



Universidad de Jaén
Centro de Estudios de Postgrado

Trabajo Fin de Máster

UNIDAD DIDÁCTICA
“HERENCIA MENDELIANA”
**PROCESO DE ENSEÑANZA-
APRENDIZAJE EN EDUCACIÓN
SECUNDARIA**

Alumno/a: Medina Rayo, Isabel

Tutor/a: Romero Ariza, Marta

Dpto: Didáctica de las Ciencias Experimentales

Junio, 2021

ÍNDICE

RESUMEN	4
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
1.2 Objetivos	6
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
2.1 Fundamentación epistemológica	7
2.1.1 Historia de la ciencia sobre la herencia genética	7
2.1.2 Desarrollo de los contenidos	18
2.1.3 Ideas previas del alumnado con respecto a este tema	33
2.2 Fundamentación didáctica.....	34
2.2.1 Aprendizaje basado en proyectos	34
2.2.2 Controversias socio-científicas	36
2.2.3 Trabajos sobre aprendizaje basado en proyectos.....	36
3. PROYECCIÓN DIDÁCTICA.....	38
3.1 Introducción	38
3.2 Legislación.....	39
3.2.1 Legislación nacional	39
3.2.2 Legislación autonómica	39
3.3 Contextualización del centro y el aula. Características del alumnado	40
3.3.1 Contextualización del centro.....	40
3. 3. 2 Contextualización del aula.....	41
3.3.3 Características del alumnado	41
3.4 Contextualización de la Unidad Didáctica en el temario del curso	42
3.5 Objetivos	44
3.5.1 Objetivos de etapa.....	44
3.5.2 Objetivos de área.....	46
3.5.3 Objetivos didácticos	47
3.6 Contenidos	47
3.7 Competencias clave	48
3.8 Metodología y actividades.....	50
3.8.1 Sesiones	51
3.8.2 Situación y medidas COVID-19	58
3.9 Evaluación	59

3.9.1 Criterios de evaluación y estándares de aprendizaje.....	59
3.9.2 Criterios de calificación e instrumentos de evaluación.....	60
3.9.3 Alumnado con la unidad didáctica pendiente:.....	62
3.10 Elementos curriculares complementarios.....	62
3.10.1 Medidas para el alumnado con necesidades	62
3.10.2 Transversalidad.....	63
3.11 Innovación.....	64
4. CONCLUSIONES	65
BIBLIOGRAFIA	66
WEBGRAFIA.....	75
ANEXOS	76

RESUMEN

La genética es una rama de la Biología, que en las últimas décadas ha experimentado un gran crecimiento gracias a las nuevas técnicas y tecnologías que han surgido. Esto ha provocado que aumente la investigación y como consecuencia se hayan producido nuevos descubrimientos, los cuales provocan que surjan nuevas cuestiones sociales que giran en torno a temas bioéticos. Por esto es importante que las nuevas generaciones tengan una serie de conocimientos sobre la genética para entender las nuevas técnicas y descubrimientos que se van desarrollando y dar su opinión crítica sobre estas novedades.

Por tanto, es importante que el alumnado adquiriera una serie de conocimientos básicos sobre genética, pero diversos estudios demuestran que el alumnado presenta una gran dificultad para comprender e interiorizar este temario. Debido a esto se ha realizado una unidad didáctica en la que el alumnado trabajará el temario de genética mediante varias sesiones en las cuales deberá realizar un trabajo autónomo y en grupos cooperativos. Esto ayudara al alumnado a asimilar mejor los contenidos, que entre compañeros se los expliquen y de esta forma los interioricen mejor. Esta metodología además hará que reconozcan la importancia que presenta la ciencia en la vida diaria.

Palabras claves: Herencia genética, Leyes de Mendel, Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), unidad didáctica, 4º ESO.

ABSTRACT

Genetics is a field of Biology, which, in last decades, has experienced great growth thanks to the new techniques and technologies that have emerged. This has caused an increase in research and, as a consequence, new discoveries have been generated, causing new social questions which concentrate on bioethical issues arise. For this reason, it is important that new generations own some knowledge about genetics in order to understand the new techniques and discoveries that are being developed and provide them with a critical opinion of these developments.

Therefore, it is important that students acquire a series of basic knowledge about genetics, but various studies show that students have great difficulty in understanding and internalizing this content. Due to this, a didactic unit in which students will work on genetics through several sessions has been carried out. During the sessions, they must work autonomously and in cooperative groups. This will help students better acquire the contents, explain them to each other and, in this way, internalize them. This methodology will also increase our students' curiosity about actual science and how can use it in our daily life.

Keywords: Genetic inheritance, Mendel's laws, Project Based Learning (PBL), didactic unit, 4th Year of CSE.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción

En el presente Trabajo Fin de Máster (TFM) se ha realizado una unidad didáctica sobre la herencia mendeliana y transmisión de caracteres. Para impartir estos contenidos será necesario reiterar y recordar otros contenidos previamente explicados. Esos contenidos son “Los ácidos nucleicos”, “ADN y genética molecular”, “Concepto de gen”, “Expresión de la información genética. Código genético” y “Mutaciones. Relaciones con la evolución”.

En las siguientes páginas de las que consta este trabajo se hablara sobre los hitos más importantes de la historia de la genética y de la metodología que se va a seguir para explicar los contenidos que se van a impartir en esta unidad didáctica. Esto aparecerá en el epígrafe “Fundamentación teórica” juntos con las distintas ideas previas con las que parte el alumnado al comenzar los contenidos. En el apartado “Proyección didáctica” se hablará sobre la legislación que hay vigente en este año 2021, los objetivos y contenidos que en esta se incluyen, las competencias clave que trabajaran en estas sesiones y las distintas actividades que se realizaran para que el alumnado adquiriera los conocimientos genéticos de esta unidad didáctica. Debido a la situación que se vivió en las aulas el pasado año 2020 y la situación que en este año 2021 acontece, en este epígrafe “Proyección didáctica”, se ha incorporado un apartado sobre el COVID-19.

La genética, y concretamente, la herencia genética, se lleva estudiando desde aproximadamente el siglo XIX, pero en las últimas décadas gracias al desarrollo de nuevas técnicas se está avanzando en conceptos relacionados con este contenido. Gracias a investigaciones previas de investigadores sobre la herencia genética se ha obtenido información de cómo se transfieren los diferentes caracteres de una generación a otra. Estas características que heredan los descendientes ocurren gracias a la transferencia de material genético por parte de sus progenitores. Esta transferencia provoca que los seres vivos sean distintos entre sí debido a que cada uno porta distinto material genético y, por tanto, presentan diferentes características entre ellos. La genética proporciona mucha información y mucha de ella de utilidad, como, por ejemplo, la detección de personas que presente predisposición a una enfermedad y actuar sobre esta antes de que esta comience a desarrollarse, conocer nuestras raíces y de donde provenimos o realizar un seguimiento de enfermedades hereditarias y ver que probabilidad de que un individuo de la siguiente generación presente o no dicha enfermedad. Debido a toda la información que proporciona y a todas las utilidades que presenta es fundamental que, al igual que los progenitores transfieren información genética a sus descendientes, los profesores y profesoras transmitan los conocimientos sobre la herencia genética al alumnado.

Estos contenidos sobre la herencia y la transmisión de caracteres que se impartirán durante la unidad didáctica les pueden resultar interesantes a los alumnos y alumnas debido a que pueden observar casos reales de herencia genética y comprender, mediante distintos métodos que ellos mismos pueden realizar en clase, como se transmiten los caracteres de los progenitores a los descendientes. Es fundamental que el alumnado tenga una base de conocimiento sobre la genética debido a que les permite conocer porque entre ellos son diferentes, pero tienen rasgos de similitud con su familia. Gracias a estos conocimientos también pueden conocer su origen, los distintos grupos sanguíneos a los que pueden dar lugar dos progenitores, las enfermedades hereditarias y otros aspectos que les pueden resultar útiles, interesantes y aplicables a lo largo de su vida. Por ello, no solo adquirieran conocimientos sobre las ciencias experimentales y las ciencias de la salud, sino que además obtendrán conocimientos que pueden relacionarlos claramente con ejemplos del día a día, provocando que los conocimientos sean más duraderos y más comprensibles.

El objetivo que se intenta alcanzar a través de esta unidad didáctica y los contenidos que en ella se impartirán el estudiantado adquiera conocimientos sobre la herencia genética, como se transmiten los caracteres y el vocabulario científico básico que se usa para hablar sobre los conceptos tratados en el campo de la genética, además de afianzar otros contenidos previamente impartidos en este “Bloque 1: La evolución y la vida”.

1.2 Objetivos

A continuación, se muestran los objetivos que se quieren conseguir con el desarrollo de esta unidad didáctica “Herencia mendeliana”:

- Elaborar una fundamentación epistemológica adecuada que incluya los aspectos relevantes sobre la herencia genética.
- Desarrollar una proyección didáctica coherente con el currículo educativo y consecuente con la fundamentación epistemológica.
- Confeccionar una metodología adecuada para el alumnado de 4º de ESO la cual permita la adquisición de conocimientos y avive el interés de este alumnado por la ciencia.
- Fomentar el trabajo en equipo organizando grupos cooperativos para enseñar al alumnado a colaborar entre ellos y ayudarse en las necesidades que surjan.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Fundamentación epistemológica

2.1.1 Historia de la ciencia sobre la herencia genética

En el siguiente epígrafe se expondrán los distintos hechos históricos que fueron importantes para el incremento de los conocimientos sobre la genética, desde el siglo XIX hasta la actualidad (Figura 1). Se hablará sobre las leyes de Mendel y de cómo estas provocaron que se comenzara a usar el término genética, además de otros acontecimientos relacionados con este tema que han sido importantes para llegar hasta los conocimientos que en la actualidad poseemos sobre la genética y sobre la herencia genética.

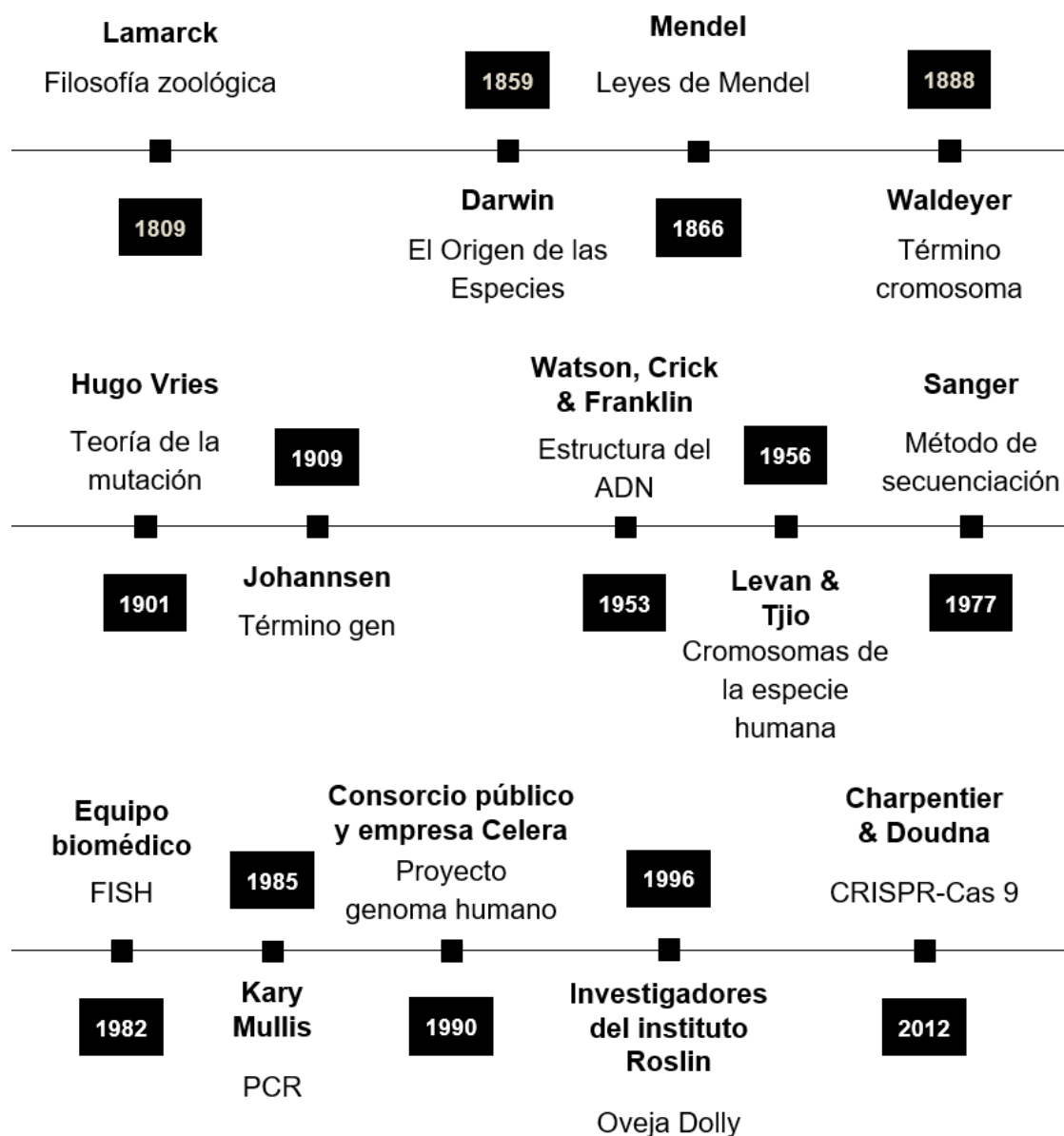


Figura 1: Cronología con los hitos más importantes de la genética.

Fuente: Realización propia.

Lamarck y su libro *Filosofía zoológica*

En 1809 se presentó la primera teoría de la evolución, la cual fue redactada por Jean Baptiste Lamarck en su libro *Filosofía zoológica*. La teoría de Lamarck defendía que los caracteres que los individuos adquieren durante su vida se transmiten a su descendencia. Esta idea se ilustra normalmente con imágenes de jirafas. Lamarck defendía en su teoría que estas jirafas estiraban su cuello para obtener más fácilmente el alimento lo que provocaba que ganasen unos centímetros, este incremento de la longitud del cuello era el que se transmitían a sus descendientes (Kováč, 2019). Esta teoría tras unos años fue remplazada, debido a que, si algún organismo durante su vida pierde, por ejemplo, un miembro, está perdida no se transmite a su descendencia, por tanto, la teoría que Lamarck planteó no era idónea para explicar la evolución.

Charles Darwin y Alfred Russel Wallace unos años después desarrollarían una nueva idea de evolución basada en la selección natural, es decir, aquellos organismos que estaban mejor adaptados eran los que transmitían sus caracteres a las nuevas generaciones (Kováč, 2019). En el caso de las jirafas, aquellos individuos con mayor longitud en sus cuellos eran los que podían tomar el alimento más fácilmente y, por consiguiente, eran los que se encontraban más preparados y podían transmitir sus caracteres a la siguiente generación.

Darwin y su libro *El Origen de las Especies*

Charles Darwin nació en 1809 en Inglaterra y fue un naturalista conocido por sus trabajos científicos sobre la evolución biológica gracias a la selección natural (van Wyhe, 2009). Estaba interesado en la evolución desde 1836 y había estado acumulando pruebas de la evolución desde entonces, pero no fue hasta 1859 cuando publicó su libro sobre *El origen de las especies* (Bonsall & Charlesworth, 2010). Darwin, además, realizó de manera cuidadosa experimentos sobre la polinización cruzada y la autopolinización ofreciendo conocimientos sobre hibridación y haciendo mención sobre la prepotencia, término que en la actualidad conocemos como dominancia o herencia mendeliana (Yongsheng Liu, 2018). Distintos estudios muestran que Johann Gregor Mendel pudo haber leído *El origen de las especies* de Darwin y que este libro pudo haber influido en Mendel y en las interpretaciones que realizó en su artículo publicado en 1866 donde se recogen las leyes de la herencia o leyes de Mendel (Fairbanks, 2020).

Las Leyes de Mendel

Johann Mendel nació en 1822 en Heizendorf (actualmente conocido como Republica Checa) y fue admitido en la Orden Agustina donde tomo el nombre de Gregor Mendel. Era un fraile que desempeñaba distintos labores, interaccionaba con la gente mediante la participación en sociedades académicas, servía en roles cívicos, realizaba investigaciones y escribía sobre sus especialidades, llegando incluso a ser asignado para

que enseñara ciencias naturales, lo que provocó que se dedicara casi completamente a la ciencia y dejara a un lado sus labores parroquiales. Mendel en 1851 ingresó en la universidad de Viena para conseguir la certificación como profesor de ciencias, pero a pesar de sus ambiciones y de intentar obtener el título en dos ocasiones no lo logró (Fairbanks, 2020).

Los experimentos de hibridación que realizó Mendel comenzaron en 1856. Para llevar a cabo su investigación usaba guisantes (*Pisum sativum*) del jardín del monasterio, pero los dos años previos a su investigación, fue seleccionando aquellas plantas de guisantes puras para poder comenzar su estudio sobre hibridación de forma adecuada (Fairbanks, 2020). Los experimentos de hibridación en guisantes se prolongaron durante 8 años. Gregor Mendel tras estos años, en 1856, realizó dos conferencias, pero no fue hasta 1866 cuando Mendel publicó su artículo sobre la investigación llevada a cabo (Zhang et al., 2017).

Mendel tras la finalización de su investigación propuso en su artículo las leyes que explican la herencia y cómo se transmiten los rasgos característicos de generación a generación. Las leyes de Mendel fueron tres, la primera “la Ley de Dominio y Uniformidad”, la segunda ley fue “la Ley de Segregación” y por último “la Ley de la transmisión independiente” (Lewis & Simpson, 2020).

El campo de la genética nació gracias a los estudios realizados por Gregor Mendel sobre la hibridación de las plantas *Pisum sativum*, pero no fue hasta 1906 cuando William Bateson usó el término “genética” para hacer referencia a la ciencia de la herencia (Gayon, 2016). Bateson fue una figura importante en la historia temprana de la genética. Esto es debido a que, en la universidad de Cambridge entre 1900 y 1910, realizó junto con su grupo de investigación (constituido principalmente por mujeres) experimentos de reproducción en plantas y animales. Los resultados obtenidos no solo respaldaron las leyes de la herencia de Mendel, sino que también las ampliaron (Richmond, 2001).

Gracias a estas investigaciones se conocía que los caracteres de los progenitores eran capaces de transmitirse a los descendientes, pero aún no se sabía que elemento o sustancia era el que causaba dicha transmisión.

Cromosomas

Wilhelm von Waldeyer-Hartz nació en 1836 en Alemania y tras su educación católica en el ámbito rural comenzó sus estudios universitarios en matemáticas y en ciencias naturales. Waldeyer realizó numerosos descubrimientos y aportaciones a la ciencia, pero en el ámbito de la genética es conocido por la creación del neologismo “cromosoma” en el año 1888. Empleó este nuevo término para designar a los elementos nucleares que se dividían durante la mitosis (Winkelmann, 2007). En las últimas décadas

del siglo XIX los procesos de mitosis y meiosis comenzaron a ser más conocidos. En estas décadas también se empezó a conocer mejor la morfología de los cromosomas (Gayon, 2016).

August Weismann, fue un biólogo que trabajo para comprender como las especies pueden ser relativamente estables a lo largo de las generaciones, pero, a su vez, mostrar suficientes variaciones a lo largo del tiempo evolutivo para que ocurra un cambio sustancial de acuerdo con la selección natural de Charles Darwin. Weismann intento solucionar este problema en 1893 en su libro *El germoplasma: una teoría de la herencia*. En el propuso que la sustancia nuclear, llamada “germosplama” era la unidad encargada de la herencia, aunque esta teoría no fue ampliamente aceptada por el resto de investigadores de la época (Bline et al., 2020).

Otros investigadores, siguiendo los pasos de Weismann, buscaban los posibles elementos responsables de la variación y de la herencia. Walter Sutton y Theodor Boveri consideraron en 1902 que los cromosomas podrían ser los que actuaran como factores mendelianos, es decir, los cromosomas eran los posibles encargados de transmitir la herencia de una generación a la siguiente (Gayon, 2016). No fue hasta unos años posteriores cuando se supo que los cromosomas eran los portadores de esos factores mendelianos, los genes.

Mutaciones

En 1900, se llevaron a cabo una serie de investigaciones que hicieron que se ampliaran y mejoraran las leyes de Mendel. Este “redescubrimiento” de las leyes de Mendel provoco un cambio en el rumbo de la investigación moderna de la herencia y de la genética. En este punto de inflexión participaron distintas teorías, una de estas teorías fue la teoría de la mutación desarrollada por el botánico Hugo Vries en 1901 (Hoßfeld et al., 2019).

A principios del siglo XX muchos darwinistas y biólogos estaban perdiendo la confianza en la teoría de la evolución de Darwin. En la teoría de la evolución, Darwin había argumentado que las pequeñas variaciones cotidianas determinaban la selección natural, las variaciones dañinas no prosperaban mientras que las variaciones beneficiosas para los organismos sí. Algunos investigadores se preguntaban cómo esas pequeñas variaciones podían transformar especies sin alas en organismos voladores, es decir, la teoría de Darwin provocaba dudas con respecto a los saltos que ocurren en ocasiones en las especies. Estas dudas se apaciguaron gracias a la teoría de la mutación de Hugo de Vries, debido a que, presento una evidencia experimental de que las especies cambiaban rápidamente y drásticamente. Vries tras años de experimentación con la planta conocida como onagra (*Oenothera lamarckiana*) llego a la conclusión de que era una clara evidencia de que la evolución no ocurrió lentamente, sino que se produjo a través de saltos rápidos. Vries argumento que antes ningún científico se había

percatado de esto debido a que los organismos suelen permanecer estables la mayor parte del tiempo y solo en determinadas ocasiones entran, en lo que el llamo, período de mutación. Las nuevas especies que surgieron debido a las mutaciones son las que se enfrentaban a la selección natural (Endersby, 2013).

La tasa de mutación se define como la probabilidad de que un cambio en la información genética se transmita de una generación a la siguiente (Sanjuán & Domingo-Calap, 2016). Estas mutaciones que pasan a los descendientes se producen en los genes, los cuales se encuentran en los cromosomas.

Gen

La primera vez que se usó la palabra “gen” fue a principios del siglo XX, más concretamente en 1909, por el botánico danés Johanssen. Este botánico no quiso especular sobre las propiedades físicas que presentaban los genes, pero en la segunda década del siglo XX otros investigadores ya habían localizado varios genes en posiciones específicas de los cromosomas (Portin & Wilkins, 2017).

Algunos de los investigadores que trabajaron en estas primeras décadas en el término gen fueron Theodor H. Boveri y Walter S. Sutton. Ambos investigadores formularon la teoría de la herencia cromosómica entre 1902 y 1904. Esta teoría sostiene que los factores encargados de la transmisión de la herencia (genes) se encuentran en los cromosomas del núcleo celular (Portin, 2014).

Tomas Hunt Morgan, fue un genetista que nació en 1866 en Estados Unidos y murió en 1945. Fue otro de los investigadores que trabajo con el término gen y algunos reconocen a Morgan como el “padre de la genética” debido a que hizo de la genética clásica una ciencia experimental y moderna. En 1908 Morgan buscó variedades de *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta) con la esperanza de que en lugar de aparecer moscas con fenotipo salvaje aparecieran moscas con un rasgo mutante. En 1910 y tras dos años de cría de *Drosophila* descubrió una mutante que presentaba los ojos blancos y que se podía cruzar con las poblaciones salvajes, es decir, se podía cruzar con las poblaciones que no presentaba dicha mutación dando lugar a nuevos individuos (Frezza & Capocci, 2018). Tomas Hunt Morgan gracias a la investigación que llevo a cabo en 1910, descubrió posteriormente que los genes se encontraban en los cromosomas y que estos genes eran los responsables de que apareciera un fenotipo específico en un organismo (Durmaz et al., 2015).

