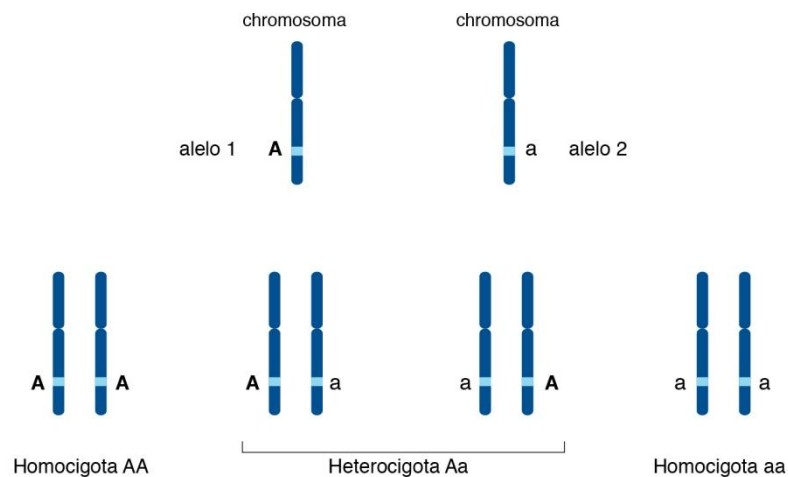
En la recombinación homóloga, se utiliza la información del cromosoma homólogo que coincide con la del dañado (o de una cromátida hermana si el ADN se ha copiado) para reparar la fragmentación. En este proceso se acercan los dos cromosomas homólogos y se utiliza la región sin daños del homólogo o la cromátida como molde para sustituir la región dañada del cromosoma roto. La recombinación homóloga es "más limpia" que la unión de extremos no homólogos y no suele causar mutaciones (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).



**Imagen 24:** Recombinación homóloga. *Revisión y reparación del ADN*. (2019). Mecanismo de recombinación homóloga. [Figura]. Recuperado de <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.

La fragmentación de la doble cadena puede repararse por recombinación homóloga. El cromosoma roto se empareja con su homólogo. La región dañada se reemplaza por recombinación al usar secuencias que se copiaron del homólogo (*"Revisión y reparación del ADN"*, 2019).

**19. Concepto de alelos:** Un alelo es cada una de las dos o más versiones de un gen. Un individuo hereda dos alelos para cada gen, uno del padre y el otro de la madre. Los alelos se encuentran en la misma posición dentro de los cromosomas homólogos. Si los dos alelos son idénticos, el individuo es homocigoto para este gen. En cambio, si los alelos son diferentes, el individuo es heterocigoto para este gen. Aunque el término alelo fue usado originariamente para describir variaciones entre los genes, ahora también se refiere a las variaciones en secuencias de ADN no codificante (es decir, que no se expresan) (*Biesecker, 2019*).



**Imagen 25:** Alelos y su relación con individuos homocigotos y heterocigotos. Biesecker, L. (2019). Alelo. [Figura]. Recuperado de <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Alelo>.

'Alelo' es la palabra que usamos para describir las formas alternativas o versiones de un mismo gen. Las personas heredamos un alelo del padre y otro de la madre para cada gen autosómico. De forma muy simplificada, se puede distinguir entre los llamados alelos normales, o los mutantes, si han sufrido alguna alteración que hace que su secuencia haya cambiado (Biesecker, 2019).

## Proyección Didáctica de la Secuencia

Esta secuencia y su proyección didáctica, orientada para estudiantes de 4º curso de Educación Secundaria Obligatoria, estará regulada por las legislaciones nacional y autonómica vigentes para el curso académico (2019/2020). Por otro lado, la programación de la secuencia didáctica estará adaptada al contexto del centro educativo en el que será desarrollada, así como al grupo de clase en particular. Mencionar que esta secuencia didáctica es novedosa y todavía no se ha puesto en práctica en ningún centro de educación secundaria.

### **Legislación vigente.**

La normativa que regula la proyección didáctica de esta secuencia incluye tanto leyes nacionales como autonómicas que se complementan y que se encuentran expuestas a continuación.

## Legislación nacional.

- **LEY ORGÁNICA 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (LOE).** Introdujo por primera vez el término “competencia” y se desarrolla en:

- **REAL DECRETO 1631/2006, de 29 de diciembre.**

- **LEY ORGÁNICA 8/2013, de 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa (LOMCE).** Es la ley general que reglamenta la enseñanza a nivel estatal. Se desarrolla en:

- **REAL DECRETO 1105/2014, de 26 de diciembre** por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (BOE 03/01/2015) por la que se regula la etapa de Educación Secundaria Obligatoria.
- **Orden ECD/65/2015, de 21 de enero**, por la que se especifican las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la Educación Primaria, la Educación Secundaria Obligatoria y el Bachillerato. Es la normativa a seguir para llevar a cabo las competencias clave.

## Legislación autonómica.

- **LEY 17/2007, de 10 de diciembre, de Educación de Andalucía (LEA).**

- **DECRETO 111/2016**, del 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se desarrolla por:
- **Orden de 14 de julio de 2016**, por la que se explica el currículo correspondiente a la Educación Secundaria Obligatoria, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad y se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado.

## Justificación de la secuencia didáctica.

De acuerdo con la legislación vigente nacional y autonómica, en el Real Decreto 1105/204 y la orden del 14 de julio de 2016, uno de los principales bloques de la

materia de Biología y Geología para el cuarto curso de educación secundaria obligatoria es la evolución de la vida. Por tanto, en esta secuencia didáctica se van a desarrollar conceptos y contenidos propios del Bloque 1º de esta asignatura, centrándonos en los contenidos referentes a las unidades didácticas centradas en la "*Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética*". La aplicación de esta secuencia didáctica constituye uno de los primeros contactos que los estudiante presentan sobre la genética, sus aplicaciones y sus implicaciones éticas y sociales. Esta secuencia didáctica brindará a los alumnos de una visión renovada de la genética y de la ciencia constituyendo una verdadera herramienta para su Alfabetización científica.

Pese a la reestructuración tanto temporal como procedimental que esta secuencia didáctica supone en las clases ordinarias de Biología y Geología, el progreso de esta secuencia didáctica avalará según la normativa vigente la superación de los distintos objetivos y competencias concertadas, así como la adquisición por parte del alumnado de las competencias clave.

### Aspectos generales de la secuencia.

- **Tipología:** Asignatura Troncal
- **Materia:** Biología y Geología
- **Trimestre:** 1º
- **Tema:** Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética.
- **Bloque:** 1º La evolución de la vida.
- **Curso:** 4º de ESO
- **Temporalización:** 2 semanas

### Propuesta didáctica

Como ya se ha mencionado anteriormente el objetivo de este trabajo de fin de master es el diseño efectivo de una secuencia didáctica basada en la introducción de las controversias sociocientíficas (CSC) en las clases de ciencias de niveles superiores de secundaria.

Esta actividad didáctica, basada en el aprendizaje de las ciencias mediante la implementación de controversias sociocientíficas (CSC) en las aulas, se encuentra enmarcada en el Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología "La evolución de la vida" del curso 4º ESO. Concretamente, esta secuencia didáctica será implementada

en aquellas unidades didácticas centradas en "*Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética*", aunque cabe resaltar que esta actividad también serán presentados conceptos relacionados con la virología y por tanto con la microbiología, aspecto interesante, ya que permite la introducción de estos conceptos con anterioridad a su programación en 2º de Bachillerato.

| Biología y Geología. 4º ESO                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contenidos                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | Criterios de evaluación                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Estándares de aprendizaje evaluables.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Bloque 1. La evolución de la vida                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| La célula.<br>Ciclo celular.<br>Los ácidos nucleicos.<br>ADN y Genética molecular.<br>Proceso de replicación del ADN.<br>Concepto de gen.<br>Expresión de la información genética.<br>Código genético.<br>Mutaciones. Relaciones con la evolución.<br>La herencia y transmisión de caracteres. Introducción y desarrollo de las Leyes de Mendel.<br>Base cromosómica de las leyes de Mendel.<br>Aplicaciones de las leyes de Mendel.<br><b>Ingeniería Genética: técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética.</b><br>Origen y evolución de los seres vivos.<br>Hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra.<br>Teorías de la evolución. El hecho y los mecanismos de la evolución.<br>La evolución humana: proceso de hominización. | 1. Determinar las analogías y diferencias en la estructura de las células procariotas y eucariotas, interpretando las relaciones evolutivas entre ellas.<br>2. Identificar el núcleo celular y su organización según las fases del ciclo celular a través de la observación directa o indirecta.<br>3. Comparar la estructura de los cromosomas y de la cromatina.<br>4. Formular los principales procesos que tienen lugar en la mitosis y la meiosis y revisar su significado e importancia biológica.<br>5. Comparar los tipos y la composición de los ácidos nucleicos, relacionándolos con su función.<br>6. Relacionar la replicación del ADN con la conservación de la información genética.<br>7. Comprender cómo se expresa la información genética, utilizando el código genético.<br>8. Valorar el papel de las mutaciones en la diversidad genética, comprendiendo la relación entre mutación y evolución.<br>9. Formular los principios básicos de Genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas sencillos.<br>10. Diferenciar la herencia del sexo y la ligada al sexo, estableciendo la relación que se da entre ellas.<br>11. Conocer algunas enfermedades hereditarias, su prevención y alcance social.<br>12. Identificar las técnicas de la Ingeniería Genética: ADN recombinante y PCR.<br>13. Comprender el proceso de la clonación.<br>14. Reconocer las aplicaciones de la Ingeniería Genética: OMG (organismos modificados genéticamente).<br>15. Valorar las aplicaciones de la tecnología del ADN recombinante en la agricultura, la ganadería, el medio ambiente y la salud.<br>16. Conocer las pruebas de la evolución.<br>Comparar lamarckismo, darwinismo y | 1.1. Compara la célula procariota y eucariota, la animal y la vegetal, reconociendo la función de los orgánulos celulares y la relación entre morfología y función.<br>2.1. Distingue los diferentes componentes del núcleo y su función según las distintas etapas del ciclo celular.<br>3.1. Reconoce las partes de un cromosoma utilizándolo para construir un cariotipo.<br>4.1. Reconoce las fases de la mitosis y meiosis, diferenciando ambos procesos y distinguiendo su significado biológico.<br>5.1. Distingue los distintos ácidos nucleicos y enumera sus componentes.<br>6.1. Reconoce la función del ADN como portador de la información genética, relacionándolo con el concepto de gen.<br>7.1. Ilustra los mecanismos de la expresión genética por medio del código genético.<br>8.1. Reconoce y explica en qué consisten las mutaciones y sus tipos.<br>9.1. Reconoce los principios básicos de la Genética mendeliana, resolviendo problemas prácticos de cruzamientos con uno o dos caracteres.<br>10.1. Resuelve problemas prácticos sobre la herencia del sexo y la herencia ligada al sexo.<br>11.1. Identifica las enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social.<br>12.1. Diferencia técnicas de trabajo en ingeniería genética.<br>13.1. Describe las técnicas de clonación animal, distinguiendo clonación terapéutica y reproductiva.<br>14.1. Analiza las implicaciones éticas, sociales y medioambientales de la Ingeniería Genética.<br>15.1. Interpreta críticamente las consecuencias de los avances actuales en el campo de la biotecnología.<br>16.1. Distingue las características diferenciadoras entre lamarckismo, darwinismo y neodarwinismo.<br>17.1. Establece la relación entre variabilidad genética, adaptación y selección natural.<br>18.1. Interpreta árboles filogenéticos. |

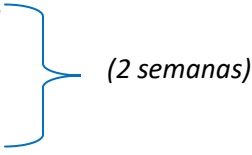
**Imagen 26:** Bloque y contenido en los cuales se centra esta secuencia didáctica dentro del currículum oficial de Biología y geología de 4º ESO. Imagen obtenida del real decreto 11105/2014.

La implementación de esta secuencia didáctica constará de una duración total de 2 semanas, en las cuales, los alumnos no solo trabajarán conceptos propios de la genética como (*ADN, gen, mutaciones, herencia vertical, genotipo, fenotipo, etc*) , sino que también serán retados a plantear reflexionar y argumentar todos los aspectos morales y éticos que este dilema científico plantea.

La secuencia didáctica planteada consta de 4 pasos claramente diferenciados y estructurados, y está basada en los estudios de (*Domènech-Casal, 2017*) el cual, plantea este tipo de secuencia pedagógica, para mitigar las dificultades que los docentes presentan en el diseño e implementación efectiva de actividades basadas en (CSC) en las aulas y las dificultades que los alumnos presentan a la hora de afrontar estas actividades. Pues los estudiantes suelen tener problemas no solo de elaborar argumentaciones tanto orales como escritas, sino también de evaluar los distintos

aspectos asociados a las (CSC), no solo los puramente académicos o científicos. Por tanto, me parece adecuado basar el diseño de mi secuencia educativa en sus estudios, cuya eficacia se encuentra ampliamente demostrada (*Domènech-Casal, 2017*).

### **Diseño de la Secuencia**

1. Presentación del dilema.
  2. Lectura.
  3. Debate.
  4. Escritura de un ensayo.
- 
- (2 semanas)

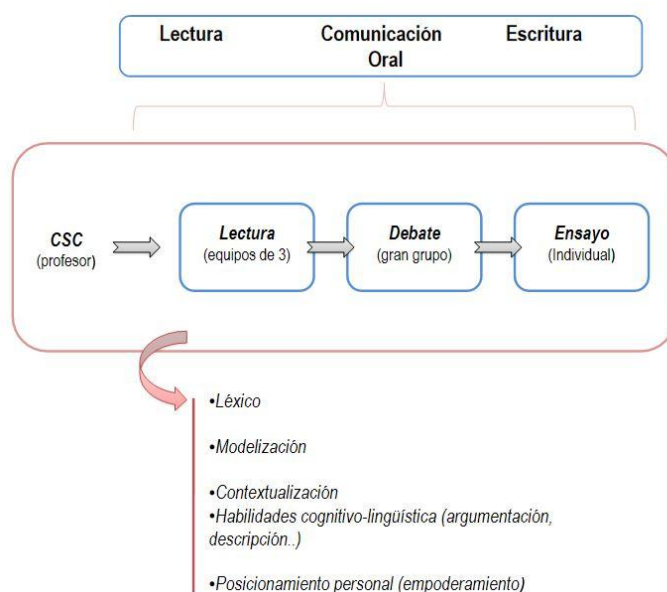
La secuencia didáctica presenta 4 pasos claramente diferenciados (Presentación de la controversia o dilema, Lectura, Debate y Ensayo). Durante las fases de Lectura, Debate y Escritura del ensayo, los alumnos serán apoyados mediante una serie de "andamios didácticos" o material de soporte, que favorecerán no solo el seguimiento de la actividad sino también la organización y el razonamiento de los estudiantes.

Tras llevar a cabo una introducción teórica de la temática y compartir los objetivos de la actividad con los estudiantes, las actividades se iniciaran siguiendo esta secuencia:

1. Presentación de la situación que sustenta o suscita el dilema en clase, es decir, de la controversia sociocientífica (CSC).
2. Lectura de textos relacionados con la (CSC). Los estudiantes leerán colaborativamente por equipos una serie de textos y noticias relacionados con la controversia, de modo que cada miembro del grupo de estudiantes lee uno de los textos relacionados con el dilema y lo presenta o explica al resto de a sus compañeros/as.
3. Definición del Léxico. Una vez llevada a cabo la lectura y en gran grupo, se consensua el significado de los términos del léxico científico encontrados en los textos y necesarios para su comprensión, se incluirán términos nuevos si se considera necesario. Este paso será fundamental para que los alumnos comprendan los conceptos propios de la materia o unidad y que entiendan su importancia y relación con la (CSC).
4. Debate en gran grupo. Una vez que los alumnos han comprendido tanto la problemática del dilema, como los conceptos clave de la controversia, se realizará un debate en gran grupo en el cual, se anima a los estudiantes a

centrarse en recoger los distintos tipos de argumentos aportados por sus compañeros, no en ganar el debate.

5. Escritura de un ensayo individual de 400 palabras. Tras el debate se instará a los alumnos a que escriban un pequeño ensayo en el cual, recojan su opinión acerca de la (CSC) y los argumentos con los cuales la defienden.
6. Evaluación del ensayo. Tras la escritura del ensayo, los estudiantes en primer lugar, recibirán correcciones de sus compañeros/as para su mejora y la elaboración de la versión definitiva que será corregida por el profesor. Para la corrección del ensayo se usará una rúbrica de diseño específico, la rúbrica McLeares.



**Imagen 27:** Secuencia didáctica planteada. Tras la lectura por equipos de los textos, se llevará a cabo un debate grupal que finalizará con la escritura individual de un ensayo. La consecución de esta secuencia pedagógica favorecerá la adquisición por parte de los estudiantes de habilidades lectoras, y de comunicación oral y escritura. Asimismo, también mejorará la adquisición de léxico propio de la asignatura, la modelización, el manejo de habilidades cognitivo-lingüísticas, tales como la argumentación y la descripción, y el posicionamiento personal y actitud crítica del alumno (Domènech-Casal, 2017).

Quizás el lector se pregunte si es justificable invertir dos semanas en la realización de esta secuencia didáctica. En mi opinión, la duración de esta secuencia didáctica está totalmente justificada, ya que como se muestra en la siguiente tabla, en la cual se plasma la temporalización didáctica de un 4º ESO tipo, mediante la realización de esta actividad didáctica conseguiremos impartir conceptos que se encuentran distribuidos en las diferentes unidades didácticas del Bloque 1º "La evolución de la vida" de la

asignatura de Biología y Geología de 4º de la ESO. En rojo se destacan aquellos contenidos y conceptos trabajados por la secuencia.

**Tabla 1:** Contenidos y unidades didáctica del Bloque 1º "La evolución de la vida" de la asignatura de Biología y Geología de un 4º de la ESO tipo trabajados mediante esta secuencia didáctica (rojo).. Tabla obtenida de (2019). Retrieved 26 September 2019, from <http://iesmariabellido.es/wp-content/uploads/2017/10/Program-BIO-GEO-4%C2%BA-ESO-17-18.pdf>

| Bloque 1. La evolución de la vida .                                                                    | Unidades didácticas.                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.1. La célula.</b>                                                                                 | <b>UD1</b><br>La célula.<br>Las células procariotas.<br>Las células eucariotas.<br>La nutrición y la relación en las células eucariotas.<br>La reproducción en las células eucariotas. |
| <b>1.2. Ciclo Celular.</b>                                                                             | <b>UD2</b><br>El ciclo celular                                                                                                                                                         |
| <b>1.3 Los ácidos nucleicos.</b>                                                                       | <b>UD1</b><br><b>Las biomoléculas.</b><br>El núcleo celular.                                                                                                                           |
| <b>1.4. ADN y genética molecular.</b>                                                                  | <b>UD2</b><br><b>La información genética.</b>                                                                                                                                          |
| <b>1.5. Proceso de replicación del ADN.</b>                                                            | <b>UD2</b><br><b>La información genética: el ADN: La replicación del ADN.</b>                                                                                                          |
| <b>1.6 Concepto de gen</b>                                                                             | <b>UD2</b><br><b>De los caracteres a los genes.</b>                                                                                                                                    |
| <b>1.7. Expresión de la información genética. Código genético.</b>                                     | <b>UD2</b><br>La expresión de los genes.                                                                                                                                               |
| <b>1.8. Mutaciones y relaciones con la evolución.</b>                                                  | <b>UD2</b><br><b>Las excepciones de las Leyes de Mendel: Las mutaciones.</b>                                                                                                           |
| <b>1.9. Herencia y transmisión de los caracteres. Introducción y desarrollo de las leyes de Mendel</b> | <b>UD2</b><br>Los experimentos de Mendel.<br>La leyes de Mendel.                                                                                                                       |
| <b>1.10. Base cromosómica de las leyes de Mendel.</b>                                                  | <b>UD2</b><br>Las leyes de Mendel.                                                                                                                                                     |
| <b>1.12. Ingeniería genética: Técnicas y aplicaciones. Biotecnología. Bioética.</b>                    | <b>UD2</b><br><b>La Ingeniería genética.</b><br><b>Las aplicaciones de la ingeniería genética.</b>                                                                                     |
| <b>1.13. Origen y evolución de los seres vivos. Hipótesis sobre el origen de la vida en la tierra.</b> | <b>UD 3</b><br>El origen de la biodiversidad.<br>Las hipótesis sobre el origen de la vida.                                                                                             |
| <b>1.14. Teorías de la evolución. El hecho y los mecanismos de la evolución.</b>                       | <b>UD 3</b><br>Las primeras teorías sobre el origen de la biodiversidad.<br>Las teorías evolutivas actuales.                                                                           |
| <b>1.15. La evolución humana: Proceso de hominización</b>                                              | <b>UD 3</b><br>Las pruebas de la evolución. Págs. 72-75.<br>La evolución humana. Págs. 76 y 77.                                                                                        |

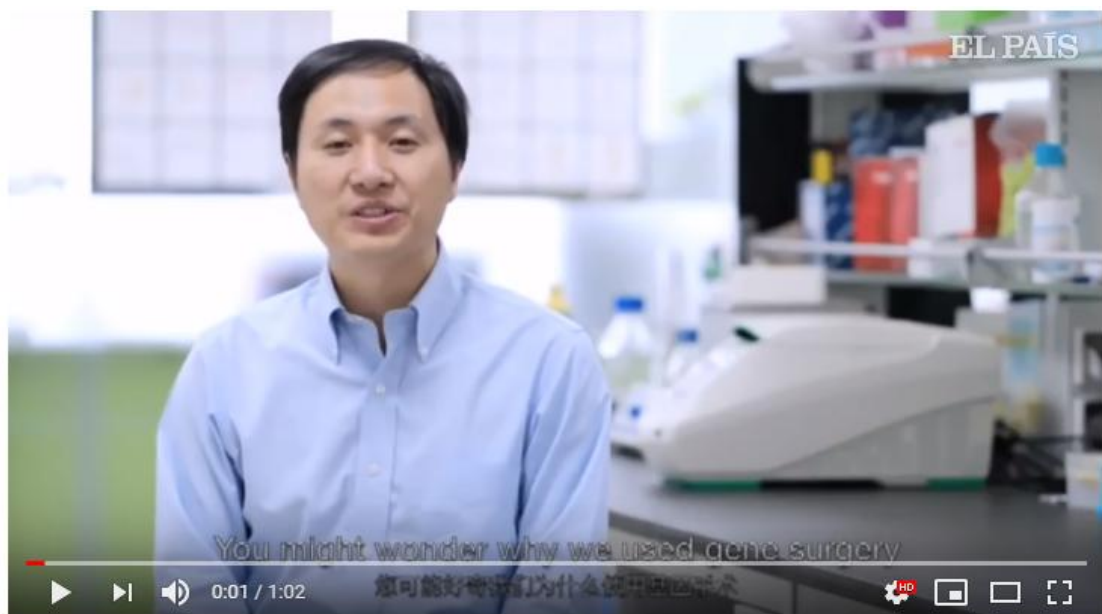
## El Dilema.

El primer paso que se realizará para llevar a cabo esta secuencia didáctica, será la presentación a los alumnos del dilema. Una vez introducida la actividad, y aclarados

cuales van a ser los objetivos de la misma, se presentará a los alumnos el problema o la disyuntiva relacionada con el ámbito científico (CSC).

Para ello, nos valdremos de la visualización de dos vídeos obtenidos en noticias de EL PAÍS y La Vanguardia. Estos videos tratan la (CSC) y nos van a ayudar a captar la atención de los estudiantes y a introducir la temática y el problema. Además de los videos el docente se valdrá de una serie preguntas que van a favorecer y que van a ayudar a construir y encauzar el dilema en clase.

La controversia sociocientífica seleccionada, ha sido la reciente modificación genética y posterior implantación de embriones humanos, que el científico He Jiankui, ha realizado para la eliminación en estos del gen CCR5, principal receptor usado por el virus del SIDA para entrar en el organismo, protegiéndoles según él de futuras exposiciones con el virus.



Un científico chino afirma haber creado los primeros bebés modificados genéticamente

**Imagen 28:** Video 1: Obtenido de EL PAÍS. EL PAÍS (2019). [Video]. Recuperado de [https://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768\\_174686.html](https://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768_174686.html).



First gene-edited babies reported in China

**Imagen 29:** Video 2: Obtenido de La Vanguardia. La Vanguardia (2019). [Video]. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/vida/20181126/453164870255/he-jiankui-cientifico-chino-modificar-bebes-geneticamente.html>.

### **Elección del dilema:**

Para llevar a cabo la elección del dilema o (CSC), se han seguido una serie de criterios, que van a asegurar que este sea apropiado para ser implementado en el aula y para cumplir los objetivos de alfabetización científica del alumnado. A continuación se muestran los criterios seguidos para llevar a cabo la elección del dilema.

1. La (CSC) resalta contextos participados, pero no protagonizados exclusivamente por criterios científicos. En este dilema, aunque conceptos científicos, tales como ingeniería genética y mutaciones son fundamentales, no son los únicos relevantes para la comprensión global del problema, sino que se han de tener en cuenta otras dimensiones como la ética y la social.
2. El dilema que se plantea presenta una respuesta abierta y admite distintos tipos de vista y posturas. No existe una respuesta definitiva al problema. Este aspecto es fundamental en la elección de la (CSC) ya que hace entender a los alumnos que la ciencia no es dogmática ni siempre tiene soluciones certeras y definitivas, eliminando así una idea previa que los estudiantes suelen presentar sobre la naturaleza de la ciencia. En este caso, el dilema planteado es de gran

actualidad y ni siquiera los científicos más refutados se ponen de acuerdo en cómo actuar.

3. La controversia implica al mismo tiempo una valoración de aspectos sociales y científicos. Como ya se ha descrito anteriormente es importante que los problemas estén también protagonizados por ámbitos sociales y éticos, para que los alumnos deban de plantearse todas las dimensiones del problema a la hora de argumentar y ejercer juicios de valor.

### **Construcción del dilema:**

Una vez visualizados los videos, y tras responder a las dudas que puedan surgirle a los alumnos, el profesor realizará una serie de preguntas que van a favorecer, a enfocar y a construir el dilema en el aula.

Esta serie de preguntas que van a mejorar el andamiaje y la focalización del dilema, van a clasificarse en dos tipos o modelos. El modelo 1, que va a consistir en preguntas de contenido científico y de carácter abstracto que no suelen generar controversia, y el modelo 2, que va a añadir un balance social que va a actuar como contrapeso a una respuesta que inicialmente podría parecer obvia y va a generar dudas en el alumnado, haciendo que la respuesta que podía ser obvia en el modelo 1 de pregunta, se tambalee.

A continuación se muestran los dos modelos de preguntas que va realizar el docente para focalizar el dilema.

#### **Modelo 1: Pregunta abstracta de contenido científico: No genera controversia.**

- ¿Es lícita la edición genética de embriones humanos?  
  
-Respuesta esperable: "No, no es lícita, está mal".
- ¿Es aceptable la mejora de caracteres humanos o la modificación genética de humanos?  
  
-Respuesta esperable: "No, es una práctica poco aceptable".

Modelo 2: *Contrapeso con balance social: Genera controversia. Genera dudas en el alumnado.*

- ¿La edición genética de embriones humanos podría evitar la aparición de ciertas enfermedades?
- ¿La edición genética de embriones podría suponer una mejora de la especie humana?
- ¿Será necesaria en un futuro la ingeniería genética en humanos para erradicar ciertos tipos de enfermedades?
- Si supierais que vuestro hijo presentaría algún tipo de predisposición genética para desarrollar un tipo de enfermedad ¿Estaríais dispuestos a emplear técnicas de ingeniería genética para poder eliminar esta predisposición? ¿Aunque esto presentara ciertos riesgos o la técnica todavía no estuviera puesta a punto?

### Lectura.

Una vez planteado el dilema, los alumnos se dividirán en grupos de 3 y cada alumno del grupo, leerá una de las 3 noticias impresas y relacionadas con la controversia, además de un anexo, en el cual se explica la relación entre la técnica biomolecular utilizada y el riesgo de tumores. Una vez que los diferentes grupos de alumnos hayan leído y comentado las noticias, se realizará una lista con los términos del léxico científico presentes en las noticias y se aclararán en clase. Esta lista de conceptos estará siempre visible en clase, ya sea apuntada en la pizarra, en un mural o visible mediante soporte digital.

Tras llevar a cabo el listado de términos de léxico y una vez que los alumnos tengan claros estos conceptos, se continuará con la realización del debate.

Para llevar a cabo la elección de las noticias usadas en la actividad, se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

1. Los textos deben de tener una extensión asumible de 20 min de lectura por texto.
2. Presencia implícita o explícita de uno o más de los términos del léxico.
3. Incorporar géneros lingüísticos y tipologías textuales del mundo real, fuera de un contexto educativo más tradicional.
4. Incorporar distintas perspectivas e intereses sobre el mismo tema.

En total se seleccionaron 3 noticias relacionadas con la (CSC), dos obtenidas del periódico EL PAÍS y una obtenida de La Vanguardia.

- **EL PAÍS:** *"El científico chino que modificó los genes de dos bebés admite otra fecundación con embriones alterados".*
- **EL PAÍS:** *"Científicos chinos aseguran haber creado los primeros bebés modificados genéticamente".*
- **La Vanguardia:** *"Un científico chino afirma ser el primero en modificar bebés genéticamente".*



**Imagen 30:** Texto 1: Obtenido de La Vanguardia. La Vanguardia (2019). [Texto]. Recuperado de <https://www.lavanguardia.com/vida/20181126/453164870255/he-jiankui-cientifico-chino-modificar-bebes-geneticamente.html>.

Las niñas, gemelas nacidas hace "varias semanas", cuentan ahora con una modificación que supuestamente las protege contra el virus del sida, según el genetista He Jiankui.