Morgan en ese mismo año (1910) publicó su artículo “Cromosomas y herencia” y junto con tres de sus alumnos, Sturtevant, Muller y Bridges, investigaron y probaron la teoría de la herencia cromosómica, formulada unos años atrás por Boveri y Sutton, en *Drosophila melanogaster* (Falk, 2010). En consecuencia, a las investigaciones llevadas a cabo por Morgan y sus tres alumnos en la mosca de la fruta para sentar las bases de la

genética, *Drosophila* se convirtió y sigue siendo en la actualidad un organismo modelo para estudios genéticos (Arias, 2008).

El significado de la palabra gen fue evolucionando desde la primera vez que Johannsen lo definió como la “unidad de herencia” hasta 1960 cuando se define gen como “un segmento continuo de una secuencia de ADN que da lugar a una cadena polipeptídica”. La definición de gen evolucionó debido a los estudios realizados entre ambos años. Las investigaciones realizadas desde entonces llevan a pensar que la definición de 1960 en la actualidad se encuentra desfasada (Portin & Wilkins, 2017). La definición de gen, por lo tanto, va a seguir evolucionando a medida que se vayan realizando nuevos hallazgos y se tengan más conocimientos sobre los genes.

Descubrimiento de la estructura del ADN

La primera vez que se aisló el material hereditario fue gracias a Friedrich Miescher en 1869. Este investigador quería determinar la composición química de las células mediante la utilización de leucocitos de vendajes quirúrgicos frescos. Durante sus ensayos noto que una sustancia de la solución precipitaba cuando se agregaba ácido, y a esta sustancia la denominó “nucleína”. Miescher, tras esta experimentación, atribuyó al núcleo de las células el material obtenido por ello decidió examinar los núcleos de las células de manera más minuciosa (Dahm, 2005).

Richard Altmann, alumno de Miescher, en 1889 aisló una sustancia a la que denominó ácido nucleico debido a que se comportaba como un ácido en las reacciones químicas. Altmann no se percató de que esa sustancia era la misma que, años antes, su mentor Miescher, había precipitado y denominado nucleína (Portin, 2014).

Frederick Griffith era un bacteriólogo que, desde 1928, es conocido en el ámbito de la genética por el descubrimiento de que las bacterias (*Streptococcus pneumoniae*) eran capaces de realizar la transformación bacteriana. Griffith al mezclar bacterias virulentas muertas por la aplicación de calor con bacterias no virulentas vivas, observó que estas bacterias no virulentas eran capaces de transformarse en bacterias virulentas (Méthot, 2016).

En 1944 Oswald T. Avery, Colin MacLeod y Maclyn McCarty encontraron la sustancia que provocaba que los neumococos no virulentos se transformaran en neumococos virulentos. Probaron con tres compuestos de los neumococos; con la capsula viscosa, con las proteínas presentes en estas bacterias y con una sustancia a la que denominaron ácido-desoxirribonucleico (ADN). El único componente que era capaz de transformar las bacterias de no virulentas a virulentas era el ácido-desoxirribonucleico, por lo que la sustancia que causaba la transformación era el ADN (Carrada-Bravo, 2016).

La teoría de que el ADN era el causante de la herencia culminó en 1953 cuando James Watson y Francis Crick publicaron en la revista *Nature* el descubrimiento de la estructura del ADN gracias a los estudios biofísicos llevados a cabo por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins (Portin, 2014). Watson y Crick sugirieron los mecanismos de replicación del ADN y como este se perpetuaba. Descubrieron que el ADN presentaba una doble hebra que le permitía reparar los posibles daños que sufriera tomando de molde la otra cadena (Strauss, 2018).

El modelo de la estructura que diseñaron Watson y Crick cumplía con las características que debía presentar el material genético. Estas propiedades que debía cumplir era la especificidad, la autorreplicación, que se basa en el emparejamiento de bases, y por último la capacidad de contener información. Ambos investigadores fueron más allá y explicaron como el material hereditario puede sufrir mutaciones y modificar los genes. El modelo era sencillo, pero presentaba un problema puesto que no se sabía cómo la doble hélice era capaz de realizar el desenrollamiento para el proceso de replicación (Portin, 2014). En 1968, Huberman y Riggs solucionaron el problema demostrando que existían múltiples orígenes de replicación a lo largo de las bandas cromosómicas (Hamlin, 1992).

Cabe destacar la importancia de Rosalind Franklin en el descubrimiento de la estructura de ADN. En 1951, en una charla Franklin mostró unas fotografías de difracción de rayos X que indicaba que el ADN presentaba una estructura helicoidal y gracias a esta aportación que realizó, en años posteriores se desveló el misterio de la herencia genética. En 1953, al mismo tiempo que se publicó el trabajo de Watson y Crick sobre el modelo de la estructura de ADN, se publicó en el mismo número de la revista el artículo de Franklin y su compañero Gosling informando y analizando la fotografía tomada con rayos X del ADN. Wilkins también presentó un documento con otra fotografía de ADN mediante rayos X, pero no presentaba tanta claridad como la de Franklin. Pese a su gran aportación, el premio Nobel de 1962 en Fisiología – Medicina fue compartido únicamente por Watson, Crick y Wilkins (Cramer, 2020). Rosalind Franklin no recibió la veneración que merecía, puesto que, sin esas fotografías Watson y Crick no podrían haber desarrollado el modelo de la estructura de ADN.

Cromosomas de la especie humana

El nacimiento de la citogenética moderna ocurrió en 1956 cuando Joe Hin Tjio y Albert Levan descubrieron el número correcto de cromosomas de la especie humana. En ese año se desechó la idea previa de que el número de cromosomas en la especie humana era de 48 (Harper, 2006). El nacimiento de este campo fue más tardío con respecto a otros debido a que se necesitaban lentes y técnicas de imágenes que en años anteriores no se poseían, de ahí el error de creer en un principio, que el número de cromosomas era de 48, en lugar de los que realmente forman el cariotipo humano, 46.

Tjio y Levan trabajaron sobre células de embriones humanos y hallaron que el número de cromosomas era de 46 tras realizar el conteo en una célula diploide de la muestra con la que trabajaban (Dutta, 2016).

Este descubrimiento fue de gran importancia debido a que, conociendo el número exacto de cromosomas de la especie humana, se podían identificar distintos síndromes causados por aneuploidías cromosómicas (Dave & Sanger, 2007). Un ejemplo de este tipo de síndromes es el síndrome de Down. John Langdon Down era un médico inglés que, en 1866, realizó por primera vez la descripción clínica del síndrome de Down. En 1959, Jérôme Lejeune confirmó que este síndrome, el más común en los seres humanos, ocurría debido a una aneuploidía en el cromosoma 21. El síndrome de Down también se conoce como trisomía 21 debido a que se presenta un tercer cromosoma 21 o una parte de este que da lugar al síndrome (Akhtar & Bokhari, 2021).

En los primeros años de la década de 1970 se desarrollaron distintas técnicas de bandedo cromosómico que permitirían el reconocimiento de cromosomas individuales, deleciones y duplicaciones. Además, gracias a estas técnicas se pudo avanzar en la realización de distintos estudios sobre numerosos síndromes cromosómicos (Dave & Sanger, 2007).

Método de Sanger

La estructura en hélice del ADN que desarrollaron Watson y Crick fue un gran avance para ciencia. En 1961, Crick junto con Leslie Barnett, Sydney Brenner y Richard Watts-Tobin diseñaron una estrategia experimental para determinar el código genético. A pesar de la ausencia de tecnología llegaron correctamente a las características de este código (Yanofsky, 2007). El código genético es el lenguaje que utilizan las células para traducir su genoma en proteínas, estas son necesarias para las funciones celulares (Mukai et al., 2017). Las características del código genético son que lo forman tripletes los cuales no se superponen, es degenerado y no presenta comas (Yanofsky, 2007). Unos años más tarde, en el año 1966, se asignó el último triplete de nucleótidos que formaba el código genético (Szymanski & Barciszewski, 2017).

Fred Sanger fue el inventor de los primeros métodos de secuenciación de proteínas, ARN y ADN. Debido al progreso tecnológico que podían suponer estos métodos, en 1950, Crick, Brenner y otros científicos del laboratorio Cavendish en Cambridge invitaron a Sanger para que se mudara a este laboratorio debido a que sus técnicas podían ser muy importantes para las investigaciones que estaban desarrollando sobre el código genético.

Sanger en 1977 publicó su artículo “Secuenciación de ADN con terminación de cadenas inhibidoras”. El método que desarrolló Sanger consistía en que a partir de una única plantilla de ADN se podía sintetizar, mediante la enzima polimerasa, fragmentos

que terminaran en uno de los cuatro nucleótidos, debido a que algunos nucleótidos presentaban las bases nitrogenadas modificadas y esto interrumpía la síntesis de ADN. En un gel de electroforesis utilizo los carriles para separar los distintos nucleótidos y gracias al tamaño de las cadenas se podía saber la secuencia de ADN de una muestra de interés (García-Sancho, 2010). La secuenciación de Sanger con los años ha sido remplazada por otras técnicas de secuenciación de alto rendimiento inspirados en el método de Sanger (Bolz, 2018).

Hibridación fluorescente *in situ* (FISH)

A medida que aumentaban los conocimientos en el ámbito de la genética también lo hacían las distintas técnicas para seguir investigando en este campo y obtener más información para utilizarla en otras áreas de interés.

La hibridación fluorescente *in situ* (FISH) es una técnica que surge a principios de la década de 1980, en concreto en 1982, y consiste en la detección de cambios en el número de copias de ADN, tanto perdidas como ganancias, mapeando las regiones genómicas de interés. Esta tecnología de citogenética molecular, desde entonces se ha aplicado en investigaciones, en el diagnóstico prenatal y también en el diagnóstico de neoplasias (Faggioli et al., 2014).

La técnica de FISH necesita dos componentes principales para llevarla a cabo, en primer lugar, se necesita una sonda de ADN marcada y en segundo lugar otra sonda de ADN diana que es a la que se unirá la sonda de ADN marcada. Cuando ambas sondas se unen se emite una fluorescencia que dará información sobre el ADN, por ejemplo, esta técnica puede dar información sobre si hay una secuencia repetida en los cromosomas (Bayani & Squire, 2004).

Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

El desarrollo de la PCR fue un avance tecnológico que supuso un gran cambio en la ciencia molecular. Las nuevas técnicas de PCR, como la PCR en tiempo real permite a la comunidad científica, médica y de diagnóstico analizar cuantitativamente los ácidos nucleicos (Kubista et al., 2006).

El proceso teórico de la reacción en cadena de la polimerasa fue desarrollado en 1971 por Kjell Keppe y colaboradores, pero no fue hasta 14 años después, en 1985, cuando Kary Mullis elaboró el procedimiento completo de la PCR mientras estaba trabajando en Cetus Corporation, gracias a esto recibió el premio Nobel de Química en 1993. Mullis a partir de la bacteria *Thermus aquaticus*, automatizo y refino el proceso de la PCR introducción el ADN polimerasa termoestable de esta bacteria, debido a esto la polimerasa que se usa, recibe el nombre de *Taq* ADN polimerasa, por la bacteria *Thermus aquaticus* (Lorenz, 2012).

El objetivo de la PCR es la obtención de un gran número de copias de un fragmento de ADN de interés de doble cadena a partir de la ADN polimerasa para replicar dicho fragmento. Este proceso se denomina amplificación y se consigue mediante la repetición de tres pasos. En el primer paso se desnaturaliza el fragmento del cual se quiere obtener un número elevado de copias, esto provoca que se obtengan cadenas simples de ADN. En el segundo paso a estas cadenas simples se le unen oligonucleótidos y en el último paso la polimerasa cataliza la formación de la doble cadena de ADN. Estos tres pasos se repiten en forma de ciclo hasta obtener un número elevado de copias del fragmento de partida (Díaz-Alonso et al., 2013).

La PCR de transcripción inversa (RT-PCR) es una variante de la técnica anteriormente descrita. En este proceso, en primer lugar, se realiza una transcripción inversa en la cual a partir de ácido ribonucleico (ARN) se obtiene ADN complementario (ADNc). A partir de este ADNc se realizará la amplificación del fragmento de interés mediante la repetición de los tres pasos anteriormente descritos. Gracias a la técnica de RT-PCR se pueden estudiar genes que se estaban expresando en el momento de estudio (Díaz-Alonso et al., 2013).

Proyecto Genoma Humano

Las primeras tecnologías de la biología molecular comenzaron a aparecer en la segunda mitad de la década de 1970. La técnica pionera en este ámbito fue el método de secuenciación de Sanger y desde entonces la ciencia no ha parado de desarrollar nuevas tecnologías para el estudio de la biología molecular. La técnica de Sanger se automatizó en la década de 1990 y esto sirvió para secuenciar el genoma humano durante el Proyecto Genoma Humano (Moraes & Góes, 2016).

El proyecto comenzó en 1990 y creó una competencia entre el consorcio del Proyecto Internacional del Genoma Humano, el cual era público, y la empresa privada Celera Genomics. Ambas investigaciones publicaron los borradores en el año 2001, el borrador del consorcio público fue publicado en la revista *Nature* mientras que Celera publicó su borrador en *Science*. El refinamiento y el análisis del proyecto continuó hasta 2003, cuando se completó el genoma de la especie humana. La finalización del proyecto genoma humano se anunció como “el final del principio”. Cuando comenzó el proyecto del genoma humano se realizaron distintas predicciones que al finalizar este no se llegaron a conseguir, pero gracias a la realización de este proyecto se obtuvieron beneficios a largo plazo, aunque los pronósticos realizados al principio no llegaron a cumplirse en aquel momento (Gibbs, 2020).

Oveja Dolly

En 1996, en el instituto Roslin de Edimburgo, unos investigadores introdujeron el núcleo de una célula de la glándula mamaria proveniente de una oveja en el ovocito

de otra oveja adulta. Esta fusión dio lugar a la oveja Dolly, el primer mamífero clonado a partir de material genético. Seis meses después del nacimiento de Dolly, en 1997, surgieron diferentes debates sobre este hito científico. Dolly murió unos años después, en 2003, tras contraer una enfermedad pulmonar incurable. Ahora el cuerpo disecado de la primera oveja clonada se encuentra en el museo Nacional de Escocia (García-Sancho, 2015).

Debido a la clonación de Dolly se desataron diferentes debates sobre la tecnología de clonación y su uso potencial para producir copias exactas de seres vivos. Tras este experimento se observó que la clonación podría dar grandes beneficios en distintos campos científicos, entre ellos, en el campo de la salud mediante la síntesis de proteínas terapéuticas o en el campo de la veterinaria generando animales para el estudio de enfermedades. El experimento de Dolly también dio lugar a cuestiones éticas con respecto a la clonación de personas humanas, por ello, se decidió prohibir la clonación en seres humanos (Rodríguez et al., 2003).

Técnica de edición genética CRISPR-Cas9

Las repeticiones palíndromicas cortas agrupadas y regularmente interespaciadas asociadas a la nucleasa 9 (CRISPR-Cas9) se descubrieron por primera vez como un sistema inmunológico natural de las bacterias en 2012 por los investigadores Charpentier y Doudna. Esto supuso un gran impacto en el campo de la investigación biomédica ya que CRISPR-Cas9 presentaba la capacidad de edición de genes, es decir, es capaz de activar o desactivar genes y de corregir errores (Khouzam & Tivakaran, 2021).

El CRISPR-Cas9 es una herramienta de edición del genoma humano muy esperanzadora debido al elevado potencial terapéutico que puede presentar y gracias a que es muy simple, eficiente y específica. Algunos de los beneficios que puede presentar esta tecnología es en trastornos genéticos incurables mediante la modificación de sus secuencias de ADN, ensayos clínicos contra el cáncer, modelos animales inhibidos genéticamente para el desarrollo de fármacos y otras estrategias que pueden presentar diversas utilidades (Sharma et al., 2021).

Otras posibles aplicaciones clínicas, es en enfermedades infecciosas, como el VIH, mediante la terapia génica. Actualmente la terapia antirretroviral es eficaz para el tratamiento del VIH, pero no es posible la desaparición de la enfermedad debido a que el genoma del virus se integra en el genoma del huésped (Redman et al., 2016). El estudio de la tecnología CRISPR-Cas9 se debe estudiar *in vitro* o en modelos animales. A pesar de la gran velocidad en este campo de investigación, en el ser humano no se debe aplicar todavía *in vivo* hasta que no se conozca completamente el funcionamiento de dicha tecnología y hasta que no se concreten distintos aspectos bioéticos (Suzuki et al., 2016).

Esta responsabilidad tanto a nivel ético como a nivel científico fue incumplida en 2018 por el investigador Jiankui, presentando una conducta inapropiada al realizar un proyecto de edición de genes en dos niñas. Jiankui He nació en China y trabajaba como profesor de la Universidad de Ciencia y Tecnología del Sur. En 2018 anunció que había realizado una modificación con CRISPR-Cas9 en el gen del receptor de quimiocina CC tipo 5 (CCR5) de dos embriones debido a que uno de sus progenitores, el padre, padecía la enfermedad del VIH. Jiankui He aseguró que dicha modificación haría que los bebés fueran inmunes a la infección por VIH. Aunque esto fuese verdad se desconocen los posibles efectos secundarios que pueden ocurrir debido a la modificación del gen CCR5 por lo que He y su equipo pueden poner en grave peligro a los dos bebés que nacieron con esta modificación ya que se pueden producir efectos secundarios por la delección de este fragmento. Además, Jiankui He y su equipo incumplieron el aspecto bioético y quebrantaron el consenso al que había llegado toda la comunidad científica (Wang & Yang, 2019).

Se puede por tanto ver que la tecnología CRISPR-Cas9 tiene un gran potencial para el tratamiento de diversas enfermedades, pero es necesario investigar más sobre esta tecnología y tratar el aspecto ético de esta técnica (Redman et al., 2016).

2.1.2 Desarrollo de los contenidos

Los ácidos nucleicos

Los ácidos nucleicos son un tipo de macromoléculas biológicas muy importantes que están formadas por la unión de unas moléculas más sencillas denominadas nucleótidos. Están compuestos por tres tipos de moléculas, una base nitrogenada, uno o más grupos fosfato y un azúcar que puede ser ribosa o desoxirribosa. Cuando solo se une la base nitrogenada y el azúcar se denomina nucleósido. Estos nucleótidos se unen formando largas cadenas que forman los ácidos nucleicos (Tsay et al., 2019).

Hay dos tipos de ácidos nucleicos, el ácido desoxirribonucleico (ADN) denominado así debido a que el azúcar que contiene es una desoxirribosa, y el ácido ribonucleico (ARN) que debe su nombre por la presencia del azúcar ribosa en su estructura. Ambos son muy importantes gracias a las responsabilidades que tienen en la célula y a la variedad de funciones celulares que realizan. Algunas de estas funciones celulares que los ácidos nucleicos realizan son el transporte de la información genética la cual se lee en las células y la producción de proteínas esenciales para los seres vivos (Minchin & Lodge, 2019).

El ácido desoxirribonucleico es una molécula muy importante para la vida debido a que gracias a esta las células pueden desarrollarse y realizar sus funciones correctamente. El ADN forma el genoma de todos los organismos y es el encargado de transmitir la información genética a la siguiente generación (Minchin & Lodge, 2019). El

ácido desoxirribonucleico fue descubierto por primera vez por Friedrich Miescher en 1869. Miescher a esta sustancia la denominó nucleína, pero unos años después, uno de sus aprendices, Richard Altmann, localizó esa misma sustancia. Altmann la denominó ácido nucleico debido al comportamiento que tomaba en las reacciones químicas (Dahm, 2005).

El ácido desoxirribonucleico presenta una doble hebra que permite a menudo encontrar errores y corregirlos. El ADN está formado únicamente por cuatro bases nitrogenadas que son adenina, guanina, timina y citosina (Talhaoui et al., 2017). Dos de estas bases, la adenina y la guanina, son purinas. Las purinas están formadas por dos anillos fusionados los cuales contienen nueve átomos, cuatro átomos de nitrógeno y cinco átomos de carbono (Mancinelli et al., 2020). Las otras bases, la citosina y la timina, son pirimidinas. Las pirimidinas están formadas por un único anillo que presenta seis átomos, cuatro átomos de carbono y dos átomos de nitrógeno (Das et al., 2018). Las bases púricas y las bases pirimidínicas se unen mediante enlaces de hidrógeno. La timina se une a la adenina mediante dos enlaces de hidrógeno mientras que la guanina y la citosina se une gracias a tres enlaces de hidrógeno (Harding et al., 2018). Las hebras de ADN se forman mediante enlaces fosfatos y las uniones entre las purinas y las pirimidinas dan lugar a la doble cadena (Figura 2).

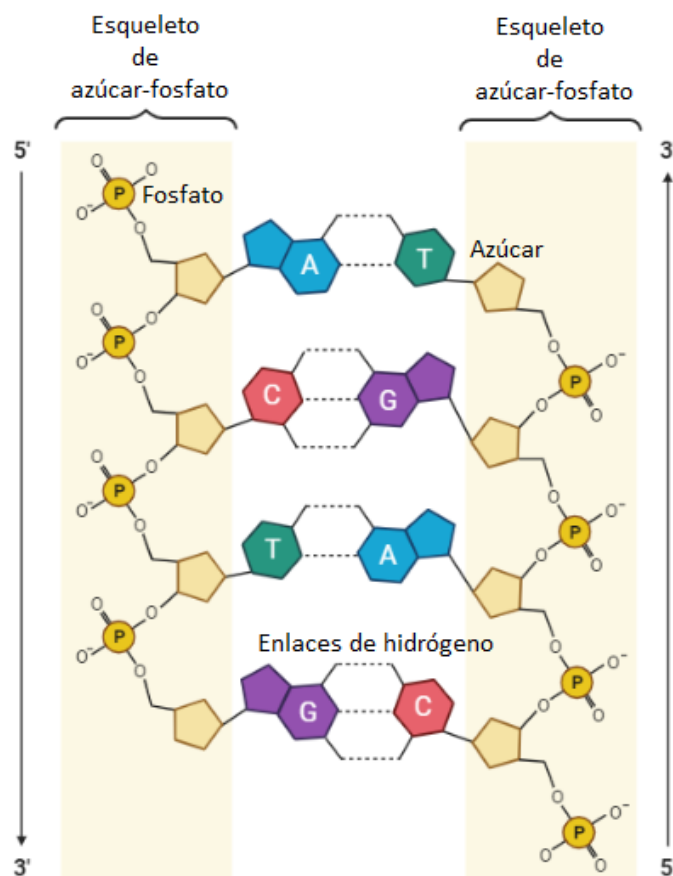


Figura 2: Doble hebra de ADN.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

El ácido ribonucleico es similar al ácido desoxirribonucleico. El ARN presenta cuatro bases. La adenina, guanina y citosina aparecen tanto en el ADN como en el ARN, sin embargo, en el ARN, en lugar de aparecer la timina, aparece otra base pirimidínica denominada uracilo.

La función del ARN es la de actuar como mensajero genético para la síntesis de proteínas. Una porción del ADN se transforma en ARN mensajero (ARNm) gracias a la ARN polimerasa. Este ARNm sintetizado va hacia los ribosomas y allí se traduce a proteínas, las cuales son necesarias para las células (Minchin & Lodge, 2019).

Expresión génica

La expresión génica es el proceso por el cual los organismos mediante la transcripción y traducción transforman los ácidos nucleicos en proteínas. La expresión génica se debe considerar un proceso estocástico, es decir, es un proceso de flujo de información genética el cual está sometido al azar y puede provocar variaciones en el ARNm y las proteínas de las células (Raj & van Oudenaarden, 2008).

Estos procesos de flujo de información genética forman el dogma central de la biología molecular, el cual fue enunciado por Francis Crick en 1958 (Griffiths, 2017). Los procesos implicados en este dogma central son la replicación, transcripción y traducción (Figura 3).