 MACARENA VIDAL LIY  
Pekin - 26 NOV 2018 - 18:29 GET

Un científico chino, He Jiankui, y su equipo, afirman haber creado los primeros bebés modificados genéticamente. Los bebés, Lulu y Nana, dos niñas nacidas hace "varias semanas", se encuentran en perfecto estado de salud, asegura el genetista, He Jiankui, que utilizó la técnica de edición de genes conocida como CRISPR para mutar un gen y hacer a las pequeñas resistentes contra el virus causante del sida.

La polémica afirmación de He, investigador de la SUSTech (Southern University



Materia

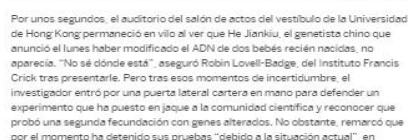
"Estoy orgulloso. Estoy orgulloso", afirma He Jiankui al defender su experimento en un congreso




 45
 



VICTORIA PASCUAL | MACARENA VIDAL LIY  
Hong Kong / Pekin - 28 NOV 2018 - 19:59 CEST



65

## **Lectura de los textos**

Para llevar a cabo la lectura de los textos se llevará a cabo el siguiente proceso.

- 1) Los alumnos son agrupados en equipos de 3 personas, a los cuales se les reparte los 3 textos. Cada miembro del equipo debe leer cuidadosamente su texto un mínimo de tres veces, subrayando los aspectos que tienen importancia en relación al dilema. Una vez hecho esto, rellenarán para cada texto una ficha Texto-TestWG (ANEXO IV) (Domènech-Casal, 2017).
- 2) Cada miembro del equipo, recoge la información más relevante del texto y la presenta al resto de miembros del grupo. Una vez presentada dicha información, los compañeros le ayudan a completarla. Se procederá de la misma manera en cada uno de los textos.
- 3) Cuando haya terminado la lectura, todos los compañeros de la clase deben de ponerse de acuerdo, en cuáles son los 5-10 términos de léxico clave del tema que se está tratando. En cartel, lista o pizarra se colgarán dichos conceptos para que estén visibles en todo momento para toda la clase.

## **El léxico vs anti-léxico**

Como ya se ha mencionado anteriormente, una vez que los textos sean leídos por los alumnos y estos se hayan comentado, se procederá desglosar los términos del léxico científico que estas noticias presentan y que son fundamentales para la comprensión de las mismas. Esto no solo mejorará la comprensión por parte de los alumnos de dichos conceptos, sino que ayudará a eliminar las ideas previas que los alumnos presentaban sobre estos términos y les permitirá, a la hora de llevar a cabo el debate, proporcionar argumentos con una mayor base conceptual y por tanto de mayor peso.

Mientras que el léxico constituye conceptos y contenidos clave para el dominio del dilema, el término anti-léxico hace referencia a las concepciones erróneas, ideas previas o aproximaciones intuitivas que los alumnos presentan de determinados conceptos y que sustituyen y eliminan al léxico, incorporando así concepciones erróneas. Ejemplo: *Genotipo = los genes que tenemos, Fenotipo = Como somos en realidad*, *Gen = El ADN*. Mediante la realización de esta recopilación del léxico científico incluido en dichos textos ayudaremos a eliminar este anti-léxico, que con tanto ímpetu ha sido grabado en la mente de nuestros alumnos.

En la siguiente tabla se muestra el léxico que va a ser trabajado mediante la lectura de las noticias y el anti-léxico que va a ser superado mediante la realización de esta actividad.

**Tabla 2:** Conceptos que se trabajarán durante la fase de lectura de la secuencia didáctica y algunas de las ideas previas que se pretenden superar o eliminar.

| Noticia utilizada                                                                                                          | Léxico                                                                                                                                                                                                                                     | Anti-léxico (ideas previas)                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EL PAIS: "El científico chino que modificó los genes de dos bebés admite otra fecundación con embriones alterados".</b> | <b>Ingeniería genética .</b><br><b>Biotecnología.</b><br><b>Gen.</b><br><b>Genotipo.</b><br><b>Fenotipo.</b><br><b>Mutaciones y herencia.</b><br><b>ADN (Dogma central de la biología molecular).</b><br><b>Herencia vertical.</b>         | <i>Bebes a la carta</i><br><i>El ADN</i>                                                                                                                     |
| <b>EL PAIS: "Científicos chinos aseguran haber creado los primeros bebés modificados genéticamente".</b>                   | <b>Código genético.</b><br><b>VIH/ SIDA</b><br><b>Mosaicismo.</b><br><b>CCR5.</b><br><b>Sistema inmunológico (linfocitos).</b>                                                                                                             | <i>Los genes que tenemos</i><br><i>Como somos en realidad</i><br><i>Clonación =Reproducción</i><br><i>Asexual</i><br><i>Genes = No todos los seres vivos</i> |
| <b>La Vanguardia: "Un científico chino afirma ser el primero en modificar bebés genéticamente".</b>                        | <b>Herencia vertical paterna (predisposición a VIH).</b><br><b>CRISPR cas9: Técnica de Ingeniería genética.</b><br><b>Implantación "in vitro" (FIV).</b><br><b>Cancer (mecanismos de reparación génica).</b><br><b>Concepto de alelos.</b> | <i>Ingeniería genética y cancer</i><br><i>Mecanismos de transcripción y traducción.</i>                                                                      |

Sin embargo, el léxico que vamos a trabajar mediante la lectura de estas controversias no solamente va a ser de carácter puramente científico, sino que tal y como se muestra en la posterior figura, también existirá un léxico de carácter social y un léxico propio del ámbito y contexto personal.

## El Debate.

Una vez que se han recogido y comprendido todos los conceptos incluidos en el léxico científico de los textos, se iniciará un debate en gran grupo, en el cual los alumnos deben defender si se encuentran a favor o en contra del experimento realizado por He, utilizando argumentos no solo basados en el conocimiento científico que han adquirido, sino usando también argumentos éticos, morales y sociales.

Para mejorar la calidad del debate y organizar mejor las ideas de los alumnos el profesor se valdrá de una serie de preguntas que sean capaces de orientar, contextualizar y dinamizar el debate y de una serie de andamios didácticos que van a mejorar los procesos cognitivos de los alumnos (Plantilla de seguimiento del debate).

**Preguntas encaminadas a alimentar la discusión:**

- ¿Debería autorizarse la edición génica de embriones humanos para tratar otras enfermedades de carácter genético? ¿Por que? ¿Algún ejemplo?
- ¿Afectarían estas modificaciones a largo plazo al individuo? ¿y a la población?.
- ¿Existe alguna posibilidad de que esta tecnología sea usada erróneamente o con fines perversos?
- ¿Creéis que He ha obrado éticamente, siguiendo las normas dictadas por la comunidad científica? Si fuera así ¿Consideraríais necesario saltarse estas normas para obtener un fin adecuado, como la cura de una enfermedad?
- ¿Podría esta investigación dar pie al diseño de bebés a la carta? ¿Estáis de acuerdo con este procedimiento?
- ¿Podría esta investigación suponer el comienzo de la Eugenesia en la especie humana?
- ¿Este experimento supondría la eliminación del VIH?
- ¿Es esta investigación jugar a ser Dios?.
- ¿Que opinaría la Iglesia católica de esta investigación?
- ¿Podría tener esta investigación impactos económicos?

Además de utilizar estas preguntas guía el profesor va a utilizar una serie de andamios didácticos que van a ayudar al alumno a estructurar el debate y evaluar los distintos tipos de aspectos e informaciones asociados a las (CSC). Para ello se va a pedir al alumno que clasifique la información atendiendo a cinco criterios diferentes y que, de acuerdo a esta información clasificada, exponga sus argumentos.

- Las ideas que defiende.
- El rol del hablante.
- Los datos en los que basan sus ideas.
- Modelos científicos que implican.
- Léxico clave.

### **Realización del debate**

Una vez leídos los textos se comenzará a debatir sobre el dilema, usando como argumentos las informaciones que los alumnos han recogido en las lecturas. Es necesario que cada estudiante defienda su opinión, respetando la de los demás, pero intentando rebatirla con argumentos fundamentados.

Para realizar el debate, tendremos presentes varios aspectos:

#### **1) Antes de comenzar:**

Los alumnos deberán de completar individualmente la plantilla de seguimiento del debate, en la cual, van a redactar su opinión inicial sobre el dilema. También deberán de anotar algunos argumentos a favor y en contra del dilema.

El profesor se asegurará de que tiene a mano los textos y las fichas TextTest que ha completado para analizarlos y que la lista de vocabulario que se ha hecho en la etapa anterior queda expuesta en el aula y visible por parte de los alumnos.

#### **2) Durante el debate:**

Los alumnos deberán de anotar los argumentos aportados por sus compañeros en la plantilla de seguimiento del debate. El objetivo de esta actividad es que posteriormente sean capaces de escribir un buen ensayo en el cual, tengan en cuenta las opiniones aportadas por otros alumnos. Estos argumentos pueden ser de diferentes tipos, científicos, morales o éticos.

El profesor deberá de insistir en que los alumnos se tomen el debate como un espacio para poder recoger opiniones similares y diferentes a las suyas que puedan enriquecer su ensayo. No solo en obtener la victoria en el debate, pues como se ha mencionado antes, este problema no presenta opinión ni solución definitiva.

### 3) Uso de los términos de léxico seleccionados:

El profesor deberá de mantener visible la lista de términos de léxico construida en la etapa anterior durante el debate. Esto ayudará a que los argumentos aportados tanto por los alumnos como los aportados por el profesor queden más claros, además suponen un buen apoyo para resolver posibles dudas que se planteen durante el debate o en dar mayor o menor peso a los argumentos aportados por los alumnos.

### 4) Participar en un debate de manera adecuada:

El profesor deberá de instar a los estudiantes a que pidan turno de palabra para exponer sus argumentos o para interrumpir a un compañero, una buena práctica sería la de nombrar a un estudiante como moderador del debate.

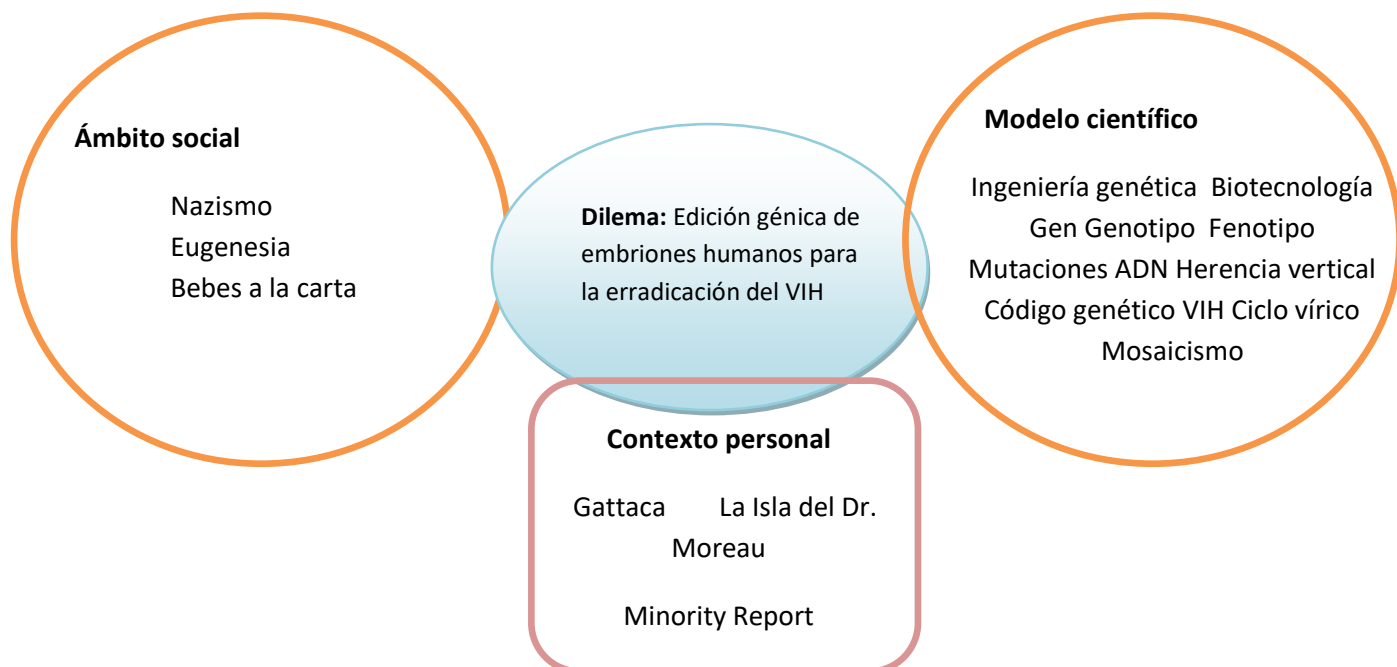
El profesor también debe de favorecer que los alumnos hagan referencia a lo que han dicho sus compañeros cuando justifique su opinión para hacer que sus argumentos sean más ricos y fundamentados, y el uso de expresiones como: *"Yo pienso que ... Acepto .... No estoy de acuerdo con .... Desde mi punto de vista ..."*

### 5) Después del debate:

Los alumnos deberán de completar individualmente su opinión después del debate. Rodeando o marcando argumentos que en el debate se hayan mostrado importantes o relevantes.

**Tabla 3:** Andamios didácticos usados en el debate (Domènech-Casal, 2017).

| Lectura       | Andamio didáctico                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Debate</b> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Se invita al alumnado a tomar nota de los argumentos de sus compañeros/as (Plantilla de Seguimiento del debate).</li><li>• Se mantiene visible en todo momento una lista con los términos del léxico.</li><li>• El profesor/a corrige el uso inadecuado de términos de léxico o su substitución por anti-léxico.</li></ul> |



**Imagen 33:** Implicaciones que el dilema presenta en los diferentes ámbitos que rodean al alumnado (Domènech-Casal, 2017).

## El Ensayo.

En esta etapa, los alumnos deberán de redactar un breve ensayo de 400 palabras en el que describirán la (CSC) y defenderán su opinión sobre la misma. Para ello necesitarán:

- 1) Los textos que han leído en la Etapa 1 y las fichas TextTest donde han recogido las informaciones de los textos.
- 2) La información y argumentos que han recogido en la Etapa 2, en la ficha de Seguimiento del Debate.
- 3) Los documentos de orientación sobre cómo escribir un ensayo, que deben de tener antes de empezar (Plantilla y base de orientación del ensayo, ejemplos de ensayos).

### Proceso de redacción del ensayo:

Antes de que los alumnos comiencen a redactar sus ensayos el profesor deberá de orientarlos en su realización mediante la realización de los siguientes pasos:

- 1) Leer los dos ejemplos de ensayos breves para que el alumno se haga una idea del tipo de texto que se le pide.
- 2) Leer las instrucciones y requisitos que deberán tener el ensayo y repartir el documento Plantilla y Base de orientación del ensayo.
- 3) El alumno escribirá una primera versión del ensayo.
- 4) El alumno revisará si su ensayo es correcto, utilizando la Rúbrica McLeares de valoración del ensayo y recibirá asimismo correcciones por parte de sus compañeros.