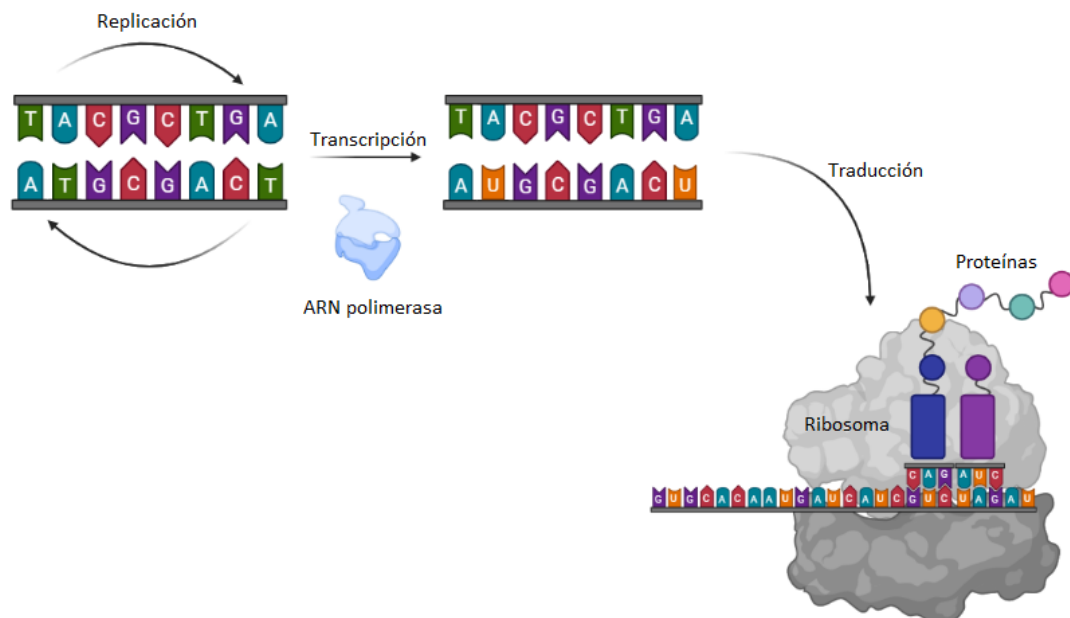


Figura 3: Dogma central de la biología molecular.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Replicación:

Cuando una célula entra en división celular, el material que obtengan las dos células hijas debe ser el mismo que el que presentaba la célula madre. Para ello, el ADN

que presentaba la célula madre se debe duplicar para que ambas hijas reciban la misma información genética. Este proceso se denomina replicación y se puede dividir en tres fases.

En la primera fase de replicación del ADN el origen de replicación es desenrollado por una enzima que es la helicasa (ADN helicasa replicativa). La helicasa provoca la formación de dos horquillas de replicación. En la segunda fase tiene lugar la elongación y la síntesis de ADN de manera conservativa, es decir, a partir de las hebras de ADN original, que ha separado la helicasa, se forma una nueva hebra de ADN complementaria para cada una de las hebras originales (Figura 4). La tercera fase es la de terminación y ocurre cuando las horquillas de replicación convergente se encuentran. Cuando ocurre esto, se ha finalizado el proceso de replicación, la maquinaria de replicación se desmonta y como resultados se obtienen dos moléculas de ADN idénticas (Dewar & Walter, 2017).

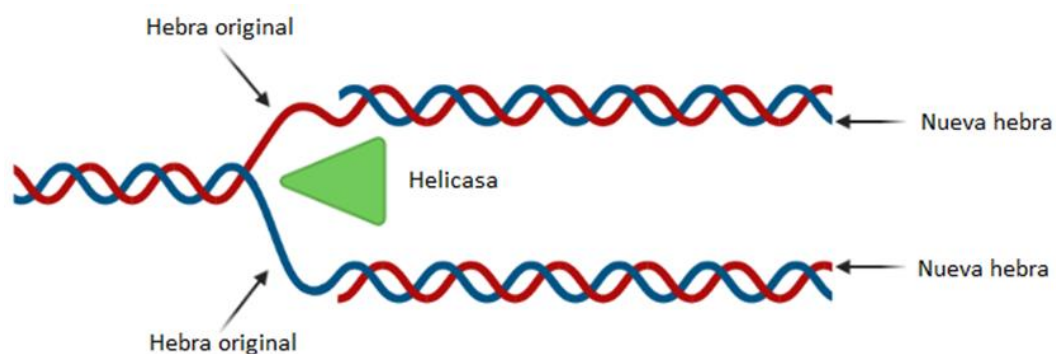


Figura 4: Proceso de replicación.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Transcripción:

Los procesos de transcripción y procesamiento del ARN gobiernan la expresión génica. La transcripción consiste en la síntesis de ARN a partir de una porción del ADN (Lacoux et al., 2020). La ARN polimerasa es la encargada de crear una hebra de ARN complementaria al ADN. Hay tres tipos de ARN (Figura 5), son el ARN mensajero (ARNm), ARN ribosómico (ARNr) y el ARN transferente (ARNt), todos ellos provienen de la transcripción (Cascante Mosquera, 2009).

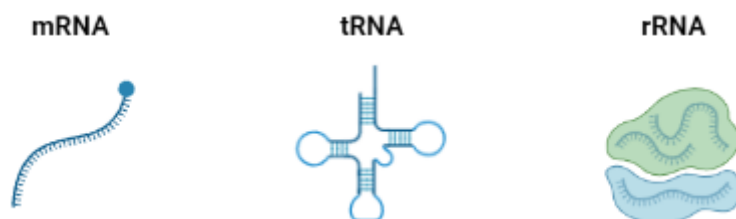


Figura 5: Tipos de ARN.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

En el proceso de transcripción ocurre en el núcleo de las células. Durante este proceso las cadenas de ADN se separan, una de estas cadenas, se convierte en la cadena molde y las enzimas que forman la ARN polimerasa comienzan la síntesis del ARN complementario (Figura 6). En la síntesis de ARN hay que tener en cuenta que en lugar de añadir timina se añadirá uracilo, ya que la timina no aparece en el ARN (Cascante Mosquera, 2009).

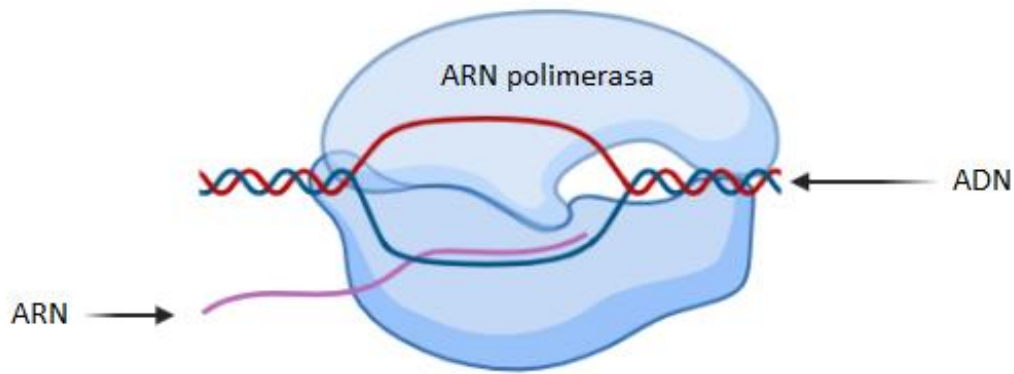


Figura 6: Proceso de transcripción.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Traducción:

La traducción es uno de los procesos fundamentales de la vida. Es el proceso por el cual la información genética de la secuencia de nucleótidos de un ARNm (el elaborado mediante la transcripción) se sintetiza en proteínas. La traducción se lleva a cabo en los ribosomas (McGlinchey & Ingolia, 2017).

Los ribosomas primero identifican una región del ARNm denominada marco de lectura abierto (ORF) que codifica una proteína. A partir de este ORF se leen tres nucleótidos (codón) dando lugar a un polipéptido (McGlinchey & Ingolia, 2017).

Dogma central de la biología molecular:

El dogma central de la biología de Francis Crick estaba formado por estos tres procesos descritos. Este dogma fue revisado en 1970 tras distintos descubrimientos. En primer lugar, se descubrió la transcripción inversa, es decir, el paso de ARN a ADN. Algunos virus ARN son capaces de realizar este tipo de transcripción mediante una ADN polimerasa (Telesnitsky & Goff, 1997). En la década de 1950, se descubrieron los priones, unas proteínas infecciosas capaces de causar enfermedades, las cuales no necesitan ADN para propagarse (Bonda et al., 2016). Por último, se descubrieron las ribozimas, las cuales están formadas por ARN y son capaces de autoduplicarse ellas mismas (Breaker, 2017). Estos descubrimientos modificaron el dogma central de la biología enunciado por Crick (Figura 7).

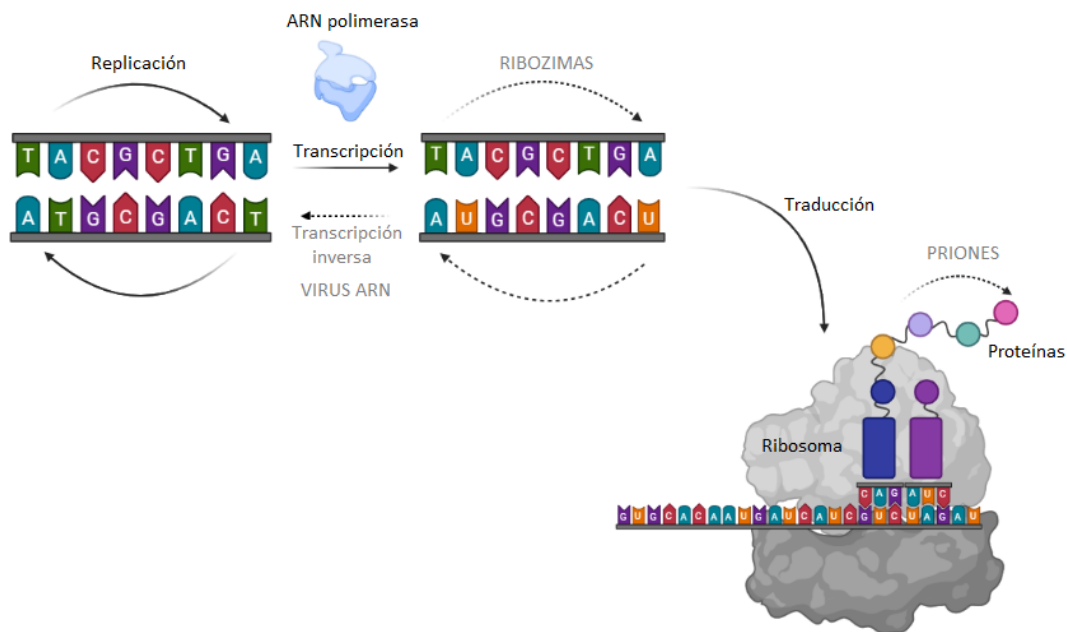


Figura 7: Modificaciones del dogma central de la biología molecular.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Expresión de la información genética. Código genético

Como se ha observado, el dogma central de la biología molecular vincula estrechamente el ADN, el ARN y la síntesis de las proteínas. La secuencia de nucleótidos que presenta un gen da lugar a un producto de ARNm, mientras que este ARNm da lugar a una secuencia de aminoácidos. Estas secuencias de aminoácidos forman polipéptidos que sintetizan a las proteínas (Yansheng Liu et al., 2016). El flujo de información genética va desde el ADN hasta que se obtienen las proteínas (Figura 8).



Figura 8: Flujo de información genética.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

El código genético es el lenguaje que se usa para traducir la información genética en proteínas, las cuales realizan distintas funciones vitales (Mukai et al., 2017). Este código genético presente unas características que son comunes en todos los organismos, es decir, el código genético es un código universal. Está formado por tripletes en el cual no hay solapamientos y es degenerado, es decir, solo hay 20 aminoácidos, pero hay 64 tripletes posibles por lo varios tripletes pueden dar lugar al mismo aminoácido (Yanofsky, 2007).

Concepto de gen

Los cromosomas portan a los genes y estos genes presentan la información que se transmitirá de generación en generación. Estos genes presentan la información fenotípica y genética de los seres vivos. Los fenotipos y genotipos de los seres vivos pueden variar a causa de variantes alélicas, factores epigenéticos o ambientales (Riordan & Nadeau, 2017).

Mutaciones. Relaciones con la evolución

Las modificaciones que sufren los genes se denominan mutaciones, pero los genes no son los únicos que pueden presentar estas mutaciones. Los cromosomas y el genoma del individuo también pueden presentar mutaciones.

Cuando la mutación afecta al gen se denomina mutación génica y afecta a la secuencia de nucleótidos, por ejemplo, se puede perder un nucleótido que da lugar a que cambia la lectura de aminoácidos. También se puede producir un cambio en un nucleótido por otro, y esto puede provocar que se obtenga un aminoácido distinto o que dé lugar a un codón de stop. En ocasiones, se puede producir la inserción o delección de un codón completo (Figura 9).

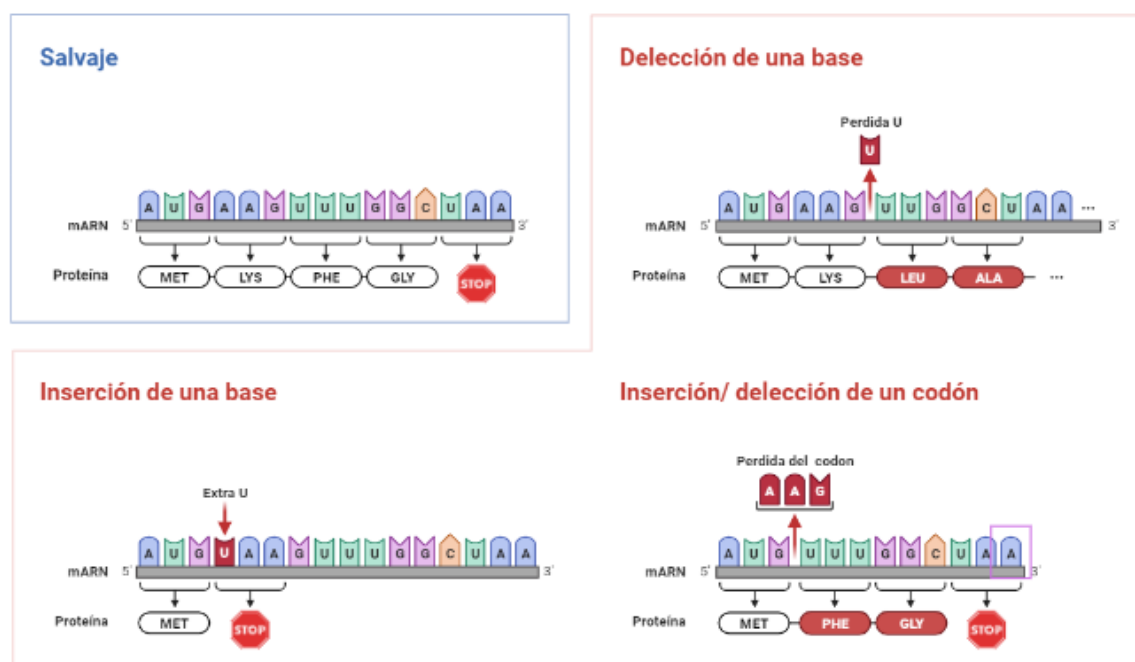


Figura 9: Tipos de mutaciones génicas.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Si la mutación afecta a la estructura de los cromosomas se denomina mutación cromosómica. La estructura del cromosoma puede ser modificada debido a una delección (se elimina una parte del cromosoma), una duplicación (un segmento del cromosoma aparece dos veces), una inversión (una parte del cromosoma cambia de sentido) o una translocación con otro cromosoma (un fragmento de un cromosoma se intercambia con el fragmento de otro).

Las mutaciones genómicas afectan al número de cromosomas del individuo (cariotipo) y pueden ser de dos tipos, aneuploidias o euploidias. En las aneuploidias en el cariotipo aparece un cromosoma de más o aparece un cromosoma de menos. Un ejemplo de aneuploidia sería el síndrome de Down o trisomía 21, donde aparecen tres cromosomas 21. En este caso, en lugar de aparecer 46 cromosomas en el cariotipo aparecen 47. En las euploidias se ve afectada la dotación cromosómica dando lugar a individuos, por ejemplo, con $3n$, es decir, células que presentan el triple de cromosomas, en lugar de presentar el doble, $2n$.

La palabra mutación se suele asociar con algo negativo, pero también es importante comprender que gracias a las mutaciones las especies evolucionan por lo que en ocasiones las mutaciones pueden ser beneficiosas y no solo perjudiciales.

Ingeniería genética:

El ADN es la unidad de la herencia y es la base del dogma central de la biología molecular, por ello, los científicos han llevado a cabo experimentos y métodos para comprender como el ADN controla la herencia. Los descubrimientos de herramientas de biología molecular que permiten modificar el ADN como las enzimas de restricción, secuenciación de ADN y clonación de ADN han provocado el nacimiento de la ingeniería genética (Lanigan et al., 2020).

La ingeniería genética es la tecnología de biología molecular que presenta la capacidad de modificar las secuencias de los genomas usando distintas herramientas. Algunas de las herramientas que usa esta tecnología es la recombinación homóloga (la cual no es muy eficaz), integración aleatoria de ADN mediada por transposones, inserción de ADN mediada por vectores o tecnología basada en endonucleasas guiadas. El descubrimiento de CRISPR-Cas9 ha provocado que la tecnología basada en endonucleasas sea el método más aplicado para diseñar genomas (Lanigan et al., 2020).

El uso de estas tecnologías puede facilitar la vida de las personas. Un ejemplo de esto es mediante la tecnología de ADN recombinante que permite producir péptidos, proteínas y productos bioquímicos de forma natural (Stryjewska et al., 2013). Esta técnica se utiliza por ejemplo para la formación de insulina, a partir de bacterias a las

cuales se les ha introducido el gen de la insulina se pueden obtener grandes cantidades de esta hormona.

Otra tecnología basada en ingeniería genética que en el último año ha sido muy usada es la PCR. Este ensayo de base molecular permite detectar el genoma del SARS-CoV-2 (Sule & Oluwayelu, 2020). La PCR se utiliza en distintos aspectos aparte del diagnóstico médico, como, por ejemplo, en el laboratorio para la obtención de múltiples copias a partir de una sola y en el análisis forense.

La clonación es una tecnología genética que posee un enorme potencial para las técnicas médicas y terapéuticas. La clonación se utiliza para clonar tejidos u órganos y trasplantarlos a los pacientes. La clonación es muy útil, pero en referencia a la clonación reproductiva, supone preocupaciones éticas, morales y legales (Abdur Rab & Khayat, 2006).

La ingeniería genética ha revolucionado diversos campos, como por ejemplo la industria alimentaria, ha mejorado la vida de las personas y ha facilitado la obtención de distintas moléculas que son importantes.

Herencia y transmisión de caracteres. Introducción y desarrollo de Mendel

La herencia es el proceso por el cual un ser vivo transmite la información genética a su descendencia. La mayoría de seres vivos presentan un par de cromosoma. Los cromosomas portan a los genes y estos genes son los que contienen la información genética. Cada cromosoma tiene uno de los alelos de un gen. Un alelo es dominante cuando, aunque aparezca únicamente en uno de los cromosomas muestra el efecto o el fenotipo de este alelo. Un alelo recesivo es aquel que si solo aparece en uno de los cromosomas no se muestra el efecto o el fenotipo, para que lo exprese, este alelo recesivo debe aparecer en ambos cromosomas (Lewis & Simpson, 2020). Un individuo es de raza pura cuando presentan ambos alelos dominantes o ambos alelos recesivos. Cuando aparecen dos alelos dominantes o dos alelos recesivos se denomina a ese individuo homocigoto, mientras que si el individuo presenta un alelo dominante y otro recesivo se denomina heterocigoto.

Los descubrimientos de Gregor Mendel realizados con el guisante (*Pisum sativum*) fueron publicados en 1866, y hasta 1900 no fueron enunciadas en forma de tres leyes por otros investigadores. A estas leyes se les denominó las leyes de Mendel.

La primera ley de Mendel, la ley de la dominancia y uniformidad, ocurre cuando se cruza un individuo dominante de raza pura con un individuo recesivo de raza pura (Figura 10). Los individuos que se obtienen presentan el fenotipo del individuo dominante, pero los individuos son heterocigotos debido a que han adquirido un alelo dominante de un progenitor y un alelo recesivo del otro (Lewis & Simpson, 2020).

La segunda ley de Mendel se produce cuando se cruza dos individuos de la generación obtenida, es decir, dos individuos heterocigotos (Lewis & Simpson, 2020). Cuando se realiza el cruce aparece de nuevo el carácter recesivo en parte de los individuos de la nueva generación (Figura 11). Se da por tanto la ley de la segregación o de la disyunción en la cual, una parte de los individuos muestran el carácter recesivo que mostraba uno de los progenitores iniciales de raza pura.

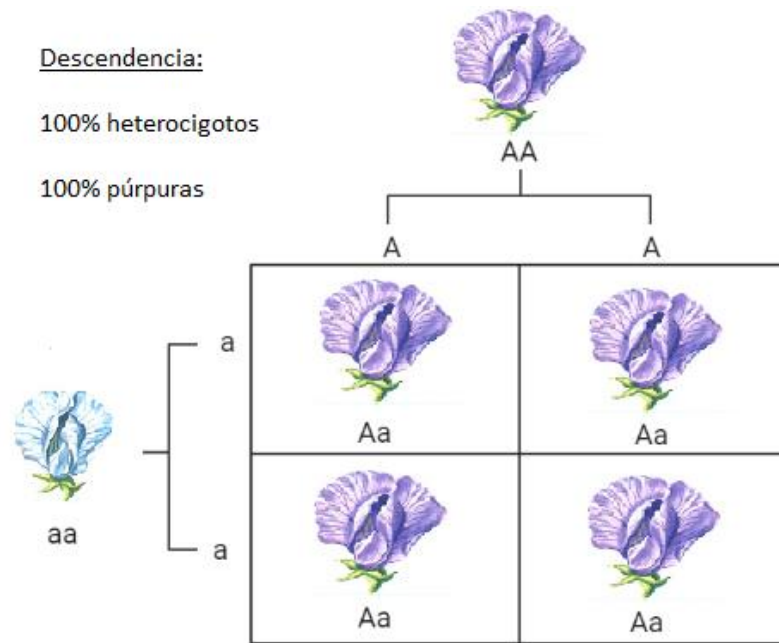


Figura 10: Ley de la dominancia y de la uniformidad.

Fuente: Elaboración propia.

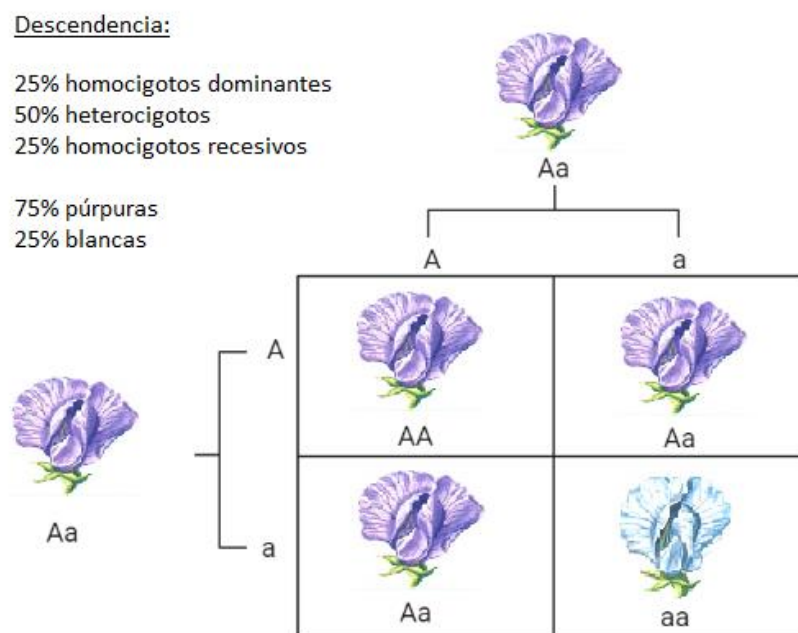


Figura 11: Ley de la segregación.

Fuente: Elaboración propia.

Estas dos primeras leyes explican las leyes de la herencia cuando únicamente aparece un carácter. La tercera ley de Mendel surge para explicar las leyes de la herencia cuando hay dos caracteres. Esta tercera ley es la de la independencia de los caracteres (Lewis & Simpson, 2020).

En primer lugar, se cruzan dos individuos puros de *Pisum sativum* los cuales presenten dos caracteres. Uno de estos individuos presentara dos caracteres dominantes (color amarillo y liso) mientras que el otro individuo presentara dos caracteres recesivos (color verde y rugoso). Cuando se cruzan dan lugar a una descendencia de guisantes amarillos lisos, los cuales se cruzan entre ellos para obtener la segunda generación (Figura 12). En esta generación se obtienen guisantes amarillos lisos, amarillos rugosos, verdes lisos y verdes rugosos. Además de aparecer en esta descendencia los caracteres de los progenitores de raza pura, también aparecen individuos que presentan el color dominante (amarillo), pero son rugosos y otros que presenta en color recesivo (verde) pero son lisos. Esta descendencia demuestra que los caracteres son independientes.

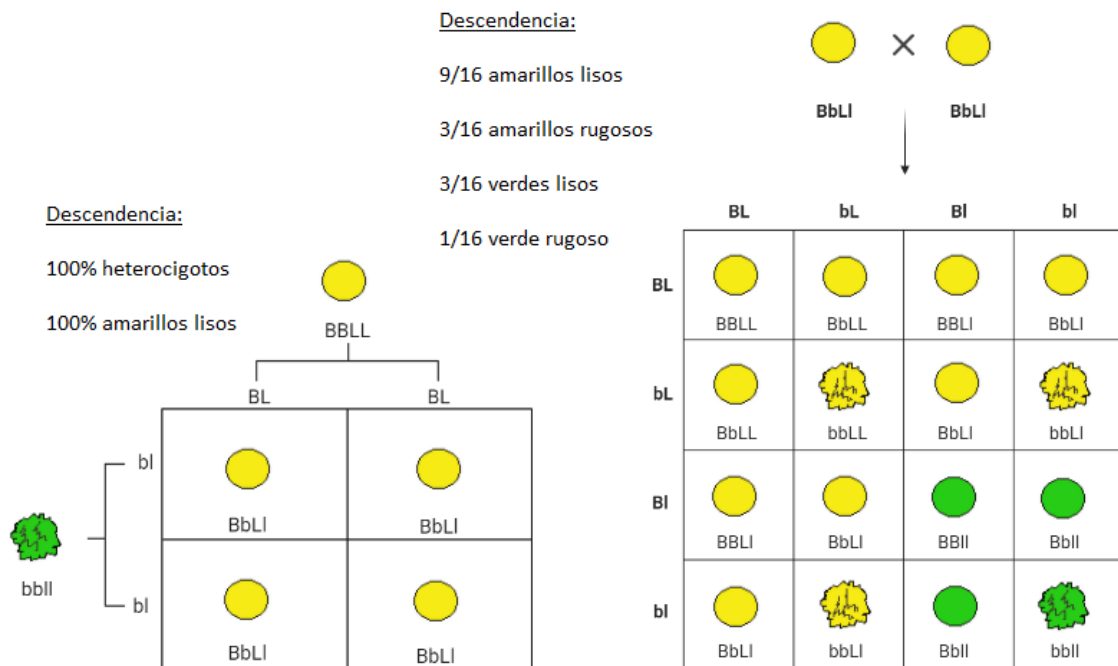


Figura 12: Ley de la independencia de los caracteres.

Fuente: Elaboración propia.

Las leyes de Mendel se estudiaron mediante fenotipos en los cuales un alelo dominaba sobre el otro, y ese alelo era el que se expresaba. En ocasiones ningún alelo domina sobre el otro, sino que ambos se pueden manifestar. Existen dos casos en los que ambos alelos se manifiestan la codominancia y a herencia intermedia. Estos términos se utilizan para referirse a aquellas situaciones en las que tres genotipos dan

lugar a tres fenotipos diferentes (Júlio-Costa et al., 2019). Cuando un alelo es dominante sobre otro, los tres genotipos únicamente dan lugar a dos fenotipos.

El termino codominancia ocurre cuando el fenotipo de los heterocigotos aparece el fenotipo de ambos homocigotos. La herencia intermedia se da cuando los heterocigotos obtienen un fenotipo causado por la mezcla de los dos homocigotos (Figura 13).

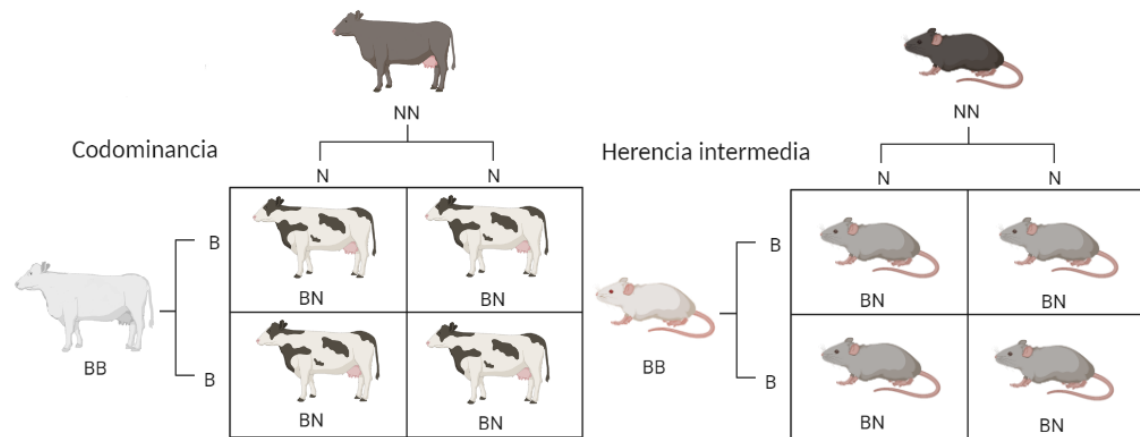


Figura 13: Codominancia y herencia intermedia.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Como se puede ver si siguen las leyes de Mendel, pero los fenotipos que se obtienen no son los esperados debido a que ambos alelos se expresan.

Base cromosómica de las leyes de Mendel

Los primeros investigadores que consideraron la posibilidad que los factores mendelianos (los genes) se encontraban en los cromosomas fueron Walter Sutton y Theodor Boveri en 1902 (Gayon, 2016). Tomas Hunt Morgan en la década de 1910 gracias a los experimentos realizados en *Drosophila melanogaster* confirmó la teoría cromosómica, la cual sostenía que los genes se encontraban en los cromosomas y eran los causantes de que apareciese un fenotipo concreto en los seres vivos (Durmaz et al., 2015).

Los seres vivos presentan dos tipos de células, las somáticas las cuales presentan toda la información genética y las células germinales que son aquellas que solo contienen la mitad de la información genética (espermatozoides y óvulos). Las células somáticas presentan pares de cromosomas y los cromosomas que forman cada par son homólogos (un cromosoma homologo proviene del padre y otro de la madre). Estos cromosomas homólogos presentan la misma morfología, tamaño y portan genes que controlan los mismos fenotipos. Los genes se encuentran en un lugar determinado del cromosoma al cual se le denomina locus (Valega, 2010). Los genes se encuentran ligados cuando se encuentran en el mismo cromosoma, como por ejemplo los genes D y B, y los

genes que se encuentran en distintos cromosomas se denominan independientes, genes D y B con respecto al gen A (Figura 14). Los genes que son independientes siguen la tercera ley de Mendel.

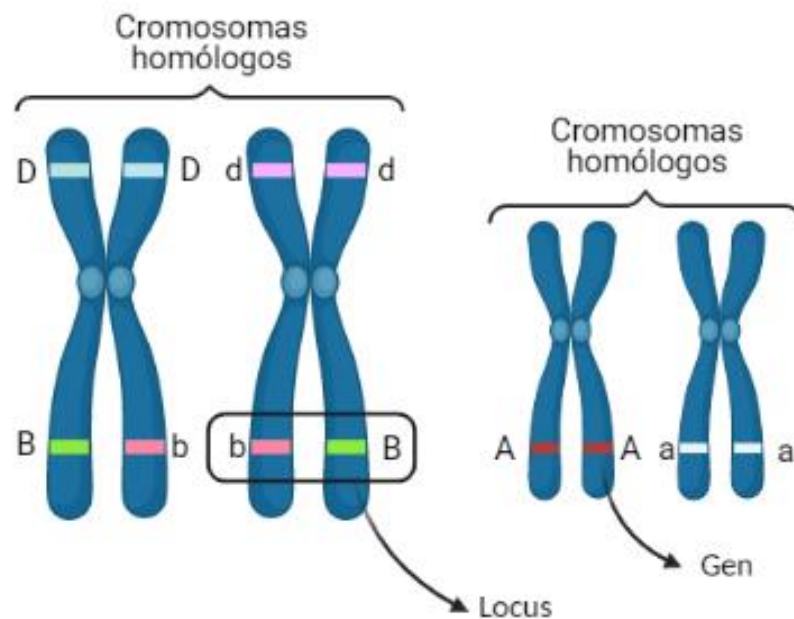


Figura 14: Genes ligados y genes independientes.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Los cromosomas de una especie pueden ser autosómicos o sexuales. Los cromosomas sexuales suelen marcar si el individuo es macho o hembra. Los cromosomas autosómicos se encuentran tanto en el macho como en la hembra. La determinación del sexo puede ser debido a distintos factores.

El sistema XX/XY es aquel en el que las hembras presentan dos cromosomas sexuales X mientras que los machos presentan un cromosoma sexual X y otro Y (Quillet et al., 2002). Este tipo de sistema lo presentan los mamíferos y algunos peces y anfibios.

La determinación del sexo ZZ/ZW se da en las aves y en los reptiles. Los genes que presentan uno u otro cromosoma controlan la diferencia sexual. Los machos presentan ZZ mientras que las hembras presentan ZX. En este sistema los machos son los que presentan dos cromosomas iguales mientras que las hembras presentan diferentes cromosomas (Chue & Smith, 2011).

El sistema XX/XO se da en los insectos. Las hembras presentan dos cromosomas sexuales X mientras que los machos solo presentan un cromosoma X, es decir, los machos únicamente presentan un cromosoma sexual (Kulkarni et al., 2013).

La determinación del sexo en ocasiones depende de los cromosomas autosómicos. En el caso de las abejas las hembras son diploides, ya que presentan parejas de cromosomas autosómicos, mientras que los machos son haploides, debido a que únicamente presentan un cromosoma de esa pareja (Friedli et al., 2020). En algunos

organismos anfibios, peces y reptiles la determinación del sexo está determinada por factores ambientales y no siguen las leyes de Mendel.

Cariotipo

El cariotipo de una especie es una imagen formada por el conjunto de cromosomas de dicho organismo. En el cariotipo se encuentran el número total de cromosomas ordenados por tamaño y estructura. En la mayoría de las especies se encuentran un determinado número de cromosomas autosómicos y por los cromosomas sexuales que marcan el sexo del organismo.

En el caso del cariotipo humano se encuentran 23 parejas de cromosomas, es decir, 46 cromosomas en la especie humana. El cariotipo humano cuenta con 22 parejas de cromosomas autosómicos, los cuales se ordenan de mayor a menor tamaño, la pareja numero 1 son los cromosomas que presentan mayor tamaño, mientras que la pareja 22 son los de menor tamaño. Los otros dos cromosomas que falta son los cromosomas sexuales que marcan el sexo de organismo. Si los cromosomas que encontramos en el cariotipo son XX, el cariotipo corresponde a una mujer, pero, si aparecen los cromosomas XY corresponde a un cariotipo masculino.

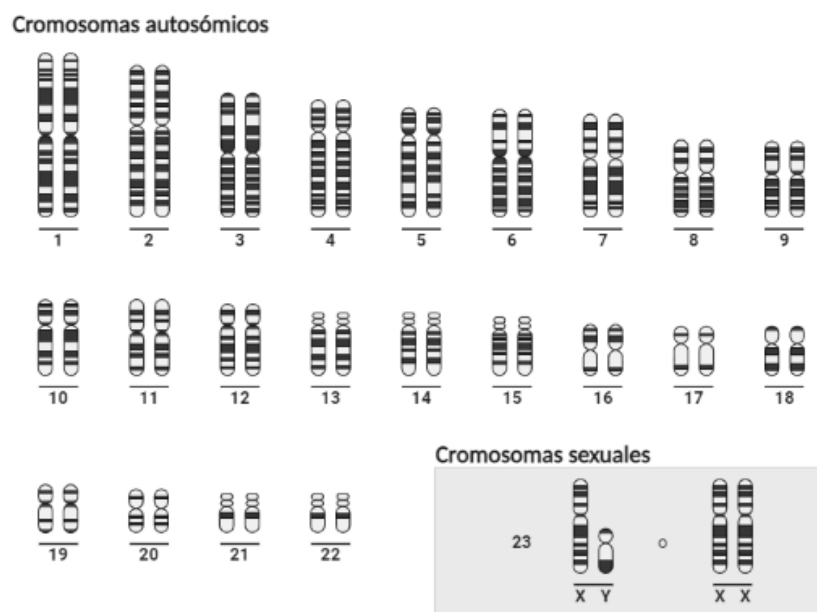


Figura 15: Cariotipo humano.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

Como se puede observar en el cariotipo de la figura 15, los cromosomas presentan una serie de bandas oscuras y claras. Estas bandas permiten detectar los cromosomas, emparejarlos y observar si presentan alguna alteración.

Estas anomalías y alteraciones en los cromosomas a menudo se han estudiado con la técnica de hibridación fluorescente in situ (FISH). La técnica permite el estudio de los cromosomas y saber si la enfermedad de una persona está causada por anomalías

cromosómicas como las deleciones, inversiones, translocaciones o duplicaciones. En otras enfermedades permite saber incluso si ha aparecido un cromosoma de más o ha desaparecido un cromosoma de la pareja cromosómica (Baumgartner et al., 2018).

Aplicaciones de las leyes de Mendel

Las leyes de Mendel tienen diversas aplicaciones en clínica como en el asesoramiento genético, cribado genético, terapia génica, diagnóstico prenatal y predictivo (Taiber & Avraham, 2019).

Las leyes de Mendel también se aplican para la obtención de organismos que por sus características pueden ser beneficiosos para el ser humano. Se cruzan entre si aquellos organismos que den mayores frutos, presenten mejor carne, tenga un color más llamativo y otros aspectos que pueden ser de interés para el ser humano. Anteriormente esto ya se realizaba sin necesidad de las leyes de Mendel, pero gracias a estas leyes y el estudio de los genes se puede realizar esta técnica de manera más precisa y obteniendo individuos de interés de forma más rápida.

Las leyes de Mendel se pueden usar para el seguimiento de una enfermedad en una familia y estudiar si dicha enfermedad es recesiva, dominante o se encuentra ligada al sexo (la enfermedad se manifiesta dependiendo del sexo). También sirven para determinar la probabilidad de que un descendiente presente dicha enfermedad o para completar el genotipo de algún individuo para saber si puede ser portador o no de dicha enfermedad.

A menudo este tipo de estudios se realiza mediante árboles genealógicos. Las mujeres son representadas con círculos, los varones con cuadros. Aquellos individuos que presentan la enfermedad aparecen con la figura pintada, sin embargo, si son portadores de la enfermedad se dibuja únicamente la mitad de la figura (Figura 16).

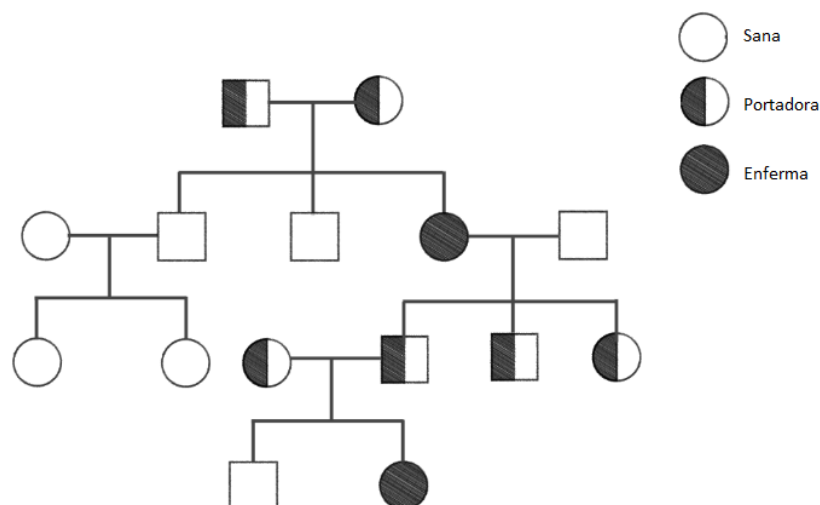


Figura 16: Árbol genealógico.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Biorender.

2.1.3 Ideas previas del alumnado con respecto a este tema

Se entiende como ideas previas a aquellos conceptos que el alumnado desarrolla para dar explicación a una inquietud o explicar algún fenómeno natural. Estas ideas surgen por diversos motivos, entre ellos, las experiencias que ocurren en su día a día, conversaciones con otros compañeros, información que se da en los medios de comunicación o datos que obtienen en las redes sociales (Peláez & Perlaza, 2015).

Muchos autores han descubierto que el alumnado presenta dificultad al tratar distintos conceptos sobre genética, como; la herencia biológica, los caracteres hereditarios y la transmisión de estos. Esto puede ser debido a distintas causas, pero las ideas previas suelen presentar el mayor problema para la comprensión de la genética debido a que estos conceptos que los propios alumnos han desarrollado están fuertemente interiorizados y suponen un problema para asimilar la información correcta sobre el tema (Peláez & Perlaza, 2015).

La enseñanza de la herencia biológica es muy importante para el vocabulario científico y para aspectos cotidianos de la vida. Cada vez la genética se encuentra más presente en nuestra vida y mucha información que nos llega por distintos medios está relacionada con ella; alimentos transgénicos, enfermedades genéticas, clonaciones y otros temas (Ruiz González et al., 2017).

La herencia biológica es muy importante para adquirir conocimientos sobre genética, pero también es una de las lecciones que presenta más dificultades en el proceso de enseñanza-aprendizaje de ciencias. Por ello, es importante que el docente conozca cuáles son las ideas previas sobre el tema y poder modificarlas durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (Ruiz González et al., 2017).

Algunas ideas previas que considera Ruiz junto con otros autores en 2017 sobre genética que ha interiorizado el estudiantado que comienzan 4º de ESO son las siguientes:

- Confusión de la definición “información genética”
- No saber cómo los genes determinan las características de los organismos
- Mayor similitud con un progenitor por portar más información hereditaria del mismo
- No relacionar organismo, célula, núcleo, cromosoma y gen
- Los cromosomas sexuales únicamente aparecen en los gametos
- Cada célula lleva un tipo de información para realizar su función
- Problemas para distinguir entre célula somática y gametos
- Relación de mutación con cambio físico o transformación anatómica
- Mutaciones como cambios graduales para adaptarse al medio
- Mutaciones solo suponen cambios perjudiciales

Estas ideas previas dificultan el proceso de enseñanza-aprendizaje, por tanto, es importante descubrirlas y realizar una planificación de la enseñanza para asegurarnos de que los y las estudiantes eliminen los contenidos previos y adquieran correctamente los conocimientos que se les quiere transferir. Por tanto, es importante seleccionar los contenidos y orientar al alumnado a la comprensión y al entendimiento de dicha temática. El estudiantado debe también saber que aplicaciones tiene la genética para la sociedad y presentar un poco de cultura científica para entender los nuevos avances que van ocurriendo.

2.2 Fundamentación didáctica

2.2.1 Aprendizaje basado en proyectos

En el curso de Biología y Geología de 4º de ESO los contenidos en los que más dificultad y problemas presenta el alumnado son en aquellos temas relacionados con genética. Esto es debido a que los y las estudiantes se enfrentan por primera vez a términos científicos relacionados con esta rama de la ciencia. El alumnado previamente si ha tenido contacto con la genética, pero no en un vocabulario científico por lo que ha creado una serie de ideas previas.

Estos dos motivos, el ver por primera vez los términos científicos y el presentar conceptos erróneos previamente instaurados, hace que los contenidos impartidos en la clase de genética sean difíciles de adquirir e interiorizar para el estudiantado.

Por estas razones en esta unidad didáctica se pretende seguir la metodología de aprendizaje basado en proyectos (ABP) debido a que esta metodología permite el aprendizaje de los contenidos mediante el planteamiento de problemas que se pueden extrapolar a casos de la vida real. Esto hace que el alumnado comprenda los contenidos mediante problemas teóricos y prácticos que provocaran que interiorice los nuevos conocimientos.

El aprendizaje basado en proyectos es un método de enseñanza sistemático el cual implica la participación del alumnado para adquirir unos determinados conocimientos y habilidades. Para adquirir estos recursos se sigue un proceso de investigación en el cual se plantean preguntas auténticas, proyectos y tareas cuidadosamente diseñadas. Este tipo de metodología se considera muy efectiva para involucrar al alumnado de manera significativa en proceso de enseñanza-aprendizaje (Hsu, 2020).

El ABP se basa en tres características clave que son: el aprendizaje situado, debido a que el alumnado trabaja en una actividad basada en problemas significativos del mundo real, la construcción activa, ya que adquieren comprensión e ideas más profundas gracias al trabajo que están desarrollando, y, por último, la interacción social

gracias al trabajo en grupo que el alumnado realiza para la obtención de la solución final del proyecto que se planteó en un principio (Hsu, 2020).

Esta metodología, como todas, presenta una serie de desafíos y dificultades para los docentes y el propio estudiantado. Estos problemas se pueden solventar mediante el uso de otras técnicas durante el ABP y una investigación exhaustiva para la preparación de la tarea ABP que se le entregara al alumnado.

En primer lugar, en ocasiones las actividades del ABP pueden ser desordenadas y esto dificulta al docente el guiar y evaluar al alumnado. Este problema se puede erradicar mediante el estudio de la actividad que se le quiere entregar al alumnado.

Los docentes de ciencias también se encuentran con distintos desafíos cuando implantan la investigación científica. Entre estos desafíos se encuentran la dimensión técnica, en la que destaca que el profesor o profesora no enseña de forma constructiva y la dificultad para el trabajo en grupo, la dimensión política, debido a la falta de recursos y a la resistencia por parte de los padres, y la dimensión cultural en la cual los docentes sienten la necesidad de preparar a los y las estudiantes para exámenes finales y el siguiente nivel de educación (Hsu, 2020).

Para solventar los problemas que pueden surgir a causa de estas dimensiones y así mejorar el trabajo del aprendizaje basado en proyectos se usan los diálogos cogenerativos (cogens). Estos diálogos presentan un gran potencial que mejora el clima en ABP y para hacer frente a los posibles conflictos emocionales en los proyectos de ciencias llevados a cabo (Tan & Tan, 2020).

Esto hace del ABP que sea una metodología interesante para aplicar al temario de genética debido a que los alumnos y alumnas pueden interiorizar estos conocimientos de forma eficaz y si se presenta algún problema pueden ser solventados mediante el uso de los diálogos cogenerativos.