**Tabla 4:** Andamios didácticos usados durante la realización del ensayo (Domènech-Casal, 2017).

| Andamio didáctico |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ensayo</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Base de orientación para la elaboración de ensayos y plantilla sobre la estructura de un ensayo científico (datos, argumentos, contra-argumentos y conclusión).</li> <li>• Dos ejemplos de ensayos similares sobre otros temas.</li> <li>• Plantilla de evaluación entre iguales.</li> <li>• Rúbrica McLeares de evaluación del ensayo.</li> </ul> |

## Los andamios didácticos

Como ya se ha mencionado con anterioridad, durante la lectura, el debate, y el ensayo, el profesor va a utilizar una serie de andamios didácticos que van a orientar y favorecer la interacción y los procesos cognitivos y lingüísticos de los estudiantes. Se entienden como andamios didácticos, los apoyos temporales que se ofrecen a los alumnos para que aprendan a desarrollar procesos complejos. Estos van a ayudar a los alumnos a estructurar sus argumentaciones y evaluar los distintos aspectos e información asociados a la (CSC).

Asimismo, ofrecen al alumno un marco práctico para atender a las dificultades del profesorado en relación a la evaluación de la actividades (CSC). El conjunto de andamios didácticos que van a ser utilizados en esta secuencia didáctica son:

- Ficha Texto-TestWG de (ANEXO IV).
- Plantilla de Seguimiento del debate.
- Plantilla y base de orientación del ensayo.
- 2 ejemplos de ensayos

## Criterios de calificación

La calificación que los estudiantes recibirán de la secuencia didáctica realizada, se basará en la redacción de un ensayo individual, en el cual, cada uno de los alumnos deberá plasmar su opinión acerca de la (CSC) y el conjunto de argumentos ya sean suyos o aportados por sus compañeros en los cuales se basa o sostiene. Ese ensayo será calificado en base a una rúbrica específica, la Rúbrica McLeares.

Al final de esta actividad didáctica el alumnado deberá de presentar:

- 1) Las fichas TextTest de análisis de los textos de la Etapa 1 (Colectivo).
- 2) La ficha de seguimiento de la Etapa 2 de debate (Individual).
- 3) Las dos versiones del ensayo creadas en la Etapa 3: Antes de revisarla con la rúbrica y tras revisarla (Individual).

La calificación se basará exclusivamente en la redacción del debate, los otros documentos o fichas entregadas por el alumnado constituirán un control del seguimiento de la actividad y del razonamiento del alumnado.

Una vez que el alumno haya revisado su ensayo siguiendo las indicaciones de la Rúbrica McLeares, el profesor corregirá y devolverá el ensayo basándose en la misma rúbrica. La calificación se basará en 5 notas sobre dos puntos. Por ejemplo: 1, 1'5, 2, 0'5, 2 . Cada una de ellas se corresponde a la nota sobre dos puntos de cada uno de los apartados de una rúbrica McLeares (Léxico, Modelo, Contexto, Argumentación, Estructura). Así el alumno podrá saber qué cosas ha realizado correctamente y cuáles no. Todas las notas sumadas, son la nota de sobre 10 del ensayo.

Como ya se ha mencionado, para llevar a cabo la evaluación de la actividad se utilizará una rúbrica McLeares. En este sentido la rúbrica McLeares para este marco didáctico, no sólo es usada para la auto-evaluación del alumnado durante la realización del ensayo, sino que también va a usarse para la calificación de los ensayos. La rúbrica tiene por objetivo el darle un sentido más científico a el trabajo con ensayos y su evaluación, ya que a menudo éstos suelen valorarse desde un punto de vista estrictamente lógico (argumentación) o lingüístico (estructura, léxico), obviando los aspectos estrictamente científicos, como el uso de datos (Contexto) y modelos científicos en su interpretación. Para la elaboración del ensayo, se proponen además andamios con distintos niveles de abstracción (Base de orientación, plantilla, ejemplos).

**Tabla 5:** Rúbrica McLeares planteada en la secuencia didáctica (Domènech-Casal, 2017).

| Dimensiones de análisis  | 2                                                                                                                                                                                                                                                    | 1                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Contextualización</b> | Se aportan datos (numéricos, estadísticos,...) y como mínimo dos ejemplos de situaciones concretas y reales que sirvan para ilustrar el dilema o su importancia                                                                                      | Se aporta algún ejemplo para clarificar alguna idea. Se proponen situaciones (reales o hipotéticas) que sirven para ilustrar el dilema o su importancia.                                                                                                                                        | No se aportan ejemplos ni datos externos al dilema. La argumentación se basa en argumentos de terceros.                                                                                       |
| <b>Argumentación</b>     | Se usan los conectores gramaticales adecuados (ya que, por lo tanto ,etc.) y los argumentos son coherentes entre sí. Se anticipa a posibles contra-argumentos y los neutraliza. Usa énfasis (preguntas, interpelaciones) y puntuación como refuerzo. | Se usa algún conector, pero prevalece la descripción. Alguno de los argumentos que se propone es poco coherente con el resto, o desatiende los contraargumentos. No se usan énfasis.                                                                                                            | Se trata básicamente de una descripción y no parece que quiera convencer a nadie. No usa conectores adecuados.                                                                                |
| <b>Estructura Formal</b> | La estructura formal es correcta (Título, Subtítulo, Datos, Argumentación, Contra-Argumentación y Conclusiones) y cada sección cumple con su función en el discurso. No hay contradicciones internas                                                 | La estructura general es correcta, pero alguna sección contiene tipos de informaciones o razonamientos que deberían estar en otra, o no cumple completamente con su función en el discurso. Se identifica la estructura del texto, pero las transiciones entre secciones son demasiado bruscas. | El texto es desordenado y sin hilo conductor. No parece que avance en el desarrollo de una idea y se hace difícil identificar las partes del ensayo. Hay contradicciones internas.            |
| <b>Léxico</b>            | Se usan los 4-5 términos clave del léxico específico del tema, de modo pertinente y haciendo que ayuden a una mejor comprensión del ensayo. Clarifica el vocabulario específico parafraseándolo o estableciendo relaciones entre distintos términos. | Se usan 2-3 términos de léxico específico de modo pertinente. No incluye más términos, o los incluye de modo que no queda claro qué relación tienen entre sí y con el tema.                                                                                                                     | Se usan como mucho uno de los términos del léxico específico de forma pertinente. No se incluyen más, o bien se incluyen como listas de definiciones que no forman parte realmente del texto. |

|               |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                 |                                                                       |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>Modelo</b> | El modelo científico que sirve para interpretar las evidencias está expresado explícitamente y bien relacionado con el dilema y se usa para analizarlo | Se cita el modelo científico (de modo directo o indirecto), pero no se usa en la argumentación, que se centra principalmente en consideraciones ajenas al funcionamiento del modelo científico. | No se cita el modelo científico implicado en el dilema de ningún modo |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|

## Contenidos, estándares de aprendizaje y criterios de evaluación

Mediante la realización de esta secuencia didáctica conseguiremos impartir diversos contenidos propios de la materia y completar diversos criterios de evaluación y estándares de aprendizaje contemplados en el Bloque 1º de la asignatura de Biología y Geología del curso de 4º de la ESO. Más concretamente conseguiremos aplicar los siguientes criterios de evaluación y estándares de aprendizaje.

### **Criterios de evaluación:**

- 7. Comprender cómo se expresa la información genética, utilizando el código genético.
- 8. Valorar el papel de las mutaciones en la diversidad genética, comprendiendo la relación entre mutación y evolución.
- 11. Conocer algunas de las enfermedades hereditarias su prevención y alcance social.
- 14. Reconocer las aplicaciones de la ingeniería genética: OMG (organismos modificados genéticamente).
- 15. Valorar las aplicaciones de la ingeniería tecnología del ADN recombinante en la agricultura, la ganadería y el medio ambiente.

### **Estándares de aprendizaje:**

- 7.1. Ilustra los mecanismos de la expresión genética por medio del código genético.
- 8.1. Reconoce y explica en que consisten las mutaciones y sus tipos.
- 11.1. Identifica las enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social.
- 14.1. Analiza las implicaciones éticas sociales y medioambientales de la Ingeniería genética.

15.1. Interpreta críticamente las consecuencias de los avances actuales en el campo de la biotecnología.

## Competencias clave

Acorde a la Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la Educación Primaria, de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, las competencias clave del currículum son siete, que se trabajarán de forma específica en esta secuencia didáctica de la manera descrita a continuación:

1. **Comunicación Lingüística (CL):** Durante la realización de esta secuencia didáctica los alumnos trabajarán tanto la comunicación oral como la escrita. La comunicación oral será fundamental en la realización del debate y en la exposición de ideas por parte de los estudiantes, mientras que la comunicación escrita será reforzada mediante la fase de lectura y la realización del ensayo.

2. **Competencia Matemática y Competencias básicas en Ciencia y Tecnología (CMTC):** Competencia central de la asignatura de Biología y Geología, asignatura en la cual se enmarca esta secuencia didáctica. Esta competencia será trabajada mediante el aprendizaje por parte de los alumnos de los conceptos clave o léxico científico necesarios para la comprensión e interpretación del dilema. Asimismo, la interpretación de datos y modelos científicos es una habilidad clave para el desarrollo del ensayo, que será reforzada en esta secuencia didáctica.

4. **Aprender a Aprender (CAA):** Se alcanzará mediante la autonomía que los alumnos presentan a la hora de exponer sus ideas, opiniones y pensamientos sobre la (CSC) durante el debate y durante la realización del ensayo, siempre y cuando estén debidamente fundamentados. El alumno tendrá total libertad de consultar otras fuentes de información y formar su propio conocimiento frente al dilema.

5. **Competencias Sociales y Cívicas (CSC):** Aunque de modo global y general, en la asignatura se fomentan las competencias sociales y cívicas atendiendo a mantener un entorno basado en el respeto y la conservación de las instalaciones y materiales de forma adecuada. Mediante esta secuencia didáctica esta competencia clave será reforzada ya que los alumnos deben tener en cuenta y reflexionar sobre aspectos sociales y morales para poder tener una visión y opinión completa y fundamentada del dilema expuesto. Asimismo, los estudiantes deberán escuchar y respetar las opiniones del resto de sus compañeros.

**6. Sentido de la Iniciativa y Espíritu Emprendedor (SIEP):** Esta competencia será trabajada mediante la libertad que los alumnos van a tener de exponer sus opiniones y de debatir entre ellos para determinar la validez o el estado de este dilema.

**7. Conciencia y expresiones culturales (CEC):** Esta competencia hace referencia a las diferentes aportaciones e influencias de culturas antiguas al desarrollo del conocimiento. Esta competencia podría ser trabajada durante esta actividad didáctica mediante la mención de las particularidades culturales y gubernamentales de China, ya que el científico que ha dado pie a esta controversia sociocientífica (CSC) se trata de un genetista de nacionalidad china.

## Objetivos

Según indica el Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, en su Artículo 2. Definiciones. Señala que *“Los objetivos son los referentes relativos a los logros que el estudiante debe alcanzar al finalizar cada etapa, como resultado de las experiencias de enseñanza-aprendizaje intencionalmente planificadas a tal fin”*. Los objetivos se clasifican en tres niveles: objetivos generales de etapa, de área o de la materia y específicos de la unidad didáctica.

## Objetivos de etapa

Dichos objetivos se encuentran regulados por el artículo 23 de la Ley Orgánica 2/2006, del 3 de mayo, de Educación, modificada por la Ley Orgánica 8/2013, del 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. Conforme a esta ley, durante la etapa de Educación Secundaria Obligatoria, los discentes progresarán las capacidades que les permitan:

- a)** Asumir responsablemente sus deberes, conocer y ejercer sus derechos en el respeto a los demás, practicar la tolerancia, la cooperación y la solidaridad entre las personas y grupos, ejercitarse en el diálogo afianzando los derechos humanos y la igualdad de trato y de oportunidades entre mujeres y hombres, como valores comunes de una sociedad plural y prepararse para el ejercicio de la ciudadanía democrática.
- b)** Desarrollar y consolidar hábitos de disciplina, estudio y trabajo individual y en equipo como condición necesaria para una realización eficaz de las tareas del aprendizaje y como medio de desarrollo personal.
- c)** Valorar y respetar la diferencia de sexos y la igualdad de derechos y oportunidades entre ellos. Rechazar la discriminación de las personas por razón de sexo o por cualquier otra condición o circunstancia personal o social. Rechazar los estereotipos

que supongan discriminación entre hombres y mujeres, así como cualquier manifestación de violencia contra la mujer.

**d)** Fortalecer sus capacidades afectivas en todos los ámbitos de la personalidad y en sus relaciones con los demás, así como rechazar la violencia, los prejuicios de cualquier tipo, los comportamientos sexistas y resolver pacíficamente los conflictos.

**e)** Desarrollar destrezas básicas en la utilización de las fuentes de información para, con sentido crítico, adquirir nuevos conocimientos. Adquirir una preparación básica en el campo de las tecnologías, especialmente las de la información y la comunicación.

**f)** Concebir el conocimiento científico como un saber integrado, que se estructura en distintas disciplinas, así como conocer y aplicar los métodos para identificar los problemas en los diversos campos del conocimiento y de la experiencia.

**g)** Desarrollar el espíritu emprendedor y la confianza en sí mismo, la participación, el sentido crítico, la iniciativa personal y la capacidad para aprender a aprender, planificar, tomar decisiones y asumir responsabilidades.

**h)** Comprender y expresar con corrección, oralmente y por escrito, en la lengua castellana y, si la hubiere, en la lengua cooficial de la Comunidad Autónoma, textos y mensajes complejos, e iniciarse en el conocimiento, la lectura y el estudio de la literatura.

**i)** Comprender y expresarse en una o más lenguas extranjeras de manera apropiada.

**j)** Conocer, valorar y respetar los aspectos físicos básicos de la cultura y la historia propias y de los demás, así como el patrimonio artístico y cultural.

**k)** Conocer y aceptar el funcionamiento del propio cuerpo y el de los otros, respetar las diferencias, afianzar los hábitos de cuidado y salud corporales e incorporar la educación física y la práctica del deporte para favorecer el desarrollo personal y social. Conocer y valorar la dimensión humana de la sexualidad en toda su diversidad. Valorar críticamente los hábitos sociales relacionados con la salud, el consumo, el cuidado de los seres vivos y el medio ambiente, contribuyendo a su conservación y mejora.

**l)** Apreciar la creación artística y comprender el lenguaje de las distintas manifestaciones artísticas, utilizando diversos medios de expresión y representación.

**A nivel comunitario**, la legislación añade a los anteriores, en el Decreto 11/2016, del 14 de junio, los siguientes objetivos específicos para esta etapa:

**a)** Conocer y apreciar las peculiaridades de la modalidad lingüística andaluza en todas sus variedades.

**b)** Conocer y apreciar los elementos específicos de la historia y la cultura andaluza, así como su medio físico y natural y otros hechos diferenciadores de nuestra Comunidad, para que sea valorada y respetada como patrimonio propio en el marco de la cultura española y universal.

Estos dos objetivos serán tratados en la materia, aunque no en esta Secuencia Didáctica.

## Objetivos didácticos específicos de la secuencia didáctica

Además de los objetivos generales y los objetivos específicos de etapa contemplados en la Ley Orgánica 8/2013, del 9 de diciembre, para la Mejora de la Calidad Educativa. Esta secuencia didáctica presenta una serie de objetivos específicos, los cuales se describen a continuación:

1. Desarrollar opiniones fundamentadas y responsables sobre temas científicos de actualidad con importantes implicaciones sociales y éticas.
2. Desarrollar una visión adecuada sobre la ciencia y sobre sus implicaciones tecnológicas, sociales, morales y medioambientales.

**Tabla 6:** Tabla en la cual, se resumen las diferentes fases de la secuencia didáctica, el contenido impartido en ellas, los criterios de evaluación trabajados y los estándares de aprendizaje y competencias clave presentes.

| <b>Fase de la secuencia didáctica</b>              | <b>Contenido del Bloque 1º Biología y Geología de 4º ESO</b>                              | <b>Criterios de evaluación aplicados</b> | <b>Estándares de aprendizaje obtenidos</b> | <b>Competencias clave presentes</b>      | <b>Objetivos didácticos específicos de la secuencia didáctica</b> |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <b>Presentación del dilema</b>                     | <b>Ingeniería genética:<br/>Técnicas y aplicaciones.<br/>Biotecnología.<br/>Bioética.</b> | <b>11</b>                                | <b>11.1</b>                                | <b>CL, CD, CSC</b>                       | <b>1, 2</b>                                                       |
| <b>Lectura y explicación del léxico científico</b> |                                                                                           | <b>7, 8, 11, 14</b>                      | <b>7.1, 8.1, 11.1, 14.1</b>                | <b>CL,CD, CSC</b>                        | <b>1, 2</b>                                                       |
| <b>Debate</b>                                      |                                                                                           | <b>7, 8, 11, 14, 15</b>                  | <b>7.1, 8.1, 11.1, 14.1, 15.1</b>          | <b>CL, CMTC, CD, CAA, CSC, SIEP, CEC</b> | <b>1, 2</b>                                                       |
| <b>Ensayo</b>                                      |                                                                                           | <b>7, 8, 11, 14, 15</b>                  | <b>7.1, 8.1, 11.1, 14.1, 15.1</b>          | <b>CL, CMTC, CAA, CSC</b>                | <b>1, 2</b>                                                       |

## Atención a la diversidad

Conforme a la Orden de 14 de julio de 2016, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad, por lo que cada Unidad Didáctica deberá adaptarse en medida de lo posible a las peculiaridades que puedan tener algunos alumnos o alumnas.

Durante la realización de esta secuencia didáctica se procurará llevar a cabo acciones que favorezcan la atención a la diversidad. Como ya se ha descrito, esta actividad didáctica se basa en gran medida en la discusión y el debate, los estudiantes deben de argumentar, discutir y llevar a cabo juicios de valor para llegar a distintas conclusiones. En este aspecto, desde el punto de vista de la atención a la diversidad, durante la fase de la secuencia correspondiente al debate, se procurará tolerar todas las opiniones que cada estudiante aporta y afronta de acuerdo a sus capacidades, fomentando la participación y el respeto de todos los estudiantes.

Durante la fase de lectura, pese a que el alumnado dispone de andamios didácticos que van a encauzar y mejorar sus razonamientos, se procurará que aquellos alumnos y alumnas que presenten una mayor dificultad lectora, trabajen aquellos textos que presenten una menor extensión y complejidad, para facilitarles así su labor.

## Consideraciones finales

¿Cuál es mi reflexión global sobre este trabajo y el máster en general? Ciertamente, no es sencillo plasmar una reflexión holística sobre este máster. Sin embargo, he de decir que de forma general, esta experiencia me ha resultado muy enriquecedora y me ha parecido motivadora de cara al futuro. Durante el desarrollo de este máster mi motivación en ser docente ha ido aumentando de forma progresiva, y la realización del prácticum y de este trabajo de fin de máster han constituido actividades que han culminado con mi determinación, no solo de dedicarme a ser un buen docente, sino de intentar llevarlo a cabo de la mejor manera posible y procurando implementar siempre que sea posible metodologías pedagógicas vanguardistas e innovadoras. Considero que la realización de este máster me ha aportado una base teórica y práctica necesarias para poder ejercer adecuadamente como docente en un futuro próximo.

En cuanto al aporte de este trabajo, pienso que es de vital importancia que en la educación vayan abriéndose paso nuevas metodologías didácticas que sean capaces de conseguir un aprendizaje significativo en nuestros estudiantes, evitando la memorización y la repetición de grandes y tediosas listas de conceptos, y favorezcan un uso útil e instrumentalizado del conocimiento incentivando la motivación y el interés de los estudiantes, siendo estos protagonistas de su búsqueda del conocimiento. Desde este punto de vista, este trabajo puede aportar ese toque de frescura e innovación en las clases de genética de nuestros 4º de ESO. Mediante la

implementación de estas (CSC) en nuestras clases de genética, los alumnos "despertarán" de sus pupitres y ansiarán ser los protagonistas de un acalorado debate sobre la genética y sobre sus implicaciones éticas y sociales.

Tal vez los principales puntos fuertes de este trabajo son su fuerte fundamentación en trabajos relevantes sobre esta temática, la sencillez de su estructuración, su capacidad de mejorar aspectos motivacionales y psicológicos de los alumnos, y el favorecimiento de la argumentación y de la reflexión crítica de los estudiantes.

Una de las trabas por las cuales, los docentes no se deciden a apostar por la implementación de estas controversias sociocientíficas en las aulas, es la dificultad que estos encuentran a la hora de estructurar y gestionar este tipo de actividades, no solo en su desarrollo, si no en su evaluación. Este trabajo muestra de manera muy simple y efectiva como realizar una secuencia didáctica basada en las (CSC) y en torno a la genética, su ingeniería y sus implicaciones sociales y éticas. Asimismo esta actividad didáctica supone una rotura de la rutina de transmisión y recepción del conocimiento presente en las clases de Biología de nuestros institutos, la realización de esta tarea despertará la imaginación de los estudiantes, les hará replantearse ideas previas que presentaban con respecto a la genética y su aplicación en la sociedad y les motivará e implicará en la búsqueda de argumentos a favor o en contra de este debate. Otra de las grandes ventajas que presenta esta metodología es su gran componente o vocación hacia la alfabetización científica (ATC), ya que mediante la aplicación de esta secuencia didáctica los estudiantes no solo será capaces de asimilar conceptos científicos, sino que también serán capaces de identificar y reconocer aspectos procedimentales propios de la ciencia y de adquirir una actitud positiva frente a la ciencia y su problemática.

Tampoco debemos de olvidar la importancia de la dimensión psicológica en los alumnos de secundaria, ya que la adolescencia supone un periodo complicado en el cual, tanto las presiones externas como internas van a moldear en gran medida el autoestima y el autoconcepto de los estudiantes. En este aspecto este trabajo también presenta gran interés ya que el trabajo mediante (CSC) supone una intensa interacción entre los alumnos de la clase, ya que los estudiantes deben de argumentar y debatir con sus compañeros para obtener conclusiones sobre la controversia, esto suele conllevar a la mejora en aspectos de comportamiento, tales como la conducta prosocial, la solidaridad y la cooperación que van a favorecer la aceptación de los alumnos por parte de sus compañeros. De igual manera, esta secuencia pedagógica puede favorecer en gran medida el autoconcepto académico de los estudiantes, ya que estos suelen sentirse motivados y percibir que sus aportaciones y argumentos son relevantes para el desarrollo de la actividad.

Por último, resaltar el fuerte componente ético y moral de esta secuencia didáctica. Los estudiantes no solo deberán de analizar y comprender conceptos teóricos para comprender el dilema en su totalidad, sino que deberán reflexionar sobre las diferentes implicaciones sociales y teóricas que el experimento conlleva, dándoles una visión menos hermética de la ciencia y sus implicaciones.

Por todas estas razones queda claro la relevancia y las aportaciones que este trabajo puede brindar a la didáctica, no solo de las ciencias, sino de la genética, y a la mejora

de la motivación y la actitud de los estudiantes respecto a la ciencia y sus diferentes dimensiones.

## Referencias Bibliográficas

1. (2019). Retrieved 24 September 2019, from [https://www.researchgate.net/publication/301855329\\_Statistical\\_Inference](https://www.researchgate.net/publication/301855329_Statistical_Inference).
2. ¿Qué es la Biotecnología?. (2019). Retrieved 23 September 2019, from <https://www.centrobiotecnologia.cl/comunidad/que-es-la-biotecnologia/>.
3. Almeria, U. D. E., & Máster, E. I. D. E. (2017). Transgénicos . Aprendizaje de una controversia sociocientífica.
4. Ángel, M., & Cavero, B. (n.d.). Motivación y rendimiento académico en alumnos de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato LOGSE. 379–414.
5. Argento, D. (2013). Estudio exploratorio sobre preconcepciones en el área de Genética en alumnos de Secundaria italianos y españoles.
6. Austin, C. (2019). ADN (Ácido Desoxirribonucleico) | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/ADN-acido-Desoxirribonucleico>.
7. Austin, C. (2019). Fenotipo | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Fenotipo>.
8. Austin, C. (2019). Genotipo | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Genotipo>.
9. Barbadilla, A. (2019). Bosquejo historico de la Genetica, Antonio Barbadilla. Retrieved 24 September 2019, from <http://bioinformatica.uab.es/genetica/curso/Historia.html>.
10. Biesecker, L. (2019). Alelo | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Alelo>.
11. Biografia de Thomas Hunt Morgan. (2019). Retrieved 24 September 2019, from [https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/morgan\\_thomas.htm](https://www.biografiasyvidas.com/biografia/m/morgan_thomas.htm).

12. Bodine, D. (2019). Ingeniería genética | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Ingenieria-genetica>.
13. Bodine, D. (2019). Síndrome de la Inmuno-Deficiencia Adquirida (SIDA) | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Sindrome-de-la-Inmuno-Deficiencia-Adquirida>.
14. Borgerding, L. A., & Dagistan, M. (2018). Preservice science teachers' concerns and approaches for teaching socioscientific and controversial issues. *Journal of Science Teacher Education*, 29(4), 283–306.
15. Brody, L. (2019). Código genético | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Codigo-genetico>.
16. Brody, L. (2019). Linfocito | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Linfocito>.
17. Butler, D., Abbott, A., Spurgeon, D., Adam, D., Cyranoski, D., & Bosch, X. et al. (2019).
18. Volume 409 Issue 6822, 15 February 2001. Retrieved 24 September 2019, from <https://www.nature.com/nature/volumes/409/issues/6822>.
19. Caballero Armenta, M. (2008). Algunas ideas del alumnado de Secundaria sobre conceptos básicos de genética. *Investigación Didáctica*, 26(2), 227–244.
20. Cándido, I. (2009). Conducta prosocial y rendimiento académico en estudiantes españoles de Educación Secundaria Obligatoria. 25(2003), 93–101.
21. Caveró, B. (2000). AUTOCONCEPTO , AUTOESTIMA Y RENDIMIENTO ACADÉMICO EN ALUMNOS DE 4º DE E . S . O . 18(1980), 119–146.
22. CCR5 Definición. (2019). Retrieved 23 September 2019, from <https://infosida.nih.gov/understanding-hiv-aids/glossary/979/ccr5>.
23. Cebrián-robles, D., & Franco-mariscal, E. E. A. (2014). socio-científico relacionado con las centrales nucleares para iniciar en el activismo y en el uso de pruebas a maestros de primaria en formación inicial.
24. Charles Darwin. Biografía. (2019). Retrieved 24 September 2019, from <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/darwin/>.
25. Collins, F. (2019). Gen | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Gen>.

26. Collins, F. (2019). Herencia mendeliana | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Herencia-mendeliana>.
27. Collins, F. (2019). Mutación | National Human Genome Research Institute. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Mutacion>.
28. Compostela, S. De. (2012). Xxv encuentro de didáctica de las ciencias experimentales 5, 6.
29. De, E., & Ciencias, L. (1995). Didactica De La Genetica Revision Bibliografica. 13(3), 379–385.
30. Del, I., & Adultos, J. Y. (n.d.). ABORDAJE DE UNA CUESTIÓN SOCIO- CIENTÍFICA Y. 87–114.
31. Díaz Moreno, N. C., & Jiménez Liso, M. R. (2014). Las controversias sociocientíficas como contexto en la enseñanza de las ciencias. *XXVI Encuentro de Didáctica de Las Ciencias Experimentales*, (January), 693–701.
32. Díaz Moreno, N., & Jiménez Liso, M. R. (2017). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias.*, 9(1), 54–70.
33. Dogma Central De La Biología Molecular. (2019). Retrieved 24 September 2019, from <https://www.frases333.com/dogma-central-de-la-biologia-molecular/.7>.
34. Domènech-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(3), 601–620.
35. Domènech-Casal, J. (2017). Propuesta de un marco para la secuenciación didáctica de Controversias Socio-Científicas. Estudio con dos actividades alrededor de la genética. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 14(3), 601–620.
36. Educación, C. D. E. L. A., & De, C. (2014). *TESIS DOCTORAL GENÉTICA Y CINE . NATURALEZA Y ORIGEN*.
37. Education, B., Controversies, S.-S., & Secund, E. (2018). biotecnología y sus controversias socio-científicas en la escuela secundaria : un estudio en la ciudad de Córdoba ( Argentina ). 31–46.

38. Elam, M., Solli, A., & Mäkitalo, Å. (2019). Socioscientific issues via controversy mapping: bringing actor-network theory into the science classroom with digital technology. *Discourse*, 40(1), 61–77.
39. Exactas, C. (2017). Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Medellín, Colombia 2017.
40. Fang, S. C., Hsu, Y. S., & Lin, S. S. (2019). Conceptualizing Socioscientific Decision Making from a Review of Research in Science Education.
41. Fecundación in vitro (FIV): MedlinePlus enciclopedia médica. (2019). Retrieved 23 September 2019, from <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/007279.htm>.
42. Fuentes, G. R. (2003). Motivación, estrategias de aprendizaje y rendimiento en estudiantes de E.S.O.
43. Gallego, A. M. A. (2010). LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES . Un caso de estudio : la genética y la biología molecular. 1–16.
44. González, C., Andrés, P., & Catalina, D. (2014). Propuesta de un Diseño Curricular desde las Cuestiones Sociocientíficas. 62–68.
45. Inéditos, Y. E., & Socio-científicas, A. S. C. (n.d.). NFORMES DE INVESTIGACIÓN Y ENSAYOS INÉDITOS Acción Socio-Política sobre Cuestiones Socio-Científicas: Reconstruyendo la Formación Docente y el Currículo 1. 14.
46. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(3), 427–448.
47. Javier, F., Porras, Í., & Oliván, P. (2013). Una propuesta didáctica para la enseñanza de la genética en la Educación Secundaria. 10(3), 307–327.
48. La vanguardia. (2019). Un científico chino afirma ser el primero en modificar bebés genéticamente. Retrieved from <http://Un científico chino afirma ser el primero en modificar bebés genéticamente>.
49. Lee, H., & Yang, J. eun. (2019). Science Teachers Taking their First Steps toward Teaching Socioscientific Issues through Collaborative Action Research. *Research in Science Education*, 49(1), 51–71.
50. López, Á. B., España, E., & Joaquín, A. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. 1(1), 107–115.
51. Mediavilla, D. (2019). El ‘secreto de la vida’ cumple 60 años. Retrieved 24 September 2019, from <http://esmateria.com/2013/04/25/el-secreto-de-la-vida-cumple-60-anos/>.