El ABP, por tanto, consiste en presentar al alumnado un problema para el cual no ha sido preparado o previamente no se le ha dado información sobre este. El objetivo del ABP es que el alumnado estudie nuevas unidades didácticas a partir de casos o problemas comunes de la vida. Esta forma de estudiar motiva más al alumnado e integra los conocimientos. El docente debe procesar el pensamiento crítico del alumnado y la capacidad que presenta para encontrar información sobre el problema que se le plantea (Casanoves et al., 2017).

Es interesante trabajar con ABP en el temario de genética debido a que es la primera vez que el estudiantado tiene contacto con estos conceptos y realizando un caso de la vida real pueden interiorizar mejor los conceptos.

2.2.2 Controversias socio-científicas

Los diferentes puntos de vista que surgen en torno a temas actuales científicos se denominan controversias socio-científicas. Estas controversias surgen de una base científica pero además están relacionadas con aspectos sociales, éticos, políticos o ambientales (Moreno & Rut Jiménez-Liso, 2012).

Estas controversias afloran debido a discrepancias entre los ciudadanos, científicos y periodistas. Estas controversias pueden aparecer a causa de la creación de nuevas vacunas, el uso de transgénicos, la biotecnología CRISPR-Cas9, células madre y otros aspectos científicos los cuales dan lugar a distintas opiniones entre los individuos. En el campo de la genética aparecen muchas controversias debido a que en las últimas décadas se están desarrollando nuevas tecnologías que permiten avanzar más en esta área de la ciencia, pero también está provocando que surjan diversas cuestiones, como, por ejemplo, las bioéticas.

Estas controversias socio-científicas que aparecen en noticias de internet, periódicos y en televisión se pueden utilizar como actividades para dar al alumnado una imagen neutral de la ciencia, adquieran una alfabetización científica e interioricen mejor los contenidos que se han tratado sobre ese tema (Moreno & Rut Jiménez-Liso, 2012).

2.2.3 Trabajos de aprendizaje basado en proyectos y enseñanza de la genética

Como se ha mencionado anteriormente los conceptos de genética suponen un reto para el alumnado debido a que se requiere la integración de conceptos abstractos y complejos.

Distintos autores han trabajado sobre el aprendizaje basado en proyectos y han realizado tareas y actividades para que el alumnado adquiera los conocimientos necesarios para superar el temario en cuestión. El ABP motiva al alumnado a participar en cuestiones científicas que se encuentran en su vida diaria pero además desarrolla otras habilidades como el pensamiento crítico, el realizarse preguntas, tomar decisiones y solucionar problemas.

Casanoves junto con otros autores en 2017, trabajo el aprendizaje basado en proyectos en el tema de genética. Para realizar este proyecto y que el alumnado adquiriera los conocimientos necesarios sobre la genética planteo un caso forense al que se denominó “El caso Recal” para el cual el estudiantado no había sido preparado. Los alumnos y alumnas adoptaron el papel de oficial de policía forense de una investigación, de manera que el alumnado era el protagonista del proceso de aprendizaje.

Este caso tenía como objetivo principal enseñar conceptos de genética básicos ofreciendo al alumnado la oportunidad de aprender en un contexto realista que mejora

la adquisición y la aplicación de conocimientos. Al comienzo de este proceso el profesor o profesora tiene un papel importante para guiar a los y las estudiantes en el proceso de indagación, la resolución de problemas y en el aprendizaje auto-dirigido (Casanoves et al., 2017).

La conclusión de Casanoves y los otros investigadores en 2017 fue que el alumnado con este proyecto alcanzó el aprendizaje que se pretendía conseguir. La actividad se desarrolló con normalidad y el alumnado obtuvo altas calificaciones en los cuestionarios realizados durante las tareas del proyecto.

Duncan junto con Tseng en 2011, diseñaron otro trabajo sobre aprendizaje basado en proyectos sobre la temática de genética, pero se centraron más en la genética molecular. La investigación de este proyecto fue sobre una enfermedad genética hereditaria, la llamada hipercolesterolemia familiar. Eligieron esta enfermedad debido a que es un problema de salud muy grave en Estados Unidos y el alumnado se encontraba muy familiarizado con esta enfermedad.

En la unidad didáctica lo que se quería era conseguir que los y las estudiantes exploraran los trastornos de la enfermedad y ver que componente del individuo era el causante de esta enfermedad. Es decir, el alumnado comienza su investigación desde un nivel general, el organismo, y va investigando poco a poco hasta llegar al causante de la enfermedad, los genes (Duncan & Tseng, 2011).

Para el diseño de esta actividad, Duncan y su compañero Tseng tomaron 12 pacientes imaginarios que presentaban la enfermedad que causa hipercolesterolemia familiar. A pesar que estos pacientes son imaginarios, los datos que se proporcionaban a los alumnos y alumnas, tanto informativos como estadísticos, para el desarrollo de la actividad eran datos que a efectos prácticos tienen el mismo valor que los datos de la realidad.

Al igual que en el proyecto anterior, estos investigadores comprobaron que mediante esta actividad de aprendizaje basado en proyectos el alumnado sufría un crecimiento en la comprensión de la genética molecular y los fenómenos genéticos (Duncan & Tseng, 2011).

El aprendizaje basado en proyectos está muy relacionado con los grupos cooperativos debido a que, para que el trabajo se desarrolle de forma adecuada se debe de realizar en grupo, pero teniendo en cuenta la importancia individual de cada miembro que lo compone (González et al., 2014).

Por ello, para el desarrollo de la unidad didáctica “Herencia mendeliana” se va a utilizar el ABP junto con los grupos cooperativos para que el alumnado adquiera de forma eficaz y profunda los conceptos que se le quiere transmitir.

3. PROYECCIÓN DIDÁCTICA

3.1 Introducción

La asignatura de Biología y Geología, en la cual se incluye conceptos de estas dos ramas de la ciencia, es muy importante. Esta asignatura es fundamental debido a que acerca más las ciencias al estudiantado y les permite comprender los fenómenos que pasan a su alrededor constantemente. La Biología y la Geología también hacen que el alumnado entienda mejor los nuevos avances científicos que ocurren, les permite comprender aquellas conversaciones que presentan vocabulario científico y hablar con el vocabulario que han adquirido a lo largo de la materia. Esta asignatura al alumnado le puede resultar muy interesante debido a que puede observar lo que han visto en clase en muchos momentos de su vida y pueden aplicar los conceptos aprendidos a situaciones que ocurren en su vida cotidiana.

En la presente unidad didáctica “Herencia mendeliana” se van a tratar distintos contenidos relacionados con este tema que son importantes para asentar una base de conocimientos en los y las estudiantes. Los contenidos de esta unidad didáctica se incluyen en el curso de 4º de la Educación Secundaria Obligatoria en la asignatura de Biología y Geología.

En 4º de ESO es donde el alumnado tiene contacto por primera vez con los conceptos científicos de genética. Es cierto que los y las estudiantes que acceden a este curso han tenido contacto con términos de genética mediante informativos, información en redes sociales, conversaciones entre familiares o gente cercana, pero estas situaciones pueden llevar a errores al alumnado, formándose así las ideas previas. Por esto, es importante eliminar en el estudiantado los conceptos equivocados con los que llegan a clase y transmitirles los contenidos veraces sobre genética.

Esta unidad didáctica sobre la herencia genética puede resultarles muy interesante debido a que aspectos de este tema lo pueden observarlos claramente el alumnado contemplándose a ellos mismos y comparándose con otros compañeros y compañeras de clase. Esta unidad didáctica les ayudara a comprender los conceptos básicos en genética y les ayudara a adentrarse más en esta rama científica que no para de evolucionar. También les va ayudar a comprender porque son únicos, pero son similares a sus familias. Entenderán la importancia de las enfermedades genéticas y como se puede predecir la probabilidad de que un descendiente presente esta enfermedad.

Este tema les puede resultar muy interesante debido a que para estudiar los nuevos conceptos a los que se enfrentan se necesitan ejemplos los cuales se pueden ver mediante imágenes. Además, el propio estudiantado puede presentar o ha podido observar y comprobar debido a personas cercanas a su círculo social estos ejemplos

genéticos. Esto hace que el conocimiento se adquiriera de una manera más significativa y los contenidos que se imparte sean más interesantes para el alumnado.

3.2 Legislación

A continuación, se mostrará de forma desglosada la legislación vigente que se usará para la elaboración de la unidad didáctica “Herencia mendeliana” para el curso de 4º de ESO.

3.2.1 Legislación nacional

La legislación nacional vigente es la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, (BOE-A-2020-17264). Se desarrolla en el siguiente Real Decreto:

- Real Decreto 1105/2014, del 26 de diciembre por el que se establece el currículo básico de la educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Este Real decreto se desarrolla en la siguiente Orden:
 - 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, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato.

3.2.2 Legislación autonómica

La legislación autonómica vigente es la Ley 17/2007, de 10 de diciembre, de duración de Andalucía (LEA). A continuación, se desarrollará la siguiente Ley:

- Decreto 182/2020, de 10 de noviembre, por el que se modifica parte del Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. El Decreto 111/2016, de 14 de junio se desglosa en la Orden:
 - Orden de 15 de enero de 2021, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre distintas etapas educativas.

3.3 Contextualización del centro y el aula. Características del alumnado

El centro educativo en el que se trataran estos contenidos que componen la unidad didáctica es el IES María Cabeza Arellano Martínez. Este instituto de enseñanza de secundaria se ubica en Mengíbar, un pueblo de la provincia de Jaén.

Mengíbar se sitúa en el centro-norte de la provincia de Jaén y presenta una extensión de 62,34 km² de territorio ondulado típico de la Campiña jienense. Esta población se encuentra a tan solo 24 km de la provincia de Jaén. Este pueblo de Jaén presenta tres ríos cercanos a la población que son el Guadalquivir, el Guadalimar y el Guadalbullón. Esta población ha llegado a presentar un equilibrio entre la agricultura y las industrias que han ido surgiendo en los últimos años.

La cultura tradicional de Mengíbar reside en raíces rurales. A pesar del aumento de las industrias, la sociedad sigue dependiendo de la agricultura propia de la campiña del Guadalquivir. Mengíbar presenta un patrimonio natural (destacan el cerro Albariza, Cortijo de Máquiz y el delta del Guadalbullón) y un patrimonio histórico-artístico (entre los que destacan la Torre, la cual es símbolo de este municipio, la casa palacio de los Señores De La Chica y la Casa de la Inquisición).

Mengíbar presenta una población de 9997 habitantes de los cuales el 24% son menores de 20 años (Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía), es decir, aproximadamente 2399 habitantes.

Estos datos son importantes y de interés para conocer mejor donde se localiza el centro y las características que este presenta.

3.3.1 Contextualización del centro

Este centro de enseñanza secundaria “María Cabeza Arellano Martínez” se localiza en el barrio de “San José Obrero” en la avenida Andalucía. El centro además se encuentra cerca del centro de salud, del auditorio municipal, del campo deportivo del pueblo y junto a uno de los tres colegios que posee Mengíbar, el “C.E.I.P. Santa María Magdalena”.

En este centro de enseñanza secundaria “María Cabeza Arellano Martínez” de Mengíbar se imparten clases de ESO, Bachillerato y Formación Profesional. Las clases se imparten de lunes a viernes de ocho de la mañana a dos y media de la tarde. Desde las ocho de la mañana hasta las once de la mañana se imparten tres clases. Transcurridos estas tres horas se realiza un descanso de media hora para volver a comenzar a las once y media las clases hasta las dos y media.

La composición de los cursos suele presentar 20 grupos de ESO, 6 grupos de Bachilleratos y 3 grupos de Formación Profesional. El alumnado total matriculado en cada curso suele rondar los 750 estudiantes. La mayoría de estos y estas estudiantes

proviene de Mengíbar, pero también hay alumnado proveniente de pueblos cercanos, entre ellos Cazalilla y Estación de Espeluy. El nivel socio-económico de las familias con hijos e hijas en el centro es medio.

El profesorado de este centro suele estar compuesto por 70 docentes. Entre estos docentes se encuentran en situación definitiva, otros en comisión servicios, interinos y contratados.

El centro cuenta con distintas infraestructuras. El IES “María Cabeza Arellano Martínez” cuenta con tres edificios con diversas aulas, salón de actos, gimnasio, cafetería y biblioteca entre otros elementos. Entre las distintas aulas, algunas son específicas como los talleres de tecnología y electrónica, los laboratorios física, química, biología y geología y otras clases que son específicas para determinadas asignaturas.

Este IES cuenta además con distintos recursos TIC que facilitan el proceso de enseñanza y aprendizaje, además ofrecen la posibilidad de realizar distintas actividades interactivas para afianzar los conocimientos impartidos.

3. 3. 2 Contextualización del aula

Las clases referentes a esta unidad didáctica serán impartidas en uno de los laboratorios de Biología y Geología con los que cuenta el centro de educación secundaria. Estos laboratorios presentan un gran tamaño, por ello, en la mitad del aula se encuentran mesas para poder seguir aquellas clases explicativas mientras que en la otra mitad se encuentran las mesas de laboratorio destinadas para el trabajo experimental que será llevado a cabo en clase.

Este laboratorio donde se llevarán a cabo las clases cuenta con distintos elementos para desarrollar las distintas unidades didácticas. El laboratorio cuenta con colecciones que tratan distintos temas del curso, maquetas del cuerpo humano, material de laboratorio y distintos elementos que permiten al alumnado acercarse más al ámbito científico.

3.3.3 Características del alumnado

Esta unidad didáctica será impartida a estudiantes de entre 15 y 18 años. Este estudiantado de 4º de ESO que han seleccionado el itinerario de ciencias serán los que verán la unidad didáctica de “Herencia mendeliana”. La rama de ciencias da lugar a dos grupos de unos 25 estudiantes cada uno.

La mayoría del alumnado de estos dos grupos en el futuro cursará el bachillerato de Ciencia y Tecnología, aunque algunos de los integrantes cambiarán al grupo de Humanidades y Ciencias Sociales. El alumnado presenta buena disposición para el proceso de enseñanza y aprendizaje, aunque en algunos conceptos es posible que necesiten más herramientas para comprender de forma adecuada el temario.

3.4 Contextualización de la Unidad Didáctica en el temario del curso

El alumnado de 4 ° de ESO en la asignatura de Biología y Geología darán 11 temas, los cuales contienen los contenidos que aparecen en la legislación, tanto nacional como autonómica. En estos contenidos se dan conceptos de Geología y Biología.

Los temas que darán a lo largo de este curso al alumnado de 4° de ESO serán:

- Tema 1: La tectónica de placas
- Tema 2: El relieve y la dinámica interna
- Tema 3: La historia de la Tierra
- Tema 4: La célula
- Tema 5: Genética molecular
- Tema 6: Genética mendeliana
- Tema 7: Genética humana
- Tema 8: Origen y evolución de la vida
- Tema 9: La estructura de los ecosistemas
- Tema 10: Dinámica de los ecosistemas
- Tema 11: Impacto de las actividades humanas en el medio ambiente

Estos temas se impartirán a lo largo del curso académico y cada uno tendrán distinto número de clases. Los temas 1, 2, 3, 9, 10 y 11 se impartirán en 9 clases cada uno. A los contenidos de los temas 4 y 8 le corresponderán 10 clases. Los temas restantes, el 5, 6 y 7, se impartirán en 11 clases cada uno.

A la asignatura de Biología y Geología de 4° de ESO le corresponden 3 horas semanales, las cuales serán impartidas los martes, jueves y viernes de cada semana. Teniendo en cuenta las horas semanales y los temas que son necesarios impartir esto da lugar al cronograma de la figura 17.

A los temas relacionados con genética se le han dado un mayor número de horas debido a que el alumnado presenta el primer contacto con los conceptos genéticos en este curso. Es importante que los y las estudiantes asimilen estos contenidos debido a que algunos de ellos serán la última vez que vean aspectos relacionados con este tema y otros necesitan una base importante en genética para afrontar los próximos cursos.

	Primer y último día del curso
	Fin de semana
	Día festivo
	Vacaciones de Navidad
	Vacaciones de Semana Santa
	Clases de Biología y Geología

	Días																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Septiembre																	1	1				1		1	1				1		
Octubre	1	1				1		2	2				2		2	2				2		2	2				2		3	3	
Noviembre			3		3	3				3		3	3				3		4	4				4		4	4				
Diciembre	4		4	4						4	4				5		5	5				5									
Enero												5		5	5				5		5	5				5		6	6		
Febrero		6		6	6				6		6	6				6		6	6				7		7	7					
Marzo		7		7	7				7		7	7				7		7	8				8		8	8					
Abril						8		8	8				8		8	8				9		9	9				9		9	9	
Mayo				9		9	9				10		10	10				10		10	10				10		10	10			
Junio	11		11	11				11		11	11				11		11	11													

Figura 17: Cronograma del curso 2020/2021.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Excel.

El primer día de clase coincide con el primer día de la asignatura de Biología y Geología, pero no se dará clase debido a que se les realizará a los y las estudiantes una presentación del nuevo curso y de los contenidos que van a estudiar a lo largo de este. A partir de este día si se comenzaran los contenidos que deben impartirse a este estudiantado. En el cronograma (Figura 17) aparece en cada día de clase un número que hace referencia al tema que se estará impartiendo en esa clase.

En referencia a la unidad didáctica “Herencia mendeliana”, se le dedicará 11 horas. Esta unidad didáctica se comenzará a impartir en enero y finalizará aproximadamente a mediados de febrero.

3.5 Objetivos

3.5.1 Objetivos de etapa

Los objetivos de etapa se encuentran en la Legislación nacional, en el Artículo 11, *Objetivos de la Educación Secundaria Obligatoria* del Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato.

La Educación Secundaria Obligatoria permite desarrollar al estudiantado distintas capacidades que les van a permitir:

- 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 (OE1).
- 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 (OE2).
- 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 (OE3).
- 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 (OE4).

- 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 (OE5).
- 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 (OE6).
- 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 (OE7).
- 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 (OE8).
- i) Comprender y expresarse en una o más lenguas extranjeras de manera apropiada (OE9).
- j) Conocer, valorar y respetar los aspectos básicos de la cultura y la historia propias y de los demás, así como el patrimonio artístico y cultural (OE10).
- 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 (OE11).
- l) Apreciar la creación artística y comprender el lenguaje de las distintas manifestaciones artísticas, utilizando diversos medios de expresión y representación (OE12).

Además de los objetivos descritos en el apartado anterior, la Educación Secundaria Obligatoria en Andalucía contribuirá a desarrollar en el alumnado las capacidades que le permitan:

- a) Conocer y apreciar las peculiaridades de la modalidad lingüística andaluza en todas sus variedades (OE13).
- 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 y en el marco de la cultura española y universal (OE14).

3.5.2 Objetivos de área

Según el Decreto 182/2020, de 10 de noviembre, por el que se modifica parte del Decreto 111/2016, de 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 establecen los siguientes objetivos del área de Biología y Geología en Andalucía:

1. Comprender y utilizar las estrategias y los conceptos básicos de la Biología y Geología para interpretar los fenómenos naturales, así como para analizar y valorar las repercusiones de desarrollos científicos y sus aplicaciones (OA1).
2. Aplicar, en la resolución de problemas, estrategias coherentes con los procedimientos de las ciencias, tales como la discusión del interés de los problemas planteados, la formulación de hipótesis, la elaboración de estrategias de resolución y de diseños experimentales, el análisis de resultados, la consideración de aplicaciones y repercusiones del estudio realizado y la búsqueda de coherencia global (OA2).
3. Comprender y expresar mensajes con contenido científico utilizando el lenguaje oral y escrito con propiedad, interpretar diagramas, gráficas, tablas y expresiones matemáticas elementales, así como comunicar a otras personas argumentaciones y explicaciones en el ámbito de la ciencia (OA3).
4. Obtener información sobre temas científicos, utilizando distintas fuentes, incluidas las tecnologías de la información y la comunicación, y emplearla, valorando su contenido, para fundamentar y orientar trabajos sobre temas científicos (OA4).
5. Adoptar actitudes críticas fundamentadas en el conocimiento para analizar, individualmente o en grupo, cuestiones científicas (OA5).
6. Desarrollar actitudes y hábitos favorables a la promoción de la salud personal y comunitaria, facilitando estrategias que permitan hacer frente a los riesgos de la sociedad actual en aspectos relacionados con la alimentación, el consumo, las drogodependencias y la sexualidad (OA6).
7. Comprender la importancia de utilizar los conocimientos de la Biología y Geología para satisfacer las necesidades humanas y participar en la necesaria toma de decisiones en torno a problemas locales y globales a los que nos enfrentamos (OA7).
8. Conocer y valorar las interacciones de la ciencia con la sociedad y el medio ambiente, con atención particular a los problemas a los que se

enfrenta hoy la humanidad y la necesidad de búsqueda y aplicación de soluciones, sujetas al principio de precaución, para avanzar hacia un futuro sostenible (OA8).

9. Reconocer el carácter tentativo y creativo de las ciencias de la naturaleza, así como sus aportaciones al pensamiento humano a lo largo de la historia, apreciando los grandes debates superadores de dogmatismos y las revoluciones científicas que han marcado la evolución cultural de la humanidad y sus condiciones de vida (OA9).
10. Conocer y apreciar los elementos específicos del patrimonio natural de Andalucía para que sea valorado y respetado como patrimonio propio y a escala española y universal (OA10).
11. Conocer los principales centros de investigación de Andalucía y sus áreas de desarrollo que permitan valorar la importancia de la investigación para la humanidad desde un punto de vista respetuoso y sostenible (OA11).

3.5.3 Objetivos didácticos

En esta unidad didáctica sobre la “Herencia mendeliana” se intentará que el alumnado adquiera los siguientes objetivos didácticos:

1. Conocer los conceptos fundamentales de genética como el termino gen, alelo, homocigoto, heterocigoto, dominante y recesivo (OD1)
2. Visualizar donde se localizan los genes en un cromosoma (OD2)
3. Saber los experimentos que llevo a cabo Mendel para el desarrollo de las leyes (OD3)
4. Explicar y diferenciar las leyes de Mendel (OD4)
5. Conocer casos genéticos especiales y los tipos de herencia ligada al sexo (OD5)
6. Aplicar las leyes de Mendel y la herencia ligada al sexo en casos prácticos y problemas genéticos reales (OD6)
7. Realizar y explicar árboles genealógicos (OD7)
8. Conocer los peligros y beneficios que puede conllevar la ingeniería genética (OD8)

3.6 Contenidos

Los contenidos que se impartirán en esta unidad didáctica aparecen en 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 este Real Decreto del 26 de diciembre de 2014 los contenidos referentes a la unidad didáctica “Herencia mendeliana” son los siguientes.

Contenidos conceptuales:

- Recordar los principales contenidos de la genética molecular (CC1)
- Relacionar las mutaciones con el proceso de evolución (CC2)
- Conocer e identificar el termino gen (CC3)
- Describir la herencia y la transmisión de caracteres a la descendencia (CC4)
- Enumerar las leyes de Mendel y aplicar estas leyes (CC5)
- Conocer la base cromosómica de las leyes de Mendel (CC6)
- Reconocer algunas técnicas y algunas aplicaciones de la Ingeniería Genética (CC7)

Contenidos procedimentales:

- Representar correctamente los genes en un cromosoma (CP1)
- Utilizar ejemplos para incorporarlos a la explicación de las leyes de Mendel (CP2)
- Realizar problemas relacionados con las leyes de Mendel (CP3)
- Crear arboles genéticos (CP4)
- Construir un proyecto final con los conocimientos adquiridos (CP5)

Contenidos actitudinales:

- Esfuerzo para entender la unidad didáctica y apreciación de las explicaciones del docente y de otros estudiantes (CA1)
- Interés por la adquisición de los contenidos (CA2)
- Respeto por el material con el que trabaja (CA3)
- Respeto hacia los compañeros y compañeras y las intervenciones que estos realizan (CA4)
- Concienciación de los problemas bioéticos que conlleva el mal uso de la ingeniería genética (CA5)

3.7 Competencias clave

Las competencias clave son los conocimientos, pensamientos, valores y habilidades que presentan las personas en distintos ámbitos de la vida cotidiana y estas competencias las deben de ser adquiridas por el alumnado para demostrar su capacidad para afrontarse a la vida.