52. MoBiTec: CRISPR/Cas9 Genome Editing: Transfection Methods from Mirus. (2019). Retrieved 23 September 2019, from.
53. Morán, A. (2019). ¿Qué es la tecnología CRISPR/Cas9 y cómo nos cambiará la vida?. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.dciencia.es/que-es-la-tecnologia-crispr-cas9/>.
54. Moreno, N. D. (2015). sociocientíficas Uso didáctico de las que se han publicado en prensa \*. 39–43.
55. Nuangchale, P. (2010). Development of Socioscientific Issues-Based Teaching for Preservice Science Teachers. *Journal of Social Sciences*, 5(3), 239–243.
56. Ostrander, E. (2019). Cáncer. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.genome.gov/es/genetics-glossary/Cancer>.
57. Pascual, V., & Vidal, M. (2019). El científico chino que modificó los genes de dos bebés admite otra fecundación con embriones alterados. EL PAÍS. Retrieved from [https://elpais.com/elpais/2018/11/28/ciencia/1543381113\\_429352.html](https://elpais.com/elpais/2018/11/28/ciencia/1543381113_429352.html).
58. Picton, G. (2019). Mosaicism: study clarifies parents as source of new disease mutations. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.bcm.edu/news/genetics/mosaicism-parents-source-disease-mutations>.
59. Ramos, E. E., & Ruz, T. P. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias.
60. Reis, P. (2017). EL PROYECTO WE ACT COMO MARCO COMPETENTES A TRAVÉS DEL. 657–662.
61. Revisión y reparación del ADN. (2019). Retrieved 23 September 2019, from <https://es.khanacademy.org/science/biology/dna-as-the-genetic-material/dna-replication/a/dna-proofreading-and-repair>.
62. Santana Vega, L. E., Feliciano García, L. A., & Santana Lorenzo, J. A. (2013).
63. Solbes Matarredona, J. (2017). Contribución de las cuestiones sociocientíficas al desarrollo del pensamiento crítico (II): Ejemplos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 10(2), 171–181.
64. Topçu, M. S., Foulk, J. A., Sadler, T. D., Pitiporntapin, S., & Atabey, N. (2018). The classroom observation protocol for socioscientific issue-based instruction: development and implementation of a new research tool. *Research in Science and Technological Education*, 36(3), 302–323.
65. Transmisión vertical. (2019). Retrieved 23 September 2019, from [https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n\\_vertical](https://es.wikipedia.org/wiki/Transmisi%C3%B3n_vertical).

66. Vega, F., Gallegos, L., & Flórez, F. (2017). Dificultades conceptuales para la comprensión de la ecuación de Bernoulli. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, Vol.2(14), 339–352.
67. Vidal, M. (2019). Científicos chinos aseguran haber creado los primeros bebés modificados genéticamente. EL PAÍS. Retrieved from [http://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768\\_174686.html](http://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768_174686.html).
68. Vocational maturity and self-efficacy in 3° and 4° of Compulsory Secondary Education, High School and Vocational Training. *Revista Espanola de Orientacion y Psicopedagogia*, 24(3), 8–26.
69. W. Tang, J., & KS. Chang, P. (2019). 1. VIROLOGY OF HUMAN IMMUNODEFICIENCY VIRUS. Retrieved 23 September 2019, from <https://www.aids.gov.hk/pdf/g190htm/01.htm>.
70. Zeidler, D. L., & Nichols, B. H. (2009). *Socioscientific Issues : Theory and Practice*. (March).

## Anexos

### Anexo I: Texto I

# **El científico chino que modificó los genes de dos bebés admite otra fecundación con embriones alterados**

**"Estoy orgulloso. Estoy orgullosísimo", afirma He Jiankiu al defender su experimento en un congreso.**



Por unos segundos, el auditorio del salón de actos del vestíbulo de la Universidad de Hong Kong permaneció en vilo al ver que He Jiankiu, el genetista chino que anunció el lunes haber modificado el ADN de dos bebés recién nacidas, no aparecía. “No sé dónde está”, aseguró Robin Lovell-Badge, del Instituto Francis Crick tras presentarle. Pero tras esos momentos de incertidumbre, el investigador entró por una puerta lateral carter a mano para defender un experimento que ha puesto en jaque a la comunidad científica y reconocer que probó una segunda fecundación con genes alterados. No obstante, remarcó que por el momento ha detenido sus pruebas “debido a la situación actual”, en alusión al escándalo que su investigación ha generado.

Al comienzo de su intervención, He se disculpó por haber dado a conocer su experimento sin avisar previamente a los organizadores de la Segunda Cumbre de Edición de Genoma Humano, que se celebra esta semana en la excolonia británica. Como justificación, aseguró haber enviado el artículo con los datos de la prueba a una revista científica, aunque no mencionó el nombre de la publicación. En un discurso durante el que no aportó casi información, no identificó a los supuestos científicos consultados en las diferentes etapas de la investigación ni dio detalles sobre el seguimiento ético que debería haber llevado a cabo en cada fase según las normas que adoptan los miembros de su profesión.

“Solo ha dado rasgos generales porque sabe que ha obviado las buenas prácticas en cualquier ensayo”, aseguró a este diario la experta en bioética María de Jesús Medina Arellano, de la Universidad de México y una de las participantes en el congreso científico en Hong Kong. “Busca reconocimiento”, añadió.

El genetista, formado en las universidades estadounidenses de Rice y Stanford, sorprendió el lunes al mundo al anunciar el nacimiento, hace “algunas semanas” de Nana y Lulu, dos gemelas chinas a las que se les modificó el gen CCR5, que el virus del sida utiliza como puerta para atacar el sistema inmunológico humano. He aclaró que, tras la decisión de una pareja de retirarse del proyecto, trabajó con otras siete en las que el varón era portador del virus del sida y la mujer no. Según dijo, tras lograr la gestación con éxito de los embriones en “Grace”, la madre de las gemelas, utilizó once embriones en seis intentos de implantación. Ahora asegura que las niñas se encuentran en perfecto estado de salud, en su casa, y su experimento no ha provocado ninguna mutación no deseada. “Me siento orgulloso. Me siento aún más orgulloso porque el padre (de las niñas gemelas) pensó que había perdido la esperanza en su vida”, indicó.

Aferrándose a la idea de que su método “puede ser la única manera de curar alguna enfermedad”, el investigador, que dijo haber autofinanciado su trabajo y rechazó cualquier implicación de sus dos compañías de investigación genética, insistió en que “si la tecnología está disponible, podemos ayudar a la gente que lo necesita”.

Con estas declaraciones dejó entrever su postura tras haber llevado a cabo una investigación -aún en secreto- que puede potencialmente ayudar a evitar enfermedades hereditarias al eliminar o cambiar la codificación problemática en los embriones. Sin embargo, la falta de conocimiento sobre el daño que podría causar no solo al individuo sino también a las generaciones futuras la modificación de esos embriones, ha sido el detonante de las críticas llegadas de científicos de diferentes partes del globo.

### **Irresponsable**

Incluido el Premio Nobel de Medicina David Baltimore, uno de los organizadores del congreso en Hong Kong, quien tomó la palabra tras el discurso de He para lamentar que haber procedido de esta manera es “irresponsable”. “No creo que haya sido un proceso transparente. Solo lo hemos sabido después de que sucediera

y los niños nacieran", afirmó para asegurar que mañana habría una declaración formal por parte de la organización.

De la misma forma, un grupo de 122 científicos chinos firmaron una carta de repulsa, en la que califican el experimento de "locura", y se lamentan de la mancha que He ha echado sobre la reputación de la investigación en ese país. Y más. Las autoridades científicas ordenaron la apertura de una investigación sobre las pruebas dirigidas por He, la Universidad del Sur de Ciencia y Tecnología en la que trabajaba como profesor asociado, se distanció de él al apuntar que se encuentra en excedencia desde febrero e incluso el hospital con el que He había supuestamente colaborado denunció una posible falsificación de firmas.

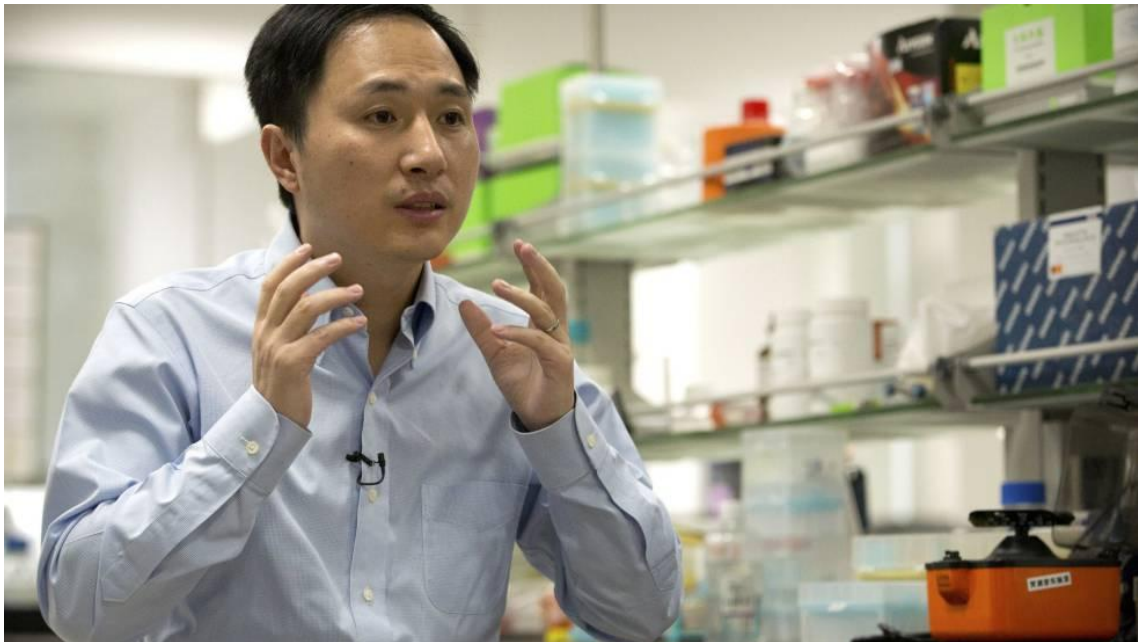
Pese al escándalo y la lluvia de críticas alrededor de su anuncio, He defendió su experimento y aseguró que vigilaría a las dos recién nacidas durante los próximos 18 años y si era posible y las niñas accedían, también después. La discriminación que sufren los portadores del virus del sida-estigmatizados en China- y la prevalencia de esta enfermedad en diferentes partes del mundo, fueron las razones que, según explicó, le empujaron a llevar a cabo un experimento que en palabras de Medina no debería haber ocurrido. "Tiene que haber consecuencias ejemplares para que no vuelva a suceder", aseguró la experta.

Pero la caja de Pandora ya está abierta. Según reconoció He, hubo un segundo implante de embriones. "Hay un embarazo... hay un embarazo potencial", señaló, aunque no dejó claro si hay otro bebé en camino o si la gestación se malogró a las pocas semanas. A la espera de conocer cuál será la postura que tome la comunidad científica tras el experimento, He lo tiene claro. "Si mi hijo pudiera tenerlo (el virus del sida), también lo hubiera hecho con él", concluyó antes de marcharse sin dar más explicaciones.

## **Anexo II: Texto II**

# **Científicos chinos aseguran haber creado los primeros bebés modificados genéticamente**

**Las niñas, gemelas nacidas hace "varias semanas", cuentan ahora con una modificación que supuestamente las protege contra el virus del sida, según el genetista He Jiankui**



Un científico chino, He Jiankui, y su equipo, afirman haber creado los primeros bebés modificados genéticamente. Los bebés, Lulu y Nana, dos niñas nacidas hace “varias semanas”, se encuentran en perfecto estado de salud, asegura el genetista, He Jiankui, que utilizó la técnica de edición de genes conocida como CRISPR para mutar un gen y hacer a las pequeñas resistentes contra el virus causante del sida.

La polémica afirmación de He, investigador de la SUSTech (Southern University of Science and Technology of China) en Shenzhen, no ha podido ser contrastada. La investigación no se ha publicado en ninguna revista científica especializada, donde debería haberse sometido al análisis de otros expertos. Y las autoridades científicas de Shenzhen, según el periódico *Beijing News*, afirman que nunca recibieron la solicitud de permiso necesaria para llevar a cabo la prueba, por lo que han abierto una investigación.

La propia SUSTech se ha declarado “profundamente conmovida” por este anuncio y ha precisado que He se encuentra en excedencia desde febrero. Su investigación no se comunicó a la Universidad ni a su Departamento, el de Biología, que “desconocían este proyecto de investigación y su naturaleza”, ha indicado el centro académico en un comunicado. El Comité Académico del departamento “cree que la conducta del doctor He Jiankui al usar CRISPR/Cas9 para editar embriones humanos ha violado gravemente la ética y los códigos de conducta académicos”.

La Universidad establecerá un comité independiente para investigar este incidente y dará a conocer sus resultados al público, señala el comunicado.

En un vídeo colgado en YouTube, un sonriente He explica desde un laboratorio que “dos encantadoras pequeñas gemelas chinas, Lulu y Nana, han nacido en las últimas semanas en excelente estado de salud, para alegría de su madre, Grace, y de su papá, Mark”. El padre, precisa He, es portador del virus de inmunodeficiencia humana (VIH), causante del sida, y nunca pensó que podría procrear.

Según cuenta el experto, que se encuentra esta semana en Hong Kong para participar en unas jornadas sobre la ética de la manipulación genética, las niñas fueron concebidas mediante inseminación artificial. Tras la fecundación, el equipo científico inyectó reactivos CRISPR, una especie de tijeras moleculares de precisión, en el embrión para inactivar el gen CCR5. El fin era modificar el gen que el virus utiliza como puerta para introducirse en el sistema inmunológico humano.

A lo largo del desarrollo de los embriones, primero en laboratorio y después implantados en el útero de su madre, los expertos comprobaron varias veces, secuenciando el código genético de las criaturas, que todo se desarrollaba como debía y las niñas no presentaban más mutaciones que la prevista. “Ningún otro gen presentó cambios”, asegura He. La comprobación volvió a repetirse tras el nacimiento, anunciado originalmente en una entrevista en exclusiva con la agencia AP y en un artículo en la revista MIT Technology Review.

Según declara a AP, los padres de Lulu y Nana no son los únicos que se han sometido a sus pruebas. Otras seis parejas, donde el varón es seropositivo, también han aceptado el programa, lo que abre la posibilidad de que las dos niñas no sean las únicas modificadas genéticamente.

El genetista, formado en Estados Unidos y retornado a China como parte de un programa para atraer a los talentos educados en el exterior, asegura que es consciente de la polémica que su iniciativa va a despertar. Pero, asegura, no le parece que presente problemas éticos. Lo único que ha hecho, dice, es “abrir una igualdad de oportunidades para tener familias sanas”.

Y las críticas ya han empezado a llover. La prueba hubiera sido imposible bajo la legislación estadounidense e ilegal bajo las normas europeas.

Pero en China las regulaciones no son tan estrictas. Este país ya fue el primero en modificar genes de embriones humanos (no viables) y de monos con CRISPR. Una directiva ministerial de 2003 prohíbe la implantación para embarazo de embriones humanos modificados genéticamente, pero es solo una directiva, no una ley.

El profesor Julian Savulescu, director del Centro Uehiro de Ética Práctica de la Universidad de Oxford, asegura a la agencia Science Media Centre que “si es cierto, este experimento es monstruoso”. “Los embriones estaban sanos, sin enfermedades conocidas. La edición genética en sí misma es experimental y todavía está asociada con mutaciones no buscadas, capaces de causar problemas genéticos en etapas tempranas y más tardías de la vida, incluido el desarrollo de cáncer”. El experto también recuerda que ya existen maneras mucho más efectivas de prevenir el sida, incluido el sexo con protección, e incluso si se contrae el síndrome, hoy día existen tratamientos efectivos. “Este experimento expone a niños normales y sanos a riesgos de la edición genética a cambio de ningún beneficio necesario real”.

Según Savulescu, el experimento “contradice décadas de consenso ético y directrices sobre la protección de los participantes humanos en pruebas de investigación”. Los bebés resultantes de las pruebas de He “se están usando como cobayas genéticas. Eso es una ruleta rusa genética”.

He, por su parte, recuerda las críticas que llovieron en torno al nacimiento de Louise Brown, la primera niña concebida mediante fertilización *in vitro* (FIV). Su técnica, sostiene, es “otro avance de la FIV” que solo se aplicará a un reducido número de familias afectadas por una enfermedad.

“No se trata de crear bebés de diseño, solo un niño sano”, asegura. No busca “mejorar la inteligencia, cambiar el color de ojos, la apariencia ni nada similar. No se trata de eso”. Según He, su método “puede ser la única manera de curar alguna enfermedad”.

“Entiendo que mi trabajo será controvertido, pero creo que las familias necesitan esta tecnología, y estoy dispuesto a aceptar las críticas”, señala He, que destaca que él mismo es padre de dos hijas. “No puedo pensar en un regalo más sano ni más bello para la sociedad que dar a una pareja la oportunidad de empezar una familia llena de amor”.

En la página web de su laboratorio, He asegura que su equipo y él han trabajado “durante varios años” editando los genomas de ratones, monos y embriones humanos inviables. En esa página incluye traducciones al inglés de los formularios para pedir el consentimiento de las parejas voluntarias que participan en el experimento, así como el permiso del comité ético del Hospital HarMoniCare de Mujeres y Niños en Shenzhen. “Estamos muy interesados en implicarnos con comunidades de pacientes y reguladores para debatir cómo definir, dirigir y restringir el uso ético de la cirugía genética en etapas tempranas de la vida”.

“No usamos la edición genética para eliminar enfermedades en humanos porque todavía no sabemos hacerlo suficientemente bien”, explicaba recientemente en un artículo en EL PAÍS a la investigadora Susana Balcells. “Para hacer esas modificaciones genéticas, es decir, que las personas puedan ir a su consulta de reproducción asistida y pedir que les hagan una intervención genética para tener hijos sin enfermedades, aún no tenemos los conocimientos que lo hagan de forma suficientemente eficaz y suficientemente segura”, añadía.

En Pekín, el profesor de genética del desarrollo José Pastor, director de laboratorio en la Universidad Tsinghua -una de las más prestigiosas de China-, señalaba que “el primer problema ético es el de editar la línea germinal, los *bebés de diseño*. A los occidentales nos parece como poco socialmente peligroso... Es algo sobre lo que los científicos tienen una moratoria mundial, pero que iba a acabar pasando de todas formas, por lo menos dentro de ciertos parámetros, y para los chinos puede que no suponga un dilema moral tan grande. El segundo problema, sobre el que no hay opiniones o diferencias culturales que valgan, son los enormes riesgos para los recién nacidos, que es algo que escandaliza también a los biólogos chinos”.

Los científicos chinos también han arremetido contra el experimento de He. En un comunicado firmado por 122 expertos, se reclama una investigación sobre el asunto, que tachan de "locura". "Esta tecnología podría haberse probado desde hace mucho tiempo, pero los biólogos no lo hacen ni quieren hacerlo por la incertidumbre de provocar mutaciones no buscadas, otros graves riesgos y problemas éticos", sostienen. La prueba, según estos expertos, "representa un duro golpe a la reputación mundial y el desarrollo de la investigación biomédica en China. También es extremadamente injusta contra la inmensa mayoría de académicos chinos que se esfuerzan en sus investigaciones científicas y en la innovación, y respetan las líneas éticas".

### **Intereses comerciales**

Hay que mantener el escepticismo y asumir que todavía no sabemos si esto que nos cuentan ha ocurrido", opina por su parte Lluís Montoliu, un investigador del Centro Nacional de Biotecnología que utiliza la técnica CRISPR para crear ratones con enfermedades raras similares a las humanas. "Parece más un anuncio de algunas de las empresas de este investigador, que tiene compañías y por lo tanto tiene intereses al respecto, más que una comunicación científica", señala, según informa **Manuel Ansedé**.

"Montoliu recuerda que el experimento con las niñas chinas sería absolutamente ilegal en España y en muchos otros países, incluso en aquellos que abogan por una aplicación terapéutica de la edición genética, como EE UU y Reino Unido. "Es una aplicación de mejora genética. No se trata de curar una enfermedad que tengan subyacente o una enfermedad que puedan desarrollar a lo largo de su vida, sino que se trata de prevenir. Estamos mejorando a esa persona", advierte el experto.

"Estaba claro que tarde o temprano iba a ocurrir, pero no tan temprano. Es demasiado pronto, demasiado arriesgado", sostiene por su parte Francis Mojica, microbiólogo de la Universidad de Alicante y pionero en el estudio del sistema CRISPR en las bacterias. Para Mojica, es una "paradoja" que "Europa esté considerando que es peligroso consumir alimentos modificados con CRISPR y en China estén engendrando niños" con la técnica. "Es impactante y precipitado", resume.

"La edición del genoma es una herramienta muy poderosa con grandes beneficios, y todo el mundo en este campo sabe ya que es posible hacerlo, pero eso no lo convierte en aceptable. En esta era del amanecer de las tecnologías genéticas es absolutamente esencial que la aplicación de estas tecnologías tenga una aprobación mucho más amplia", asegura Paul Freemont, investigador del Imperial College de Londres, a Science Media Centre.

# **Un científico chino afirma ser el primero en modificar bebés genéticamente**

**Se trata de dos gemelas cuyo ADN estaría preparado para resistir una posible infección del VIH.**

**La comunidad científica alerta de los riesgos y denuncian que es experimentación humana.**



Un científico chino afirma que ayudó a crear los primeros bebés genéticamente modificados del mundo: dos gemelas cuyo ADN dijo que modificó para intentar ayudarlas a resistir una posible infección futura con el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH). De ser cierto, sería un salto profundo de la ciencia y la ética.

Un científico de Estados Unidos aseguró que participó en el trabajo en China, no obstante este tipo de edición de genes está prohibida en su país porque los cambios en el ADN pueden pasar a las generaciones futuras y corre el riesgo de dañar otros genes. Muchos científicos convencionales piensan que es demasiado

peligroso intentarlo, por lo que algunos denunciaron que el informe chino es una experimentación humana.

El investigador, He Jiankui, de Shenzhen, dijo que modificó los embriones de siete parejas durante los tratamientos de fertilidad, y hasta el momento se logró un embarazo. Informó que su objetivo no era curar o prevenir una enfermedad hereditaria, sino tratar de otorgar un rasgo que pocas personas tienen naturalmente: la capacidad de resistir una posible infección futura con el VIH, el virus que causa el Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA).

### **El anuncio trae controversia entre la comunidad científica**

Añadió que los padres involucrados se negaron a ser identificados o entrevistados, y no quiso decir dónde viven o dónde se hizo el trabajo. No hay una confirmación independiente de la afirmación de He, y no se ha publicado en una revista, donde otros expertos la podrían examinar. El anuncio lo reveló el lunes en Hong Kong, a uno de los organizadores de una conferencia internacional sobre edición de genes que comenzará el martes, y antes en entrevista exclusiva con The Associated Press.

“Siento una gran responsabilidad de que no se trata solo de hacer una primera, sino también de ser un ejemplo”, dijo a AP. “La sociedad decidirá qué hacer a continuación” en términos de permitir o prohibir tal ciencia. Algunos científicos se sorprendieron al escuchar la reclamación y lo condenaron enérgicamente.

Es “inconcebible ... un experimento con seres humanos que no es moral ni éticamente defendible”, dijo el Dr. Kiran Musunuru, un experto en edición genética de la Universidad de Pennsylvania y editor de una revista de genética.

“Esto es demasiado prematuro”, dijo el Dr. Eric Topol, quien dirige el Instituto de Investigación Traslacional Scripps en California. “Estamos tratando con las instrucciones operativas de un ser humano. Es un gran problema”.

Sin embargo, un genetista famoso, George Church de la Universidad de Harvard, defendió el intento de edición genética para el VIH, que calificó de “una amenaza mayor y creciente para la salud pública”. “Creo que esto es justificable”, dijo Church sobre ese objetivo.

En los últimos años, los científicos han descubierto una forma relativamente fácil de editar los genes, las hebras de ADN que gobiernan el cuerpo. La herramienta, llamada CRISPR-cas9, hace posible operar con ADN para suministrar un gen necesario o deshabilitar uno que esté causando problemas.

### **Los cambios genéticos pueden heredarse**

Solo recientemente se ha probado en adultos para tratar enfermedades mortales, y los cambios se limitan a esa persona. La edición de espermatozoides, óvulos o embriones es diferente, los cambios pueden heredarse. En los EE.UU., no está permitido, excepto para la investigación de laboratorio. China prohíbe la clonación humana pero no específicamente la edición de genes.

He Jiankui estudió en las universidades de Rice y Stanford en los EE.UU. antes de regresar a su país natal para abrir un laboratorio en la Universidad de Ciencia y Tecnología del Sur de China en Shenzhen, donde también tiene dos compañías de genética.

El científico de EE.UU. que trabajó con él en este proyecto después de su regreso a China fue el profesor de física y bioingeniería Michael Deem, quien fue su asesor en Rice en Houston. Deem también tiene lo que él llamó “una pequeña participación” en, y forma parte del consejo científico de dos compañías.

El investigador chino dijo que practicó la edición de ratones, monos y embriones humanos en el laboratorio durante varios años y ha solicitado patentes sobre sus métodos.

Afirmó que optó por probar la edición del gen embrionario para el VIH porque estas infecciones son un gran problema en China. Buscó deshabilitar un gen llamado CCR5 que forma una puerta de proteínas que permite que el VIH, el virus que causa el SIDA, ingrese a una célula.

Todos los hombres en el proyecto tenían VIH y todas las mujeres no, pero la edición del gen no estaba dirigida a prevenir el pequeño riesgo de transmisión, dijo. Los padres tenían sus infecciones profundamente reprimidas por los medicamentos estándar contra el VIH y existen formas sencillas de evitar que infecten a los hijos que no implican la alteración de los genes.

En cambio, el llamamiento fue ofrecer a las parejas afectadas por el VIH la oportunidad de tener un hijo que podría estar protegido de un destino similar.

Reclutó parejas a través de un grupo de defensa del SIDA con sede en Beijing llamado Baihualin. Su líder, conocido por el seudónimo “Bai Hua”, dijo a la AP que no es raro que las personas con VIH pierdan sus empleos o tengan problemas para obtener atención médica si se revelan sus infecciones.

### **Así es cómo se logró el trabajo**

La edición del gen ocurrió durante la FIV, o la fertilización de la placa de laboratorio. Primero, el espermatozoide fue “lavado” para separarlo del semen, el líquido donde el VIH puede estar al acecho. Se colocó un solo espermatozoide en un solo óvulo para crear un embrión. Luego se agregó la herramienta de edición de genes.

Cuando los embriones tenían de 3 a 5 días de edad, se eliminaron algunas células y se verificó su edición. Las parejas pueden elegir si usar o no embriones editados para los intentos de embarazo. En total, se editaron 16 de los 22 embriones, y se utilizaron 11 embriones en seis intentos de implantes antes de que se lograra el embarazo de gemelos, dijo He.

Las pruebas sugieren que un gemelo tuvo ambas copias del gen deseado alterado y el otro gemelo solo uno alterado, sin evidencia de daño a otros genes, aseguró. Las personas con una copia del gen todavía pueden contraer el VIH, aunque algunas investigaciones muy limitadas sugieren que su salud podría disminuir más lentamente una vez que lo hagan.



He Jiankui observa por un microscopio sus avances (Mark Schiefelbein / AP)

Varios científicos revisaron los materiales que proporcionó a la AP y dijeron que las pruebas hasta ahora no son suficientes para decir que la edición funcionó o para descartar daños. También observaron evidencia de que la edición estaba incompleta y que al menos un gemelo parece ser un mosaico de células con varios cambios. “Es casi como no editar nada” si solo algunas de ciertas células fueron alteradas, porque la infección por el VIH todavía puede ocurrir, dijo Church.

Church y Musunuru cuestionaron la decisión de permitir que se usara uno de los embriones en un intento de embarazo, porque los investigadores chinos dijeron que sabían de antemano que ambas copias del gen deseado no habían sido alteradas. “En ese niño, realmente no había nada que ganar en términos de protección contra el VIH y, sin embargo, está exponiendo a ese niño a todos los riesgos de seguridad desconocidos”, dijo Musunuru.

El uso de ese embrión sugiere que el énfasis principal de los investigadores fue “probar la edición en lugar de evitar esta enfermedad”, dijo Church. Incluso si la edición funcionó a la perfección, las personas sin los genes CCR5 normales enfrentan mayores riesgos de contraer otros virus, como el Nilo Occidental, y de morir a causa de la gripe. Según Musunuru, hay muchas formas de prevenir la infección por el VIH y es muy tratable si ocurre, esos otros riesgos médicos son una preocupación.

### **Demasiados interrogantes sin resolver**

También hay preguntas sobre la forma en que dijo que procedió. Dio aviso oficial de su trabajo mucho después de que dijo que lo comenzó, el 8 de noviembre, en un registro chino de ensayos clínicos.

No está claro si los participantes entendieron completamente el propósito y los posibles riesgos y beneficios. Por ejemplo, los formularios de consentimiento denominaron al proyecto un programa de “desarrollo de vacunas contra el SIDA”.

El científico de Rice, Deem, dijo que estaba presente en China cuando los posibles participantes dieron su consentimiento y que “absolutamente” cree que pudieron entender los riesgos.

Deem dijo que trabajó con He en la investigación de vacunas en Rice y considera que la edición del gen es similar a una vacuna. “Esa podría ser la forma en que un laico la describe”, dijo. Ambos hombres son expertos en física sin experiencia en ensayos clínicos en humanos.