En la legislación vigente, Real Decreto 1105/2014, del 26 de diciembre, y en concreto en la Orden ECD/65/20015, 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, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. En esta orden aparecen las competencias clave que debe adquirir el alumnado. Estas competencias claves del currículo son las siguientes:

- a) Comunicación lingüística.
- b) Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología.
- c) Competencia digital.
- d) Aprender a aprender.
- e) Competencias sociales y cívicas.
- f) Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor.
- g) Conciencia y expresiones culturales.

Las competencias que tratara el alumnado del curso 4º de ESO durante esta unidad didáctica serán las siguientes:

1. Comunicación lingüística (CCL):

Esta competencia es el resultado de la acción comunicativa en prácticas sociales. En esta competencia el alumnado no solo recibe mensajes, sino que el mismo es el que emite mensajes.

Esta competencia se trabajará durante los debates que se llevaran a cabo en clase, en los grupos de trabajo y en la última sesión durante la exposición que el alumnado deberá realizar.

2. Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT):

En una sociedad donde las ciencias son determinantes es importante que el alumnado adquiera la capacidad de tomar decisiones y una serie de conductas para afrontarse a ellas.

La competencia matemática implica la capacidad de aplicar el razonamiento matemático y otras herramientas para solucionar problemas los cuales necesitan formulas y razonamiento numérico.

Esta competencia se va a usar para el estudio de las leyes de Mendel debido a que, para comprenderlas y asimilarlas, se necesitan proporciones para determinar la cantidad de individuos que presentan distintos caracteres y distintos genotipos.

Las competencias básicas en ciencia y tecnología son las que proporcionan la interacción y el acercamiento con el mundo físico. Estas competencias ayudan al desarrollo del pensamiento científico.

Estas competencias se van a desempeñar y a desarrollar a lo largo de todas las sesiones de esta unidad didáctica

3. Competencia digital (CD):

La competencia digital es aquella que usa la creatividad, la crítica y la seguridad de las tecnologías de la información y comunicación. Esta competencia requiere de otros conocimientos para poder desarrollarla de forma adecuada.

Esta competencia se va a desarrollar en varias sesiones de este tema debido a que el estudiantado deberá buscar en recursos web distinta información y además deberán realizar una presentación al final de la unidad para explicar el proyecto de investigación realizado.

4. Aprender a aprender (CPAA):

Esta competencia se caracteriza por la habilidad para iniciar, organizar y persistir en el aprendizaje. Esto conlleva que el alumnado presente la motivación suficiente para aprender.

Esta competencia se desarrollará en aquellas actividades que implique por parte del estudiantado trabajo autónomo.

5. Sentido de iniciativa y espíritu emprendedor (SIE):

Esta competencia implica la capacidad de transformar las ideas en actos. El alumnado debe adquirir la conciencia de la situación en la que debe intervenir o resolver un problema para alcanzar un objetivo.

Esta competencia se trabajará en la última actividad en la cual el alumnado se convertirá en un comité de expertos y deberán resolver una serie de casos para alcanzar un objetivo, un árbol genealógico de una familia que presentan una determinada enfermedad genética.

3.8 Metodología y actividades

La unidad didáctica “Herencia mendeliana” se impartirá en el segundo trimestre. Comenzará el 28 de enero y finalizará el 19 de febrero. Esta unidad didáctica contara con 11 sesiones en la cual se impartirán los contenidos de esta unidad (Figura 18).

		Fin de semana					
		Clases de Biología y Geología					

	Unidad didáctica: Herencia mendelina						
Enero	25	26	27	28	29	30	31
				Ideas previas y vídeo	Trabajo y Kahoot		
Febrero	1	2	3	4	5	6	7
		Mendel y cuestionario		Trabajo en grupo	Compara y contrasta		
	8	9	10	11	12	13	14
		Actividad sobre genes		Cuestionario herencia sexo	Vídeo y ejercicios		
	15	16	17	18	19	20	21
		Investigación		Presentación	Exposición		

Figura 18: Unidad didáctica “Herencia mendeliana” del curso 2020/2021.

Fuente: Elaboración propia mediante el programa Excel.

El tipo de metodología que se llevará a cabo es ABP junto con algunas sesiones de grupo cooperativo. El ABP se basará en una actividad en la que el alumnado se convertirá en médicos expertos en enfermedades genéticas. En cuanto a los grupos cooperativos serán actividades genéricas (por ejemplo, compara y contrasta) en las que se trabajara en grupo para facilitar una mejor adquisición de los contenidos y para trabajar la educación en valores mejorando el trabajo cooperativo.

3.8.1 Sesiones

A continuación, se expondrán todas las sesiones que se llevarán a cabo en esta unidad didáctica. Todas las sesiones presentan una duración de 60 minutos, pero se han programado para 55 minutos por si fuese necesario dedicarle más minutos a alguna actividad o por si surge algún contratiempo en el aula.

Sesión 1: Ideas previas y vídeo:

Esta sesión comenzará el día 28 de febrero del curso 2020/2021 (jueves) y será la primera clase de la unidad didáctica “Herencia mendeliana”.

En esta sesión, en primer lugar, se realizará una lluvia de ideas para saber los conocimientos y las ideas previas con las que parte el alumnado. A esta actividad se le dedicarán unos 15 minutos para que todo el alumnado participe y opinen sobre el tema del que aprenderán durante las siguientes semanas. Ya que, en las sesiones anteriores, se habló y se hizo referencia al tema de genética molecular, el docente habrá explicado algunos conceptos de genética los cuales pueden hacer que la actividad sea más interesante y productiva, ya que los alumnos y alumnas parten con una base en este tema.

Tras la realización de esta actividad el docente dedicara 10 minutos a realizar una pequeña introducción sobre el tema de la herencia genética y hablar sobre los contenidos que se van a impartir y aprender durante esta unidad didáctica.

Una vez transcurridos estos minutos, el alumnado visualizara un vídeo (Vídeo 1) del que deben de extraer una serie de conceptos: gen, alelo, cromosoma y locus. Además, deberán de representar estos elementos en un cromosoma (Anexo 1).

Esta sesión finalizara cuantos todos los miembros del grupo localicen los conceptos y completen la actividad propuesta por el profesor o profesora. Es necesario que hayan entendido todos los conceptos de esta sesión de una manera adecuada debido a que estos conceptos son la base para el resto de sesiones.



Vídeo 1: Conceptos fundamentales en genética.

Fuente: YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=VqA7zbAezxI>

Para esta actividad planteada se dedicarán 10 minutos, 5 minutos para la visualización del vídeo y redactar las definiciones y otros 5 minutos para comentar el vídeo y corregir las definiciones.

A continuación, durante unos 20 minutos se realizará un debate en el cual los alumnos y alumnas expondrán sus argumentos de porque consideran que esta rama de la biología es importante y que problemas bioéticos creen que pueden suponer la genética. Realizaran un breve resumen los 5 minutos restantes sobre lo extraído en este debate y lo guardaran para compararlo con otro debate que se realizara al final del tema para ver si su opinión sobre esta rama de la ciencia ha cambiado y sus conocimientos se han ampliado.

Sesión 2: Trabajo y Kahoot:

La segunda sesión se impartirá el día 29 de enero en unas de las aulas de informática del centro debido a que los y las estudiantes deberán realizar un trabajo autónomo mediante el uso de recursos web.

El docente ofrecerá una serie de páginas y recursos web en las que deberán extraer y encontrar la información necesaria para responder un cuestionario en el cual deben buscar conceptos como genotipo, fenotipo, alelo dominante, alelo recesivo, individuo homocigoto e individuo heterocigoto y definirlos con sus propias palabras (Anexo 2). Aprovechando que el alumnado se encuentra en el aula de informática se repasaran estos conceptos mediante una actividad web. Para la realización de estas actividades cuentan con 30 minutos.

Una vez transcurridos estos minutos se le explicara al alumnado una serie de caracteres dominantes y recesivos que presentan las personas y se calculara las proporciones fenotípicas de estos rasgos en el grupo de clase (Anexo 3). Para la realización de estas actividades se necesitarán 15 minutos de la sesión. Esta sesión les

resultara interesante ya que pueden ver por sí mismos como la genética da lugar a diferencias entre los individuos.

Para finalizar la clase se realizará un Kahoot para comprobar que estos conceptos previos han sido comprendidos y el docente puede adentrarse en el siguiente contenido, las leyes de Mendel.

Sesión 3: Mendel y cuestionario:

Esta tercera sesión se impartirá el día 2 de febrero. En ella el docente los primeros treinta minutos hará una introducción a las leyes de Mendel. Para ello explicara quien fue Gregor Mendel, un poco de su vida, porque trabajo con la especie *Pisum Sativum* (guisante) y los experimentos que realizo hasta redactar las leyes de Mendel. Se les hablara también de los siete caracteres que estudio Mendel en la planta del guisante: altura de la planta, posición de la flor, color de la flor, morfología del guisante, color del guisante, morfología de la vaina y color de la vaina.

En los próximos 10 minutos, tras la explicación del docente, se le planteara al estudiantado un cuestionario, del cual solo deben responder las dos primeras cuestiones (Anexo 4). La primera que escriban el genotipo de un individuo homocigoto dominante y de un individuo homocigoto recesivo. La segunda cuestión será que digan el genotipo de un individuo heterocigoto. Esto ayudara a los alumnos y alumnas en los siguientes 15 minutos debido a que se explicara la primera ley de Mendel, la ley de la uniformidad, en la cual se explica que ocurre cuando se cruza un individuo homocigoto dominante con un homocigoto recesivo. Se les enseñara a realizar un cuadro de Punnett y a completarlo de forma correcta mediante una serie de reglas para nombrar el genotipo del individuo que son:

- Presentar siempre el alelo dominante con una letra mayúscula y el alelo recesivo con una letra minúscula.
- En individuos heterocigotos escribir primero el alelo dominante (mayúscula) y luego el recesivo (minúscula).

El docente también les enseñara a extraer las proporciones fenotípicas y las genotípicas.

Sesión 4: Trabajo en grupo:

Esta sesión será impartida el 4 de febrero tras haber explicado la primera ley de Mendel y dar unas nociones básicas de cómo se deben realizar los cruzamientos el alumnado realizara un trabajo autónomo para completar la segunda y la tercera Ley de Mendel, la ley de la segregación y la ley de la independencia de los caracteres respectivamente. En esta sesión se le entregara al alumnado un cuestionario en el cual deberán rellenar una serie de datos que les permitirá recoger las tres leyes de Mendel. En primer lugar, deberán realizar la primera ley de Mendel para refrescar los contenidos

aprendidos el día anterior y en segundo lugar deberán realizar las dos leyes de Mendel por ellos mismos (Anexo 5).

Para esta sesión se harán grupos cooperativos heterogéneos que permitan al alumnado ayudarse para la realización de esta tarea. El alumnado tiene 40 minutos para la realización de esta actividad. Se hará hincapié en que sigan las normas que se vieron en la sesión anterior para nombrar el genotipo del individuo para que sea más sencillos solucionar el cuestionario.

Se les entregara un cuestionario a cada alumno y un cuestionario igual para el grupo de trabajo. El cuestionario de grupo se debe entregar transcurridos los 40 minutos y una vez que el alumnado haya llegado a un consenso, para que el docente posteriormente evalué el trabajo del grupo cooperativo. En los 15 minutos restantes el docente explicara las dos leyes de Mendel y las posibles dudas que surjan mientras que el alumnado en su cuestionario individual puede corregir y hacer anotaciones de los errores que haya podido cometer.

Sesión 5: Compara y contrasta:

Esta sesión será impartida el día 5 de febrero. En esta sesión mediante el uso de una pizarra digital se irán mostrando y solucionando una serie de casos en los que el estudiantado debe decir a que ley de Mendel correspondería y cuáles serían las proporciones de los genotipos y fenotipos. A esto se le dedicara 15 minutos debido a que los últimos casos no van a ser casos de las leyes de Mendel, sino que van a ser casos sobre circunstancias genéticas especiales, como la codominancia y la herencia intermedia.

Cuando el alumnado visualice el caso se debe percatar de que la descendencia obtenida no es la esperada debido a que no presenta similitud con ninguno de los progenitores. Se le hará al alumnado una serie de cuestiones para saber que está ocurriendo en estos casos. Se dedicarán 25 minutos a hablar sobre la codominancia y la herencia intermedia para explicarlas y poner ejemplos sobre ellas para que el estudiantado interiorice el contenido. También se preguntará al alumnado si estos tipos de casos genéticos especiales siguen las leyes de Mendel y que proporción (la fenotípica) es la que se ve afectada en este caso.

En los últimos 15 minutos el alumnado realizara un compara y contrasta sobre la codominancia y la herencia intermedia mediante los grupos cooperativos para que así este compara y contrasta sea más productivo y beneficioso para el alumnado (Anexo 6).

Sesión 6: Actividad sobre genes

En esta sesión 6 que se impartirá el día 9 de febrero se tratará el contenido de la “base cromosómica de las leyes de Mendel”. En los primeros 25 minutos de clase el docente hablara sobre la teoría cromosómica de la herencia y los investigadores que

desarrollaron esta teoría. Se hablará sobre los puntos más importantes de esta teoría, como que los portadores de los genes son los cromosomas, los genes ocupan un lugar específico en estos (locus) y sobre los cromosomas homólogos. Al alumnado también se le contará lo importante que es el organismo *Drosophila melanogaster* (mosca del vinagre) para la experimentación en esta rama de conocimiento científico.

Transcurridos estos minutos se comenzará hablar sobre los genes ligados. Se les preguntará a los alumnos y alumnas si creen que en el caso de la tercera ley de Mendel los genes se encontraban en el mismo cromosoma o en diferentes y que argumentos presentan para defender su pensamiento. Se generará un pequeño debate de 10 minutos sobre este tema y una vez finalizado el debate se les entregará un documento (Anexo 7).

En el documento deberán representar tres células que porten los siguientes genes, una con genes independientes, otra con genes ligados y otra célula que presente cromosomas ligados, pero se haya producido una recombinación. Una vez realizadas estas células deben presentar la descendencia de estas y ver que gametos dan lugar cada una de estas células. Para el desarrollo de esta actividad tendrán 15 minutos. Esta actividad les hará comprender cómo cambian los descendientes de dos individuos dependiendo de si los genes se encuentran en el mismo cromosoma o en diferente. También les hará entender cómo cambian los gametos si ha ocurrido una recombinación.

Sesión 7: Cuestionario herencia del sexo:

El día 11 se llevará a cabo la explicación la herencia del sexo. Para ello se realizará cinco grupos cooperativos con 5 grupos cada uno. Se verán 5 tipos distintos de herencia del sexo; el sistema XX/XY, el sistema ZZ/ZW, el sistema XX/XO, determinación por cromosomas autosómicos y la determinación ambiental. Cada miembro del grupo leerá a los compañeros de su grupo su herencia del sexo, el siguiente miembro debe explicar lo que el compañero acaba de leer y tras explicarlo debe leer la herencia del sexo que le ha tocado. Para el desempeño de esta actividad se usarán 20 minutos de la sesión.

Cuando todo el alumnado haya leído su herencia y explicado alguna de las de sus compañeros deberán realizar un resumen de todas de forma individual que deberán entregar al docente para evaluarlo más tarde. Para la realización del resumen se dedicarán 20 minutos.

Por último, con el uso de la pizarra digital o de un proyector se le pasará al alumnado un cuestionario con unas preguntas para comprobar que efectivamente estos tipos de herencia del sexo han quedado claros. Las actividades propuestas se realizarán en aproximadamente 15 minutos.

Para finalizar la clase, durante los 20 minutos restantes, se comentará también ejemplos sobre la determinación ambiental y como creen ellos que puede afectar el cambio climático a estas especies.

Sesión 8: Vídeo y ejercicios:

En esta sesión que se llevará a cabo el día 12 de febrero, el docente explicará en los primeros 15 minutos lo que es un cariotipo, los cromosomas autosómicos y los cromosomas sexuales.

A continuación, se dedicarán 30 minutos para ver un vídeo (Vídeo 2) sobre la herencia ligada al sexo y realizar una serie de ejercicios para que al alumnado interiorice y comprenda los contenidos impartidos.



Vídeo 2: Herencia ligada a sexo.

Fuente: YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=nXeBRwaN2Yg>

En los últimos 10 minutos de la sesión se le introducirá al alumnado la actividad ABP que se llevará a cabo en las próximas sesiones. El alumnado deberá realizar en su grupo cooperativo una serie de casos prácticos de los contenidos que se han ido viendo a lo largo de la unidad didáctica. Para ello este grupo cooperativo se va a transformar en un equipo médico especializado en las enfermedades genéticas hereditarias más frecuentes en la población.

Sesión 9: Investigación:

El día 16 de febrero los alumnos y alumnas se transformarán en un grupo de médicos. Esta primera sesión del ABP será llevada a cabo en el aula de informática. Se dedicará toda la sesión a la resolución de tres casos prácticos con los que se trabajará el resto de las sesiones.

Se formarán 5 grupos cooperativos y a cada grupo se le darán tres casos diferentes de enfermedades genéticas hereditarias (Anexo 8). En todos los grupos habrá casos diferentes, pero en todos habrá:

- Enfermedad hereditaria ligada al sexo. En algunos casos se verá afectado el gen X y en otros el gen Y.
- Enfermedad causada por un gen autosómico dominante
- Enfermedad causada por un gen autosómico recesivo.

En esta sesión el alumnado debe resolver estos tres casos prácticos e investigar sobre los árboles genealógicos. El alumnado realizará la resolución de estos casos prácticos en árboles genealógicos y para ello deberán buscar cómo se representan a las mujeres y a los hombres en estos. También deberán investigar sobre cómo se representan a los individuos que presentan la enfermedad, son portadores o no presentan la enfermedad.

Sesión 10: Presentación:

Esta sesión también se llevará a cabo en el aula de informática para que el alumnado finalice sus casos y realice una presentación sobre los casos resueltos que en la última sesión deberá exponer. Durante toda la sesión los alumnos y alumnas trabajaran en el desempeño de esta actividad.

En la resolución de los casos debe aparecer que tipo de herencia genética es y porque el grupo de expertos en enfermedades genéticas hereditarias ha llegado a esa conclusión. Deberá de aparecer el árbol genealógico representado correctamente, con los genotipos y los fenotipos.

Esta presentación la deben realizar entre todos los miembros del grupo y después la presentara todo el equipo al resto de compañeros.

Sesión 11: Exposición:

En esta última sesión, el día 19 de febrero, se realizarán las exposiciones del alumnado. Cada grupo de expertos dispondrá de 8 minutos de presentación. En estos minutos deberán realizar la resolución de sus tres casos y comentar por qué piensan que a ese caso le corresponde esa herencia.

El resto de sesión se realizará un debate sobre esta rama de la biología, la genética, como se hizo al comienzo de esta unidad didáctica. En este debate se comentará si su percepción sobre la genética ha cambiado a lo largo de estas sesiones y si creen que aparte de beneficios la ciencia también puede provocar perjuicios. Se hablará de algunas cuestiones bioéticas en relación con la genética como las niñas modificadas genéticamente a partir de CRISPR- Cas9, la clonación y otros aspectos genéticos de los que se habla a menudo en la sociedad (Anexo 9).

3.8.2 Situación y medidas COVID-19

Este año, junto con el pasado, ha sido un reto para los centros educativos debido a la situación que ha acontecido. El año 2020 se tuvieron que cortar las clases para evitar el aumento de casos a causa del virus SARS-CoV-2.

Este año si se ha permitido el regreso a clases, pero con diversas medidas de seguridad para no poner en riesgos la salud del alumnado, del profesorado y de las familias ambos.

Esta unidad didáctica se ha planteado de tal manera que se pueda desarrollar en unas condiciones lo más normales posibles. Aunque se trabaje en grupos cooperativos se ha pensado en una distribución de las mesas mediante la cual los miembros de la clase guarden la distancia de seguridad para trabajar en grupo (Figura 19). En estos grupos de trabajo se ha pensado también en distintos cargos para cada miembro del grupo:

- El guardián o la guardiana: Se hará cargo de que su grupo respete las normas de seguridad y guarden la distancia entre ellos y otros grupos. También se encargará de que su grupo desinfecte el material usado y recordará que apliquen desinfectante en sus manos.
- Los informáticos o las informáticas: Serán los encargados de usar los ordenadores y plasmar las ideas a las que se ha llegado durante las sesiones. Su grupo será el encargado de dictarle las ideas, elegir los diseños y dar ideas sobre donde puede buscar la información, pero solo los informáticos serán los encargados de manejar los ordenadores.
- El escritor o la escritora: Sera el encargado de redactar aquellos documentos del grupo que se deben entregar al docente.
- El portavoz o la portavoz: Sera el que transmita las dudas del grupo al docente.

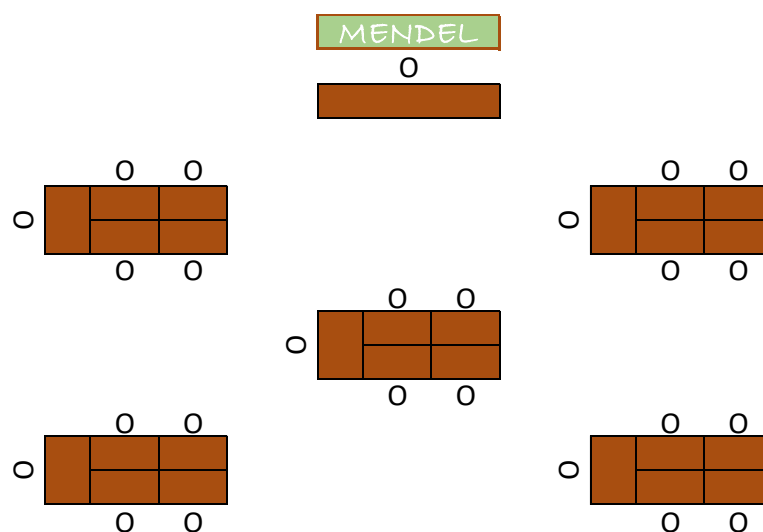


Figura 19: Estructura de clase COVID-19.

Fuente: Elaboración propia con el programa Excel.

Para el día de la exposición cada grupo de clase expondrá delante de la clase, pero el profesor o profesora será el encargado de pasar la presentación. El alumnado deberá mandarle sus proyectos en la sesión 10 al docente para exponerlos en la sesión 11.

Con estas medidas se intentará actuar con la mayor normalidad posible para impartir esta unidad didáctica y sin que el alumnado pierda mucha relación con los compañeros y compañeras.

En caso de que fuese necesario confinar al curso de 4 de la ESO o a parte del alumnado que lo compone se pasaran todos los documentos necesarios a la plataforma Moodle para que el alumnado que se encuentre confinado siga con la mayor normalidad posible la unidad didáctica que se desea impartir. Se realizarán estas sesiones de manera no presencial mediante el uso de alguna plataforma como Moodle o Meet que permita dar la lección de forma telemática y al mismo tiempo la creación de salas de trabajo las cuales puede visitar el docente para ayudar al alumnado.

Estas medidas harán posible la docencia durante esta situación la cual dificulta la enseñanza, la interacción del alumnado entre si y la interacción del alumnado con los profesores y profesoras.

3.9 Evaluación

Es importante evaluar al alumnado en el proceso de enseñanza-aprendizaje para saber si este ha adquirido los conocimientos de la unidad didáctica que se ha impartido.