El científico chino, He, dijo que personalmente dejó claros los objetivos y comunicó a los participantes que nunca antes se había intentado editar el gen del embrión y conlleva riesgos. Añadió que también proporcionaría cobertura de seguro para cualquier niño concebido a través del proyecto y planea un seguimiento médico hasta que los niños tengan 18 años o más si están de acuerdo una vez que sean adultos.

Otros intentos de embarazo están en espera hasta que se analice la seguridad de este y los expertos en el campo lo hagan, pero a los participantes no se les dijo con anticipación que podrían no tener la oportunidad de probar lo que se inscribieron una vez que se logró el “primer” embarazo, reconoció. El tratamiento de fertilidad gratuito fue parte del trato que se les ofreció.

Solicitó y recibió la aprobación de su proyecto en el Hospital de Mujeres y Niños de Shenzhen Harmonicare, que no es uno de los cuatro hospitales que, según dijo, proporcionó embriones para su investigación o los intentos de embarazo.



He Jiankui y Zhou Xiaojin observan los progresos de su tratamiento experimental (Mark Schiefelbein / AP)

Algunos miembros del personal de algunos de los otros hospitales se mantuvieron en la oscuridad acerca de la naturaleza de la investigación, lo que, según él y Deem, se hizo para evitar que la infección por VIH de algunos participantes fuera revelada.

“Creemos que esto es ético”, dijo Lin Zhitong, un administrador de Harmonicare que encabeza el panel de ética. Cualquier miembro del personal médico que manejó muestras que pudieran contener VIH estaba al tanto, dijo. Un embriólogo en el laboratorio de He, Qin Jinzhou, confirmó a AP que hizo el lavado de esperma e inyectó la herramienta de edición de genes en algunos de los intentos de embarazo.

Los participantes en el estudio no son especialistas en ética, dijo, pero “son tantas autoridades sobre lo que es correcto como lo que está mal porque es su vida en la línea”. “Creo que esto va a ayudar a las familias y sus hijos”, dijo. Si causa efectos secundarios o daños no deseados, “sentiría el mismo dolor que ellos y será mi responsabilidad”.

## EL RIESGO DE TUMORES

**DANIEL MEDIAVILLA**

En junio de este año, la revista *Nature Medicine* publicó dos artículos en los que se señalaban los riesgos asociados a CRISPR, uno liderado por un equipo de la farmacéutica Novartis en Boston (EE UU) y otro por investigadores del Instituto Karolinska sueco. En ambos se señala que la aplicación de CRISPR-Cas9 en células humanas puede facilitar la aparición de tumores. La explicación estaría en la función de una proteína clave en el buen funcionamiento de nuestro organismo.

P53 actúa como un guardián que vigila las roturas que se producen continuamente en el ADN para que las células no crezcan sin control y provoquen tumores. Lo que se hace con CRISPR-Cas9 es, desde el punto de vista de este guardián, una agresión que pone en peligro la estabilidad del genoma, y por eso la proteína dificulta los cambios que se quieren introducir con esta técnica en las células, deshaciendo el cambio o destruyendo la célula. Lo que observaron los investigadores es que si se aplica la edición genética a un grupo de células, las que por algún motivo tienen desactivado el P53 se modifican con más facilidad. Por eso, entre las células reparadas por CRISPR habría muchas con el p53 estropeado y si se trasplantasen a un paciente, como se hace en las terapias génicas para enfermedades hereditarias, esas células podrían provocar cáncer.

Los estudios no decían que sea imposible modificar una célula con P53 funcional pero sí indican que el proceso es menos eficiente de lo esperado y que una vez corregido el defecto genético habría que aplicar nuevas pruebas para comprobar que el guardián del genoma sigue activo

## Anexo V: Ficha Texto-TestWG

**Texto y alumno**

.....

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ideas</b>                                                                  | <p><b>Que defiende el texto?</b> A que conclusiones o propuestas llega? Con que argumentos se descartan las ideas contrarias??</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Rol</b>                                                                    | <p><b>Quien habla explica o transmite la información u opinión?</b> Que interés tiene en el tema o en comunicarlos, se trata de un experto? En que medio esta publicado? Que fiabilidad crees que presenta el experto, y el medio?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>                                                                                                                |
| <b>Datos</b>                                                                  | <p><b>Como defiende su opinión ?</b> Hay información o datos apoyando lo que dice? Se pueden evaluar y saber fácilmente el origen de estos datos? Existen números o graficas que permitan corroborar lo que defiende? Si existen, donde salen? Es posible realizar un experimento para determinar si lo que dice es cierto?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>          |
| <b>Modelos</b>                                                                | <p><b>Porque dice el texto que defiende, el que defiende?</b> Lo que se dice en el texto se adecúa o está en contradicción con los modelos científicos? Entra en conflicto de alguna manera? Se intenta resolver el conflicto? Se basa en el análisis científico o en opiniones y sentimientos (miedo, entusiasmo,...)?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> |
| <b>Léxico clave</b><br><br>(6-8 términos fundamentales per entender el texto) | <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |

|                                                                       |                                  |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| <b>Título propio</b><br>(un título que tu<br>le pondrías al<br>texto) | .....<br>.....<br>.....<br>..... |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------|

### Anexo VI: Seguimiento del Debate

Nombre y Apellido .....

ANTES DEL DEBATE: Da tu opinión : Mi posición sobre el dilema es que... Pienso que lo que habría que hacer es....

-----

-----

-----

-----

DURANTE EL DEBATE (ANOTA LOS ARGUMENTOS QUE DESEES)

| Argumentos a favor de mi opinión | Argumentos en contra |
|----------------------------------|----------------------|
|                                  |                      |

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

DESPUES DEL DEBATE : Mi posición sobre el dilema es que... Pienso que lo que habría que hacer es....

-----

-----

-----

-----

## Anexo VII: Plantilla de orientación del ensayo.

### Estructura del ensayo para controversia socio-científica (Plantilla)

**Título:** el título debe de suscitar interés y ayudar al lector a conectar emotivamente con el tema. Puede ser una pregunta o una exclamación. Una buena idea es tomar la conclusión del ensayo y reformularla como una pregunta, una contradicción o un juego de palabras que llame la atención. También puede ser una buena opción plantear un título enigmático haciendo referencia a alguna de las ideas presentes en el ensayo, como en estos ejemplos: “*El problema de Karl*” “*Una decisión no tan fácil*” “*Lo que pasa cuando todo se complica*”.

**Subtítulo:**

Debe ayudar a hacer comprensible el título, y clarificar la relación del título con el tema que trataremos "Pros y contras sobre los peligros del uso de los móviles"

**Datos**

Se trata de hacer una descripción sobre la situación ante la que se quiere tomar posición. En este apartado no debería haber opiniones personales, sólo datos . Explicar cuál es el conflicto. Se realizará en presente de indicativo o en pretérito perfecto o imperfecto “ entonces cogió” “se ha producido una situación en que “el problema es que”, dependiendo si queremos expresar si somos cercanos o distantes a los datos. Hay que hacer mención breve expresa a los modelos o esquemas científicos que usaremos después en la justificación de nuestra opinión : El cambio climático, el ciclo del agua, la circulación de la sangre..

Se pueden exponer ejemplos e incluir datos no científicos, pero siempre expresados en formato científico:

"... más del 50% de la población piensa que ..." "... ha disminuido dos grados la temperatura ..."

### **Opiniones**

Expresar la opinión que nos formamos y desde qué punto de vista la formamos. "Considero que lo que hay que priorizar es ... y por eso pienso que ...". "Lo que valoro de todo esto es que .... y por eso considero que ..."

### **Justificación de las opiniones**

Justificar la opinión que tenemos, como si intentáramos convencer a alguien. Como apoyo a nuestras opiniones podríamos retomar alguno de los ejemplos expuestos anteriormente y aplicarlos en otras situaciones, llevar los ejemplos al extremo, o imaginar qué pasaría si el sistema actuara de otra manera. "Sólo hay que imaginar qué pasaría si ..." "Por ejemplo si, esto se hiciera siempre así ..." "Si en vez de hacerlo así, se hiciera ...". Usa conectores gramaticales adecuados: ya que, así pues, por tanto, en consecuencia, sin embargo, ..

### **Posibles argumentos en contra y respuesta**

Enunciar posibles argumentos en contra nuestra opinión y hacer una breve réplica. "A pesar de que se podría considerar que..en realidad esto no tiene ningún efecto, porque ...." "Aunque alguien podría decir que ... no tiene relación con el tema que tratamos, porque ...".

**Atención:** Muchas veces esta sección suele ocupar demasiado. Si dedicamos más tiempo y atención a los argumentos que van contra nuestra opinión, la imagen que damos es que los argumentos a favor no son suficientes o no son suficientemente interesantes. Evitar extenderse demasiado, pero al mismo tiempo, evitar dejar "huecos vacíos", es decir, contra-argumentos que pudieran anular nuestros argumentos. Usa conectores gramaticales adecuados: "ya que, así pues, por tanto, en consecuencia, sin embargo", ..

### **Conclusión**

Expresar de manera sintética y concreta qué crees que habría que decidir en relación a la controversia sociocientífica, y si es conveniente, hacer una propuesta de actuación (calendario, quien lo debería aplicar, ...). Es importante que esta parte transmitas alusión y compromiso, e invite potenciales detractores a unirse a ella.

## **Proceso para escribir el ensayo** (Base de orientación)

- 1) Define para ti mismo que opinión vas a defender en el ensayo.

- 2) Selecciona que datos vas a usar para fundamentar tu opinión o en que ejemplos concretos puedes hacer referencia. Ten en cuenta también posibles argumentos contrarios.
- 3) Distribuye en cada uno de los apartados del ensayo las ideas o frases que puedan ser útiles.
- 4) Escribe el texto procurando que tenga coherencia. Elimina los títulos de cada apartado (Opiniones, justificación, etc) y revisa que el texto tenga continuidad. Procura que tenga ritmo y mantenga el interés del lector mediante preguntas retóricas o metáforas.
- 5) Tómate un descanso y haz descansar tu mente de ideas antes de volver a releer el trabajo terminado y corregirlo. Revisa la ortografía.
- 6) Escribe el título y el subtítulo del ensayo
- 7) Ofrece tu ensayo para que lo lea alguien que no sepa del tema (Por ejemplo, algún familiar). Pídele que te cuente el texto: Que ha entendido y qué no, con lo que está de acuerdo y con los qué no.. usa sus observaciones para mejorar el ensayo.

### **Anexo VIII: Ejemplos de ensayo.**

**Controversia sociocientífica:** *Hay que obligar a las compañías de automóviles mediante sanciones económicas a priorizar los coches eléctricos.*

### **Un ambiente que se calienta.**

#### **La urgente necesidad de una acción contra el calentamiento global.**

El fenómeno del calentamiento global es una evidencia cada vez más contrastada. Los datos del panel internacional del cambio climático (IPCC) muestran que el incremento de la temperatura media de la superficie de nuestro planeta no tiene precedentes. Se ha demostrado que este incremento global de la temperatura está asociado a un incremento de la concentración de dióxido de carbono a la atmósfera, causado por el uso de combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo. Se calcula que antes de 100 años la temperatura global del planeta habrá aumentado en 2 grados centígrados, provocando graves consecuencias ecológicas y económicas, seguramente irreversibles.

Desde mi punto de vista, es urgente que reduzcamos las emisiones de dióxido de carbono, y por eso considero que hay que obligar a las compañías de automóviles a dejar de fabricar coches que funcionen con combustibles fósiles. Por un lado, esto facilitaría la reducción inmediata de las emisiones de dióxido de carbono, y por otro, permitiría cambiar a un nuevo modelo de

movilidad más sostenible, ya que el actual está condenado a desaparecer debido a las menguantes reservas de combustibles fósiles. Lo más importante es garantizar la estabilidad de los ecosistemas para las próximas generaciones, mucho más que los beneficios económicos que obtienen unos pocos gracias a los combustibles fósiles.

Aunque varios agentes económicos protestan contra la medida diciendo que la causa del calentamiento global no es el uso de combustibles fósiles, los datos lo desmienten. ¿Qué intereses los mueven? La respuesta es clara: Continuar acumulando beneficios y más beneficios a costa de la salud del planeta. Asimismo, no es cierto que la propuesta elimine puestos de trabajo en la industria automovilística, ya que continuarían haciendo falta coches, sólo que deberían ser eléctricos. El mercado no hará este cambio por sí mismo a tiempo, ya que la reducción de dióxido de carbono es urgente, y por ello hay que incidir en ella mediante leyes específicas.

En conclusión, la aplicación de una ley que obligue a priorizar los coches eléctricos es indispensable y debería aprobarse en un tiempo máximo de 5 años, permitiendo a las compañías ajustarse a los nuevos modelos de fabricación durante un plazo no más largo de 10 años. Esta medida debería ir acompañada de un control de las fuentes de la energía eléctrica con que funcionarían estos coches. De cara al 2040, se podría haber renovado el plantel automovilístico mundial y parado una de las más graves amenazas para la vida en la Tierra.

## **Un peligro para las generaciones futuras**

### **La legalización del cannabis dejaría sin protección a niños y adolescentes.**

El cannabis es una droga obtenida de la planta *Cannabis sativa*, esta se suele administrar por inhalación en combustión. Su venta y distribución es ilegal en la mayoría de países, aunque estos permiten su uso farmacológico para atenuar dolor y malestar, principalmente en pacientes en tratamiento con terapias agresivas, como la quimioterapia. Varios estudios demuestran que, a pesar de su prohibición, se ha incrementado el consumo lúdico de esta droga entre adolescentes y jóvenes. Aunque esta droga es percibida como una "droga blanda", lo cierto es que varios estudios muestran una correlación fuerte entre el uso habitual de cannabis en la adolescencia, y la disminución de la capacidad de concentración y las habilidades de razonamiento .

Mi opinión es que no debería legalizarse el cannabis para su uso lúdico, porque esto aumentaría el consumo y haría que muchos más jóvenes sufrieran los efectos negativos de su consumo habitual en una etapa muy importante de su desarrollo. Si se legalizara, lo que estaríamos haciendo es entregar las mentes de nuestros jóvenes a comerciantes sin escrúpulos, convirtiendo nuestras capas más revolucionarias de la sociedad en una masa dormida y con los sentidos y el espíritu dormidos por la droga.

Aunque en otros países el cannabis sí es legal, se limita el consumo por edad, esta limitación no sería suficiente en nuestro país, ya que actualmente limitaciones similares no detienen en nuestro país a los adolescentes en el consumo de tabaco o alcohol de alta graduación. Si bien es cierto que mantenerlo ilegal alimenta el negocio de traficantes, y no impide la distribución y ilegal, mantener la prohibición evita normalización de la droga como si fuera un elemento inocuo, y consiste en una advertencia de la su peligrosidad.

Por esta razón, considero que hay que mantener la prohibición de comercio y distribución de cannabis, y que conviene promover en el plazo breve de 5 años programas educativos que informen a los adolescentes de las consecuencias de su consumo, para que, en caso de que tengan acceso, puedan tomar sus propias decisiones, pero con conocimiento de causa.