Para la evaluación se utiliza la legislación vigente, la que aparece en el Real Decreto 1105/2014, del 26 de diciembre por el que se establece el currículo básico de la educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. En esta legislación aparecen los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje correspondientes al curso de 4º de ESO de la asignatura de Biología y Geología.

3.9.1 Criterios de evaluación y estándares de aprendizaje

En la siguiente tabla (Tabla 1) se presentarán los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje correspondientes a los contenidos (epígrafe 3.6) y a la unidad didáctica “Herencia mendeliana” según el Real Decreto 1105/2014 del 26 de diciembre.

Criterios de evaluación	Estándares de aprendizaje
1. Formular los principios básicos de Genética Mendeliana, aplicando las leyes de la herencia en la resolución de problemas sencillos (CE1).	1.1 Reconoce los principios básicos de la Genética mendeliana, resolviendo problemas prácticos de cruzamientos con uno o dos caracteres.
2. Diferenciar la herencia del sexo y la ligada al sexo, estableciendo la relación que se da entre ellas (CE2).	2.1 Resuelve problemas prácticos sobre la herencia del sexo y la herencia ligada al sexo.
3. Conocer algunas enfermedades hereditarias, su prevención y alcance social (CE3).	3.1 Identifica las enfermedades hereditarias más frecuentes y su alcance social.
4. Planear, aplicar e integrar las destrezas y habilidades propias del trabajo científico (CE4).	4.1 Integra y aplica las destrezas propias de los métodos de la ciencia.
5. Elaborar hipótesis y contrastarlas a través de la experimentación o la observación y argumentación (CE5).	5.1 Utiliza argumentos justificando la hipótesis que propone.
6. Discriminar y decidir sobre las fuentes de información y los métodos empleados para su obtención (CE6).	6.1 Utiliza diferentes fuentes de información apoyándose en las TIC, para la elaboración y presentación de sus investigaciones.
7. Participar, valorar y respetar el trabajo individual y en grupo (CE7).	7.1 Participa, valora y respeta el trabajo individual y grupal.
8. Presentar y defender en público el proyecto de investigación realizado (CE8).	8.1 Expresa con precisión y coherencia tanto verbalmente como por escrito las conclusiones de sus investigaciones.

Tabla 1: Criterios de evaluación y estándares de aprendizaje de la unidad didáctica “Herencia mendeliana”.

Fuente: Elaboración propia con el programa Excel.

En el Anexo 10 se muestra una tabla relacionando las actividades que se realizarán en las sesiones con los objetivos, contenidos, competencias y criterios de evaluación.

3.9.2 Criterios de calificación e instrumentos de evaluación

En la siguiente tabla (Tabla 2) se presentará por medio de una lámina los criterios de calificación del alumnado. Los instrumentos de evaluación serán cada uno de los trabajos y las actividades que irán desempeñando a lo largo de las sesiones de esta unidad didáctica.

	Excelente	Bien	Regular	Mal
Definiciones básicas sobre genética	Ha contestado todas correctamente	Ha contestado correctamente a la mayoría	Ha contestado erróneamente a la mayoría	No ha contestado
Cuestionario Conceptos básicos Mendel	Correctas todas las cuestiones	Correctas la mayoría de las cuestiones	Incorrectas la mayoría de las cuestiones	No ha realizado las cuestiones
Kahoot 12 preguntas	12 preguntas acertadas	8-11 preguntas correctas	4-7 preguntas correctas	0-3 preguntas correctas
Preguntas genotipos	Realiza correctamente todas las preguntas	Realiza la mayoría de forma correcta	Realiza la mayoría de forma errónea	No ha realizado las cuestiones
Leyes Mendel cooperativo	Participa y entrega correctamente las cuestiones	Participa pero no contesta a todas correctamente	Sin buena disposición en la participación y con errores	No ha participado en el cooperativo
Compara y contrasta	Desarrollo bien la actividad	Desarrollo bien la actividad pero con algunos fallos	Desarrollo la actividad mal	No presenta la actividad
Representación de cromosomas en células	Presenta correctamente todas las células	Presenta las células con algunos errores	Presenta las células con muchos errores	No presenta la actividad
Resumen Herencia del sexo	Presenta un buen resumen	Presenta un resumen aceptable	Presenta un mal resumen	No entrega el resumen
Casos prácticos	Todos los casos son correctos	Han cometido un error en algún caso	Ha cometido errores en todos los casos	No participa en los casos prácticos
Trabajo en grupo	Trabaja y respeta al grupo	La mayoría del tiempo trabaja y respeta	La mayoría del tiempo no trabaja ni respeta	No trabaja ni respeta al grupo
Presentación y árboles genealógicos	Diseño y árboles bien realizados	Diseño y árboles con algunos errores	Diseño y árboles con muchos errores	No participa en la presentación
Exposición	Expone bien y con seguridad	Expone bien pero falta seguridad	Expone regular y sin seguridad	No expone
Respeto durante las exposiciones	No interrumpe y está atento a sus compañeros	No interrumpe y está atento a sus compañeros la mayor parte del tiempo	Interrumpe y está no esta atento a sus compañeros	No respeta a los compañeros durante la exposición

Tabla 2: Criterios de calificación e instrumentos de evaluación.

Fuente: Elaboración propia con el programa Excel.

Cada uno de estos trabajos presenta una determinada ponderación que se encuentra en la siguiente tabla (Tabla 3). Si el trabajo se ha calificado como mal no se reciben puntos. Si el trabajo es excelente recibe toda la nota correspondiente a ese trabajo, si está bien recibe dos tercios de la nota total y si esta regular un tercio de la nota total.

	Porcentaje nota final
Definiciones básicas sobre genética	5%
Cuestionario Conceptos básicos Mendel	10%
Kahoot	5%
Preguntas genotipos	5%
Leyes Mendel cooperativo	15%
Compara y contrasta	2%
Representación de cromosomas en células	2%
Resumen Herencia del sexo	4%
Casos prácticos	15%
Trabajo en grupo	5%
Presentación y árboles genealógicos	10%
Exposición	20%
Respeto durante las exposiciones	2%
	100%

Tabla 3: Ponderación de cada actividad realizada durante esta unidad didáctica.

Fuente: Elaboración propia con el programa Excel.

3.9.3 Alumnado con la unidad didáctica pendiente:

Los alumnos y alumnas que no superen la unidad didáctica “Herencia mendeliana” deberán entregar en la ordinaria aquellas actividades las cuales no ha logrado superar. En el caso de que suspenda el trabajo sobre casos prácticos deberá presentar únicamente uno de los casos en los que su grupo trabaje. En él también deberá realizar una presentación y exponerla.

Si no consiguiera superar tampoco de esta forma la unidad didáctica deberá presentarse a un examen final el cual se le evaluará de los contenidos que se han tratado en este temario junto con aquellas unidades didácticas que el alumno o alumna no haya podido superar con éxito durante el curso académico 2020/2021.

3.10 Elementos curriculares complementarios

3.10.1 Medidas para el alumnado con necesidades

La normativa vigente sobre programas de adaptación curricular se encuentra en la sección 5 de la Orden del 15 de enero de 2021, por la que se desarrolla el currículo

correspondiente a la etapa de Educación Secundaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la diversidad, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre distintas etapas educativas. Esta orden forma parte del Decreto 182/2020, de 10 de noviembre, en el que se modifica parte del Decreto 111/2016, de 14 de junio, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía.

Si a lo largo de esta unidad didáctica “Herencia mendeliana” se encuentra algún miembro o algunos miembros de clase que presenten dificultad para entender las sesiones que se realizan, se procederá a efectuar una adaptación curricular. A este alumnado se les ofrecerá distintos recursos que les facilitará la comprensión de la unidad didáctica que se esté impartiendo en esos momentos, como, por ejemplo, explicaciones más visuales y formas de realizar los problemas de manera más sencilla (Anexo 11) para que entiendan bien la base de estos y luego poder enfrentarse a otros más complejos. También se le ofrecerá bibliografía que resulte asequible de entender y le ayude a comprender el tema (Anexo 12).

Si se encontrasen alumnos o alumnas con altas capacidades se les ofrecerán recursos los cuales les permitan avanzar, explorar y profundizar más sobre el tema que estén tratando.

3.10.2 Transversalidad

En esta unidad didáctica se trabajará una educación transversal ya que en algunas de las actividades propuestas se tratarán distintos aspectos transversales.

En el transcurso de estas sesiones se trabajarán otros aspectos como la educación en valores debido a que el alumnado al trabajar en grupo debe respetarse, debe ayudarse para llegar a un objetivo común, respetar las opiniones del resto, escuchar a los compañeros y adquirir otras series de valores que surgen al realizar estas actividades.

En algunas sesiones también se trabajará el pensamiento crítico, por ejemplo, en la última sesión en la cual deben de participar en el debate para dar su opinión sobre las principales controversias que se pueden encontrar en el mundo de la genética.

Se trabajará también la capacidad comunicativa debido a que durante los debates y durante la última sesión en la cual deben de exponer su trabajo final deben de expresarse de forma adecuada para que sus compañeros y compañeras comprendan lo que se le quiere transmitir, trabajando además la comprensión oral.

3.11 Innovación

En esta unidad didáctica “Herencia mendeliana” se tratarán durante las sesiones distintos aspectos innovadores.

En la última actividad que llevará a cabo el alumnado será necesario una exposición oral. Para realizar esta exposición el alumnado debe prepararse y adquirir una serie de habilidades para transmitir sus conocimientos a los demás miembros de la clase. Esta exposición oral refuerza y mejora la expresión oral del alumnado y le enseña a prepararse para conversaciones que se llevaran a cabo en la sociedad.

En esta última sesión también se llevará a cabo una actividad sobre controversias socio-científicas sobre las aplicaciones de la ingeniería genética. Con esta actividad se busca que el alumnado desarrolle el pensamiento crítico con respecto a temas relacionados con la ciencia y que adquiera un vocabulario científico más extenso y refinado.

Durante esta unidad didáctica también se le ofrecerá al alumnado una serie de recursos bibliográficos los cuales les servirán para la resolución de distintas actividades y para la ampliación de los conocimientos sobre este tema.

El alumnado en estas sesiones también hará uso de las tecnologías de la información y la comunicación (TICs) debido a que además de realizar una exposición usando algún recurso web para mostrarla, como por ejemplo Power Point, también deberán realizar distintas actividades en páginas web y buscar distintos recursos para la resolución de los problemas que se les plantean y la ampliación de conocimientos.

Como se ha comentado en el epígrafe anterior mediante la transversalidad el alumnado aprenderá una serie de valores los cuales provocaran que el alumnado se enriquezca como persona y sea capaz de afrontar distintos aspectos y problemas de su vida cotidiana de forma respetuosa y adecuada.

4. CONCLUSIONES

Este trabajo fin de máster pretende que los alumnos y alumnas que cursan 4º de ESO gracias a las distintas metodologías que se van a seguir en la unidad didáctica adquieran conocimientos sobre la herencia genética. En estas sesiones el alumnado alcanzara algunos de los contenidos de 4º de ESO que dicta la legislación vigente, entre los que destacan, el concepto de gen, las leyes de Mendel y enfermedades genéticas hereditarias.

Se intenta que el alumnado interiorice, entienda y aplique los conocimientos que han adquirido durante el transcurso de esta unidad didáctica debido a que la genética es una rama de la ciencia que se encuentra en expansión y es necesario presentar una base sobre ella para entender los nuevos hallazgos y descubrimientos que van surgiendo además de las cuestiones bioéticas y sociales que surgen junto con estas nuevas invenciones. Para cumplir esto en la unidad didáctica se han ofrecido diversos recursos, como debates, casos prácticos en grupo y exposiciones en las cuales el alumnado de su opinión por medio de argumentos veraces e interés científico.

A lo largo de estas sesiones también se ha fomentado en el alumnado el trabajo autónomo para que por sí mismos se interesen por el proceso de aprendizaje y aumente su curiosidad por distintos temas científicos.

El desempeño de este TFM me ha aportado conocimientos sobre la realización de las unidades didácticas, las cuales serán necesarias para mi futuro como docente, además de nuevas metodologías que son más interesantes y eficaces para el alumnado debido a que les convierte en los protagonistas del proceso enseñanza-aprendizaje. Con estas metodologías el alumnado también disfrutara más en las clases mientras se imparten y adquieren los distintos contenidos del curso.

BIBLIOGRAFIA

- Abdur Rab, M., & Khayat, M. H. (2006). Human cloning: Eastern Mediterranean Region perspective. *Eastern Mediterranean Health Journal*, 12(SUPPL. 2), 29–37.
- Akhtar, F., & Bokhari, S. (2021). Down Syndrome. In *StatPearls*. StatPearls Publishing NCBI Bookshelf. Recuperado el 13 de Junio, 2021, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK526016/>
- Arias, A. M. (2008). *Drosophila melanogaster* and the development of biology in the 20th century. In *Methods in molecular biology (Clifton, N.J.)* (Vol. 420, pp. 1–25). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-583-1_1
- Baumgartner, A., Ferlatte Hartshorne, C., Polyzos, A. A., Weier, H. U. G., Weier, J. F., & O'Brien, B. (2018). Full Karyotype Interphase Cell Analysis. *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*, 66(8), 595–606. <https://doi.org/10.1369/0022155418771613>
- Bayani, J., & Squire, J. A. (2004). Fluorescence in situ Hybridization (FISH). In *Current protocols in cell biology / editorial board, Juan S. Bonifacino ... [et al.]: Vol. Chapter 22* (Issue 1, pp. 22.4.1-22.4.52). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0471143030.cb2204s23>
- Bline, A. P., Goff, A. Le, & Allard, P. (2020). What is lost in the weismann barrier? *Journal of Developmental Biology*, 8(4), 1–12. <https://doi.org/10.3390/jdb8040035>
- Bolz, H. J. (2018). Herausforderungen und Fallstricken zum Trotz: Wie die Ophthalmologie von Next-Generation Sequencing profitiert. In *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* (Vol. 235, Issue 3, pp. 258–263). Georg Thieme Verlag. <https://doi.org/10.1055/s-0043-122076>
- Bonda, D. J., Manjila, S., Mehndiratta, P., Khan, F., Miller, B. R., Onwuzulike, K., Puoti, G., Cohen, M. L., Schonberger, L. B., & Cali, I. (2016). Human prion diseases: Surgical lessons learned from iatrogenic prion transmission. *Neurosurgical Focus*, 41(1), E10. <https://doi.org/10.3171/2016.5.FOCUS15126>
- Bonsall, M., & Charlesworth, B. (2010). Genetics and the causes of evolution: 150 years of progress since Darwin. In *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 365, Issue 1552, pp. 2427–2429). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0109>
- Breaker, R. R. (2017). Mechanistic Debris Generated by Twister Ribozymes. In *ACS Chemical Biology* (Vol. 12, Issue 4, pp. 886–891). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.7b00010>
- Carrada-Bravo, T. (2016). Investigación de la transformación de *Streptococcus*

- pneumoniae en el laboratorio, y el nacimiento de la genética bacteriana y la biología molecular. *Revista Chilena de Infectología*, 33(1), 61–65. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182016000100010>
- Casanoves, M., Salvadó, Z., González, Á., Valls, C., & Novo, M. T. (2017). Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education*, 51(2), 99–106. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1177569>
- Cascante Mosquera, W. X. (2009). *Transcripción* *adn*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/6545>
- Chue, J., & Smith, C. A. (2011). Sex determination and sexual differentiation in the avian model. In *FEBS Journal* (Vol. 278, Issue 7, pp. 1027–1034). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1111/j.1742-4658.2011.08032.x>
- Cramer, P. (2020). Rosalind Franklin and the Advent of Molecular Biology. *Cell*, 182(4), 787–789. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.07.028>
- Dahm, R. (2005). Friedrich Miescher and the discovery of DNA. In *Developmental Biology* (Vol. 278, Issue 2, pp. 274–288). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2004.11.028>
- Das, J. K., Choudhury, P. P., Chaudhuri, A., Hassan, S. S., & Basu, P. (2018). Analysis of Purines and Pyrimidines distribution over miRNAs of Human, Gorilla, Chimpanzee, Mouse and Rat. *Scientific Reports*, 8(1), 9974. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28289-x>
- Dave, B. J., & Sanger, W. G. (2007). Role of Cytogenetics and Molecular Cytogenetics in the Diagnosis of Genetic Imbalances. *Seminars in Pediatric Neurology*, 14(1), 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.spen.2006.11.003>
- Dewar, J. M., & Walter, J. C. (2017). Mechanisms of DNA replication termination. In *Nature Reviews Molecular Cell Biology* (Vol. 18, Issue 8, pp. 507–516). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrm.2017.42>
- Díaz-Alonso, C., Garrote-Santana, H., Ana maría amor-Vigil, C., Suárez-González, Y., & González-Mugica Romero, R. (2013). Ribonucleic acid quantification for the performance of RT-PCR technique. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 29(3), 298–303.
- Duncan, R. G., & Tseng, K. A. (2011). Designing project-based instruction to foster generative and mechanistic understandings in genetics. *Science Education*, 95(1), 21–56. <https://doi.org/10.1002/sce.20407>
- Durmaz, A. A., Karaca, E., Demkow, U., Toruner, G., Schoumans, J., & Cogulu, O. (2015). Evolution of genetic techniques: Past, present, and beyond. In *BioMed Research International* (Vol. 2015). Hindawi Publishing Corporation.

- <https://doi.org/10.1155/2015/461524>
- Dutta, U. R. (2016). The history of human cytogenetics in India—A review. *Gene*, 589(2), 112–117. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2016.01.052>
- Endersby, J. (2013). Mutant utopias: Evening primroses and imagined futures in early twentieth-century America. *ISIS*, 104(3), 471–503. <https://doi.org/10.1086/673270>
- Faggioli, F., Vijg, J., & Montagna, C. (2014). Four-color FISH for the detection of low-level aneuploidy in interphase cells. *Methods in Molecular Biology*, 1136, 291–305. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-0329-0_14
- Fairbanks, D. J. (2020). Mendel and Darwin: untangling a persistent enigma. In *Heredity* (Vol. 124, Issue 2, pp. 263–273). Springer Nature. <https://doi.org/10.1038/s41437-019-0289-9>
- Falk, R. (2010). Mutagenesis as a genetic research strategy. In *Genetics* (Vol. 185, Issue 4, pp. 1135–1139). Oxford Academic. <https://doi.org/10.1534/genetics.110.120469>
- Frezza, G., & Capocci, M. (2018). Thomas Hunt Morgan and the invisible gene: the right tool for the job. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 40(2), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s40656-018-0196-z>
- Friedli, A., Williams, G. R., Bruckner, S., Neumann, P., & Straub, L. (2020). The weakest link: Haploid honey bees are more susceptible to neonicotinoid insecticides. *Chemosphere*, 242, 125145. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125145>
- García-Sancho, M. (2010). A new insight into sanger's development of sequencing: From proteins to DNA, 1943-1977. *Journal of the History of Biology*, 43(2), 265–323. <https://doi.org/10.1007/s10739-009-9184-1>
- García-Sancho, M. (2015). Animal breeding in the age of biotechnology: the investigative pathway behind the cloning of Dolly the sheep. *History and Philosophy of the Life Sciences*, 37(3), 282–304. <https://doi.org/10.1007/s40656-015-0078-6>
- Gayon, J. (2016). De Mendel à l'épigénétique : histoire de la génétique. *Comptes Rendus - Biologies*, 339(7–8), 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2016.05.009>
- Gibbs, R. A. (2020). The Human Genome Project changed everything. In *Nature Reviews Genetics* (Vol. 21, Issue 10, pp. 575–576). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41576-020-0275-3>
- González, S. J., Romero, A. R., Centeno, M. M., Calderón, L., & Pozo, G. (2014). *INTRODUCCIÓN DEL APRENDIZAJE POR TRABAJO COOPERATIVO EN GENÉTICA I Resumen*. 1–5.
- Griffiths, P. E. (2017). Genetic, epigenetic and exogenetic information in development

- and evolution. *Interface Focus*, 7(5). <https://doi.org/10.1098/rsfs.2016.0152>
- Hamlin, J. L. (1992). Mammalian origins of replication. In *BioEssays* (Vol. 14, Issue 10, pp. 651–659). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/bies.950141002>
- Harding, S. E., Channell, G., & Phillips-Jones, M. K. (2018). The discovery of hydrogen bonds in DNA and a re-evaluation of the 1948 Creeth two-chain model for its structure. In *Biochemical Society Transactions* (Vol. 46, Issue 5, pp. 1171–1182). Portland Press Ltd. <https://doi.org/10.1042/BST20180158>
- Harper, P. S. (2006). The discovery of the human chromosome number in Lund, 1955–1956. *Human Genetics*, 119(1–2), 226–232. <https://doi.org/10.1007/s00439-005-0121-x>
- Hoßfeld, U., Levit, G. S., & Watts, E. (2019). 100 Years of phenogenetics: Valentin Haecker and his examination of the phenotype. *Molecular Genetics and Genomics*, 294(2), 445–456. <https://doi.org/10.1007/s00438-018-1519-1>
- Hsu, P. L. (2020). “It’s the magic circle”! using cogenerative dialogues to create a safe environment to address emotional conflicts in a project-based learning science internship. *Cultural Studies of Science Education*, 15(1), 75–98. <https://doi.org/10.1007/s11422-018-9906-9>
- Jefatura del Estado (2020). Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 30 diciembre de 2020, núm. 304.
- Jefatura del Estado (2015). 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, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Jefatura del Estado. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 30 de enero de 2015, núm. 25.
- Jefatura del Estado (2015). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte. Jefatura del Estado. Boletín Oficial del Estado. Madrid, 26 de enero de 2015, núm. 3, sec. I, 169–546.
- Júlio-Costa, A., Martins, A. A. S., Wood, G., de Almeida, M. P., de Miranda, M., Haase, V. G., & Carvalho, M. R. S. (2019). Heterosis in COMT Val158Met polymorphism contributes to sex-differences in children’s math anxiety. *Frontiers in Psychology*, 10(MAY), 1013. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01013>
- Junta de Andalucía (2016). Orden de 15 de enero de 2021, por la que se desarrolla el currículo correspondiente a la etapa de Educación Secundaria en la Comunidad Autónoma de Andalucía, se regulan determinados aspectos de la atención a la

- diversidad, se establece la ordenación de la evaluación del proceso de aprendizaje del alumnado y se determina el proceso de tránsito entre distintas etapas educativas. Sevilla, 18 enero 2021, núm. 7, 2-223.
- Junta de Andalucía (2020). Decreto 182/2020, del 10 de noviembre, por el que se establece la ordenación y el currículo de la Educación Secundaria Obligatoria en la Comunidad Autónoma de Andalucía. Consejería de Educación. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía. 16 de noviembre de 2020, núm. 221, 28-37.
- Khouzam, J. P. S., & Tivakaran, V. S. (2021). CRISPR-Cas9 Applications in Cardiovascular Disease. In *Current Problems in Cardiology* (Vol. 46, Issue 3, p. 100652). Mosby Inc. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2020.100652>
- Kováč, L. (2019). Lamarck and Darwin revisited. *EMBO Reports*, 20(4), e47922. <https://doi.org/10.15252/embr.201947922>
- Kubista, M., Andrade, J. M., Bengtsson, M., Forootan, A., Jonák, J., Lind, K., Sindelka, R., Sjöback, R., Sjögren, B., Strömbom, L., Ståhlberg, A., & Zoric, N. (2006). The real-time polymerase chain reaction. In *Molecular Aspects of Medicine* (Vol. 27, Issues 2–3, pp. 95–125). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.mam.2005.12.007>
- Kulkarni, A., Dyka, A., Nemetschke, L., Grant, W. N., & Streit, A. (2013). Parastrongyloides trichosuri suggests that XX/XO sex determination is ancestral in Strongyloididae (Nematoda). *Parasitology*, 140(14), 1822–1830. <https://doi.org/10.1017/S0031182013001315>
- Lacoux, C., D'Hérouël, A. F., Bohec, F. W. Le, Innocenti, N., Bohn, C., Kennedy, S. P., Rochat, T., Bonnin, R. A., Serror, P., Aurell, E., Bouloc, P., & Repoila, F. (2020). Dynamic insights on transcription initiation and RNA processing during bacterial adaptation. *RNA*, 26(4), 382–395. <https://doi.org/10.1261/rna.073288.119>
- Lanigan, T. M., Kopera, H. C., & Saunders, T. L. (2020). Principles of genetic engineering. In *Genes* (Vol. 11, Issue 3, p. 291). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/genes11030291>
- Lewis, R. G., & Simpson, B. (2020). Genetics, Autosomal Dominant. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/32491444>
- Liu, Yansheng, Beyer, A., & Aebersold, R. (2016). On the Dependency of Cellular Protein Levels on mRNA Abundance. In *Cell* (Vol. 165, Issue 3, pp. 535–550). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.03.014>
- Liu, Yongsheng. (2018). Darwin and Mendel: The Historical Connection. *Advances in Genetics*, 102, 1–25. <https://doi.org/10.1016/bs.adgen.2018.05.006>
- Lorenz, T. C. (2012). Polymerase chain reaction: Basic protocol plus troubleshooting and optimization strategies. *Journal of Visualized Experiments*, 63(63), 3998.

<https://doi.org/10.3791/3998>

- Mancinelli, R., Fanò-illic, G., Pietrangelo, T., & Fulle, S. (2020). Guanosine-based nucleotides, the sons of a lesser god in the purinergic signal scenario of excitable tissues. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 5, p. 1591). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21051591>
- McGlinchy, N. J., & Ingolia, N. T. (2017). Transcriptome-wide measurement of translation by ribosome profiling. *Methods*, 126, 112–129. <https://doi.org/10.1016/j.ymeth.2017.05.028>
- Méthot, P. O. (2016). Bacterial Transformation and the Origins of Epidemics in the Interwar Period: The Epidemiological Significance of Fred Griffith's "Transforming Experiment." *Journal of the History of Biology*, 49(2), 311–358. <https://doi.org/10.1007/s10739-015-9415-6>
- Minchin, S., & Lodge, J. (2019). Understanding biochemistry: Structure and function of nucleic acids. In *Essays in Biochemistry* (Vol. 63, Issue 4, pp. 433–456). Portland Press Ltd. <https://doi.org/10.1042/EBC20180038>
- Moraes, F., & Góes, A. (2016). A decade of human genome project conclusion: Scientific diffusion about our genome knowledge. *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 44(3), 215–223. <https://doi.org/10.1002/bmb.20952>
- Moreno, N. D., & Rut Jiménez-Liso, M. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. In *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* (Vol. 9, Issue 1). Universidad de Cádiz. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92024530004>
- Mukai, T., Lajoie, M. J., Englert, M., & Söll, D. (2017). Rewriting the Genetic Code. In *Annual Review of Microbiology* (Vol. 71, pp. 557–577). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-090816-093247>
- Peláez, S. A. & Perlaza, L. A. (2015). Ideas previas acerca de "Evolución y su relación con la genética" en estudiantes de Grado Noveno del Colegio Nicolás Esquerra - *Dialnet*. Recuperado el 13 de Junio, 2021, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7241369>
- Portin, P. (2014). The birth and development of the DNA theory of inheritance: Sixty years since the discovery of the structure of DNA. *Journal of Genetics*, 93(1), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s12041-014-0337-4>
- Portin, P., & Wilkins, A. (2017). The evolving definition of the term "Gene." *Genetics*, 205(4), 1353–1364. <https://doi.org/10.1534/genetics.116.196956>
- Quillet, E., Aubard, G., & Quéau, I. (2002). Mutation in a sex-determining gene in rainbow trout: Detection and genetic analysis. *Journal of Heredity*, 93(2), 91–99.

- <https://doi.org/10.1093/jhered/93.2.91>
- Raj, A., & van Oudenaarden, A. (2008). Nature, Nurture, or Chance: Stochastic Gene Expression and Its Consequences. In *Cell* (Vol. 135, Issue 2, pp. 216–226). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2008.09.050>
- Redman, M., King, A., Watson, C., & King, D. (2016). What is CRISPR/Cas9? *Archives of Disease in Childhood: Education and Practice Edition*, 101(4), 213–215. <https://doi.org/10.1136/archdischild-2016-310459>
- Richmond, M. L. (2001). Women in the early history of genetics. William Bateson and the Newnham College Mendelians, 1900-1910. *Isis; an International Review Devoted to the History of Science and Its Cultural Influences*, 92(1), 55–90. <https://doi.org/10.1086/385040>
- Riordan, J. D., & Nadeau, J. H. (2017). From Peas to Disease: Modifier Genes, Network Resilience, and the Genetics of Health. In *American Journal of Human Genetics* (Vol. 101, Issue 2, pp. 177–191). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.ajhg.2017.06.004>
- Rodríguez, A., Junco, J. A., Rodríguez, A. de la C. & de la Cruz M. A. (2003) Implicaciones éticas de la transgénesis y la clonación. Recuperado el 13 de Junio, 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-81202003000100003
- Ruiz González, C., Banet Hernández, E., & López Banet, L. (2017). Conocimientos de los estudiantes de secundaria sobre herencia biológica: implicaciones para su enseñanza. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, ISSN-e 1697-011X, Vol. 14, Nº. 3, 2017, Págs. 550-569, 14(3), 550–569. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6109085&info=resumen&idoma=ENG>
- Sanjuán, R., & Domingo-Calap, P. (2016). Mechanisms of viral mutation. In *Cellular and Molecular Life Sciences* (Vol. 73, Issue 23, pp. 4433–4448). Birkhauser Verlag AG. <https://doi.org/10.1007/s00018-016-2299-6>
- Sharma, G., Sharma, A. R., Bhattacharya, M., Lee, S. S., & Chakraborty, C. (2021). CRISPR-Cas9: A Preclinical and Clinical Perspective for the Treatment of Human Diseases. In *Molecular Therapy* (Vol. 29, Issue 2, pp. 571–586). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.ymthe.2020.09.028>
- Strauss, B. S. (2018). Why is dna double stranded? The discovery of dna excision repair mechanisms. *Genetics*, 209(2), 357–366. <https://doi.org/10.1534/genetics.118.300958>
- Stryjewska, A., Kiepusa, K., Librowski, T., & Lochyński, S. (2013). Biotechnology and genetic engineering in the new drug development. Part I. DNA technology and

- recombinant proteins. *Pharmacological Reports*, 65(5), 1075–1085. [https://doi.org/10.1016/S1734-1140\(13\)71466-X](https://doi.org/10.1016/S1734-1140(13)71466-X)
- Sule, W. F., & Oluwayelu, D. O. (2020). Real-time RT-PCR for COVID-19 diagnosis: challenges and prospects. In *The Pan African medical journal* (Vol. 35, Issue Suppl 2, p. 121). NLM (Medline). <https://doi.org/10.11604/pamj.suppl.2020.35.24258>
- Suzuki, K., Tsunekawa, Y., Hernandez-Benitez, R., Wu, J., Zhu, J., Kim, E. J., Hatanaka, F., Yamamoto, M., Araoka, T., Li, Z., Kurita, M., Hishida, T., Li, M., Aizawa, E., Guo, S., Chen, S., Goebel, A., Soligalla, R. D., Qu, J., ... Belmonte, J. C. I. (2016). In vivo genome editing via CRISPR/Cas9 mediated homology-independent targeted integration. *Nature*, 540(7631), 144–149. <https://doi.org/10.1038/nature20565>
- Szymanski, M., & Barciszewski, J. (2017). The path to the genetic code. In *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects* (Vol. 1861, Issue 11, pp. 2674–2679). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2017.07.009>
- Taiber, S., & Avraham, K. B. (2019). Genetic Therapies for Hearing Loss: Accomplishments and Remaining Challenges. In *Neuroscience Letters* (Vol. 713, p. 134527). Elsevier Ireland Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2019.134527>
- Talhaoui, I., Matkarimov, B. T., Tchenio, T., Zharkov, D. O., & Saparbaev, M. K. (2017). Aberrant base excision repair pathway of oxidatively damaged DNA: Implications for degenerative diseases. In *Free Radical Biology and Medicine* (Vol. 107, pp. 266–277). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.11.040>
- Tan, S. C., & Tan, A. L. (2020). Cogenerative dialogues, emotional conflicts and polyvagal theory: links to science learning. *Cultural Studies of Science Education*, 15(1), 111–119. <https://doi.org/10.1007/s11422-019-09952-9>
- Telesnitsky, A., & Goff, S. P. (1997). Reverse Transcriptase and the Generation of Retroviral DNA. In J. M. Coffin (Eds.) et. al., *Retroviruses*. Cold Spring Harbor Laboratory Press. Recuperado el 13 de Junio, 2021, de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21433342/>
- Tsay, F. R., Haidar Ahmad, I. A., Henderson, D., Schiavone, N., Liu, Z., Makarov, A. A., Mangion, I., & Regalado, E. L. (2019). Generic anion-exchange chromatography method for analytical and preparative separation of nucleotides in the development and manufacture of drug substances. *Journal of Chromatography A*, 1587, 129–135. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2018.12.018>
- Valega. (2010). Las leyes de mendel. *Apinatura*, 1(1), 54–64. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/33565059/leyes_de_mendel.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1544764950&Signature=vSlcQfzWFHf2TnJsP9pB4DcIPfE%3D&response-content-

- disposition=inline%3B filename%3DLas_Leyes_de_Mendel.pdf%0Ahttp:/
- van Wyhe, J. (2009). Charles Darwin 1809-2009. In *International Journal of Biochemistry and Cell Biology* (Vol. 41, Issue 2, pp. 251–253). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.biocel.2008.08.024>
- Wang, H., & Yang, H. (2019). Gene-edited babies: What went wrong and what could go wrong. *PLoS Biology*, 17(4), e3000224. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000224>
- Winkelmann, A. (2007). Wilhelm von Waldeyer-Hartz (1836–1921): An anatomist who left his mark. *Clinical Anatomy*, 20(3), 231–234. <https://doi.org/10.1002/ca.20400>
- Yanofsky, C. (2007). Establishing the Triplet Nature of the Genetic Code. In *Cell* (Vol. 128, Issue 5, pp. 815–818). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2007.02.029>
- Zhang, H., Chen, W., & Sun, K. (2017). Mendelism: New insights from gregor mendel's lectures in Brno. *Genetics*, 207(1), 1–8. <https://doi.org/10.1534/genetics.117.201434>

WEBGRAFIA

Actividades interactivas sobre conceptos básicos de genética:
<http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/4ESO/genetica1/actividad10gen.htm>

Conceptos básicos:
[https://www.edu.xunta.gal/centros/iesriocabe/system/files/u1/T_206_Gen_tica_Mendeliana.pdf](https://www.edu.xunta.gal/centros/iesriocabe/system/files/u1/T_206_Gen%C3%A9tica_Mendeliana.pdf)

Conceptos básicos de genética: https://biologia-geologia.com/biologia2/91_conceptos_basicos_de_genetica.html

Instituto de Estadística y Cartografía de Andalucía:
<https://www.juntadeandalucia.es/institutodeestadisticaycartografia/sima/ficha.htm?mun=23061>

Juego Mendelius: <http://www.mendelius.com/>

Vídeo: Conceptos básicos sobre genética mendeliana (minuto 5:24 hasta 9:50):
<https://www.youtube.com/watch?v=dBM4iv8IIRI>

ANEXOS

Anexo 1:

Nombre:

1. Visualiza el vídeo y define los siguientes conceptos:

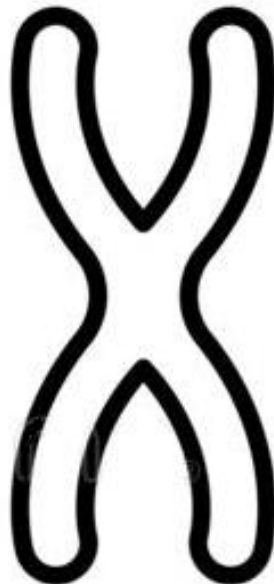
Gen:

Alelo:

Cromosoma:

Locus:

2. Representa cada concepto en la siguiente figura:



Anexo 1: Conceptos de genética.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2:

Nombre:

1. Define los siguientes conceptos:

Genotipo:

Fenotipo:

Alelo dominante:

Alelo recesivo:

Homocigoto:

Heterocigoto:

Anexo 2: Definiciones de genética.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3:

ACTIVIDAD PRÁCTICA

A continuación, vamos a observar una serie de caracteres que pueden ser observados a simple vista. Vamos a comprobar la proporción de la clase que presenta el carácter dominante y que proporción presenta el carácter recesivo:

Individuos	Carácter dominante	Carácter recesivo
Pico de viuda		
Lengua en forma de U		
Lóbulo de la oreja		
Cabello rizado		
Pecas		

Proporciones genotípicas y fenotípicas:

Anexo 3: Actividad práctica.

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4:

Nombre:

1. Escriba el genotipo de un individuo homocigoto dominante y el genotipo de un homocigoto recesivo:

2. Escriba el genotipo de un individuo homocigoto recesivo:

Para la realización de estas dos cuestiones tenga en cuenta las siguientes instrucciones:

INTRUCCIONES:

Presentar siempre el alelo dominante con una letra mayúscula y el alelo recesivo con una letra minúscula.

En individuos heterocigotos escribir primero el alelo dominante (mayúscula) y luego el recesivo (minúscula).

Anexo 5:

Nombre:

1. Nombre y represente la primera ley de Mendel para el carácter color del guisante (amarillo dominante y verde recesivo). Exprese las proporciones fenotípicas y genotípicas:

Homocigoto dominante:

Homocigoto recesivo:

Cruce:

2. A partir de los descendientes obtenidos en el ejercicio anterior realice un cruce para obtener la segunda ley de Mendel. Exprese las proporciones fenotípicas y genotípicas:

Cruce:

Nombre:

3. Realice los dos pasos anteriores, pero con individuos que presentan dos caracteres, el color del guisante y la forma del guisante (liso dominante, rugoso recesivo) Exprese las proporciones fenotípicas y genotípicas:

Homocigoto dominante:

Homocigoto recesivo:

Cruce:

Cruce:

COMPARAR Y CONTRASTAR (ABIERTO)		
↓ ¿EN QUÉ SE PARECEN? ↓		
↓ ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN? ↓		
CON RESPECTO A ...		
	↔	
	↔	
	↔	
	↔	
	↔	
	↔	
↓ PATRONES DE SEMEJANZAS Y DIFERENCIAS SIGNIFICATIVAS ↓		
↓		
CONCLUSIÓN O INTERPRETACIÓN		

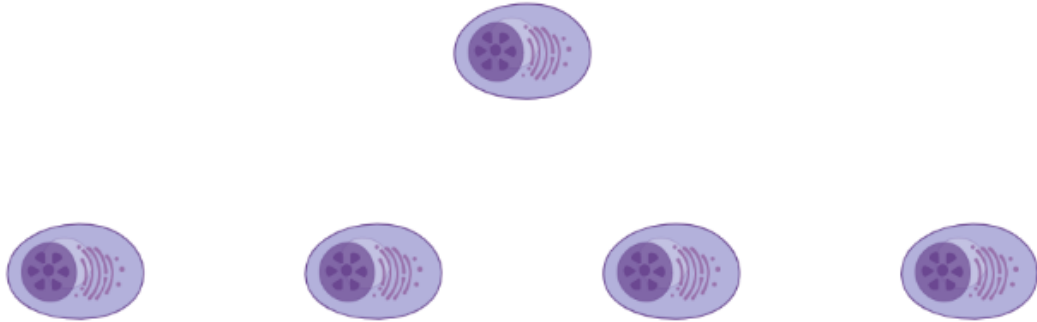
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7:

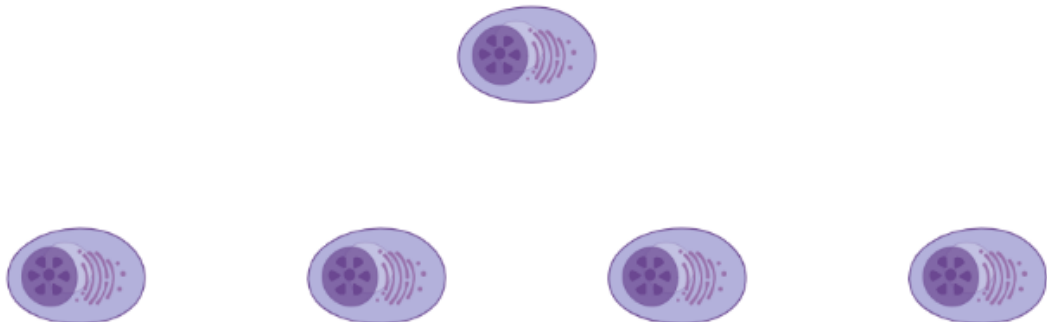
Nombre:

1. Representa en las siguientes células los siguientes genes. Representa también el material genético que reciben su descendencia.

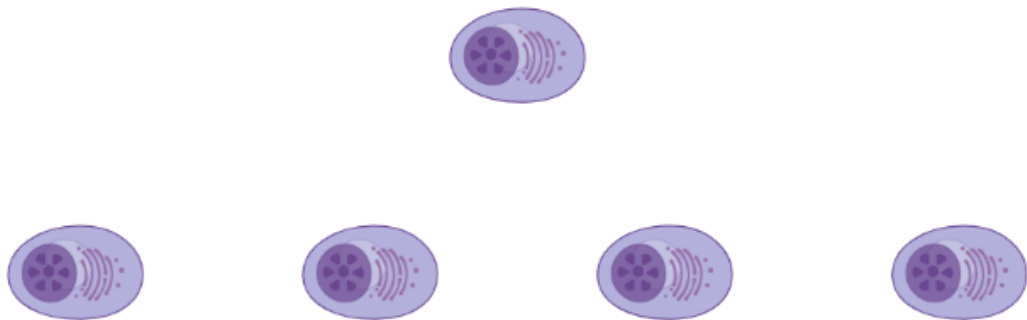
Genes independientes:



Genes ligados:



Genes ligados con recombinación:



Anexo 7: Representación de distintos genes.

Fuente: Elaboración propia.

MODELO CASOS PRÁCTICOS

1. Un hombre y una mujer sanos dan lugar a una hija sana y a un hijo que presenta una determinada enfermedad.
La hija se casa con un hombre sano y da lugar a un varón enfermo.
El hijo enfermo se casa con una mujer sana y dan lugar a dos hijas sanas y un hijo sano.
Realiza un árbol genealógico que muestre los genotipos y también a los individuos sanos, enfermos y portadores.
¿Qué tipo de enfermedad hereditaria presenta esta familia?
2. Una pareja tiene un hijo albino. El padre de la mujer presentaba albinismo y la madre del hombre también presentaba esta enfermedad. Realice un árbol genealógico de esta familia.
¿Qué tipo de enfermedad hereditaria presenta esta familia?
Si el hijo albino se casara con una mujer la cual se sabe que en su familia no hay casos de personas albinas. ¿Cuál sería la descendencia de esta pareja? Inclúyala en el árbol genealógico.
3. Dos individuos con acondroplasia dan lugar a una hija que no presenta esta enfermedad y a una hija que si la presenta. Ambas hijas se casan con dos individuos que no presentan la enfermedad. La hija que no presentaba la enfermedad tuvo un hijo sin acondroplasia mientras que la que presentaba la enfermedad dio a luz un hijo que presentaba la enfermedad. Realice el árbol genealógico y diga qué tipo de enfermedad hereditaria se observa.

Anexo 9:

La muerte de su gato lo dejó devastado, así que lo clonó

El caso de Garlic, llamado el primer gato clonado de China, es una señal más de que esa nación se está convirtiendo en una potencia en genética y en el incipiente negocio de clonación.



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

MACARENA VIDAL LIY

Pekín - 26 NOV 2018 - 18:29 CET



He Jiankui, fotografiado en su laboratorio el pasado octubre. MARK SCHIEFELBEIN (AP) / ATLAS

Anexo 9: Cuestiones bioéticas que aparecen en distintos medios de comunicación.

Fuente: The New York Times: <https://www.nytimes.com/es/2019/09/09/espanol/negocios/gato-clonado-silogene-china.html>
https://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768_174686.html

& El país:

Anexo 10:

ACTIVIDADES	OBJETIVOS	CONTENIDOS	COMPETENCIAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
Lluvia de ideas	OE1, OE2, OE3, OE4, OE7, EO8 OA1,OA3, OA7,OA8,OA9 OD8	CC1, CC2, CC3, CC7 CA1, CA4, CA5	CCL, CMCT	CE1, CE7
Vídeos	OE2,OE5, OE6 OA3,OA4,OA5 OD1, OD2	CC1, CC3 CA1, CA2	CMCT, CD	CE1
Conceptos y representarlos	OE2, OE5, OE6, OE7, OE8 OA1,OA2, OA3 OD1,OD2	CC3 CP1 CA2	CMCT, CPAA	CE1
Debates	OE1, OE2, OE3, OE4, OE7, EO8 OA1,OA3, OA7,OA8,OA9 OD1, OD8	CC1, CC2, CC3, CC7 CA1, CA4, CA5	CCL, CMCT	CE1, CE7
Trabajo autónomo (recursos web)	OE2, OE5, OE6, OE7, OE8 OA1,OA2, OA3, OA4 OD1	CC1, CC3 CA2, CA3	CMCT, CD, CPAA	CE1, CE4, CE6
Actividad (web)	OE2, OE5, OE6, OE7 OA1, OA2, OA4 OD1	CC3 CA2, CA3	CMCT, CD, CPAA	CE1, CE6

ACTIVIDADES	OBJETIVOS	CONTENIDOS	COMPETENCIAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
Proporciones de caracteres en clase	OE1, OE2, OE3, OE4, OE6, OE7, OE8 OA2, OA5 OD1	CC4 CP2 CA1, CA2, CA4	CCL, CMCT	CE1, CE7
Kahoot	OE2, OE5, OE6, OE7, OE8 OA2, OA3, OA4 OD1	CC3, CC4 CA2	CMCT	CE1
Cuestionario previo al desarrollo de las leyes de Mendel	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA9 OD1, OD3	CC4, CC5 CP2 CA1, CA2	CMCT, CPAA	CE1, CE7
Trabajo autónomo leyes de Mendel	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA9 OD1, OD3, OD4	CC4, CC5 CP2 CA1, CA2	CMCT, CPAA	CE1, CE4, CE5, CE7
Trabajo en grupo leyes de Mendel	OE1, OE2, OE3, OE4, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA5 OD1, OD3, OD4	CC4, CC5 CP2 CA1, CA2, CA4	CCL, CMCT, CPAA	CE1, CE4, CE5, CE8
Compara y contrasta	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3 OD5	CA1, CA2	CMCT, CPAA	CE1, CE7

ACTIVIDADES	OBJETIVOS	CONTENIDOS	COMPETENCIAS	CRITERIOS DE EVALUACIÓN
Documento sobre tipos de genes	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3 OD1, OD2	CC6 CP1 CA1, CA2	CMCT, CPAA	CE1, CE8
Resumen sobre los tipos de herencia del sexo	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3 OD5	CA1, CA2, CA4	CCL, CMCT, CPAA	CE1, CE2 CE9
Ejercicios sobre herencia ligada al sexo	OE2, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3 OD6	CP3 CA1, CA2	CMCT,CPAA	CE1, CE2 CE10
Casos prácticos	OE1, OE2, OE3, OE4, OE5, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OA7 OD6	CC5, CC6 CP3 CA1, CA2, CA3, CA4	CCL, CMCT, CD, CPAA, SIE	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE7
Árbol genealógico	OE1, OE2, OE3, OE4, OE5, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OA7 OD6, OD7	CC5 CP4 CA1, CA2, CA3, CA4	CCL, CMCT, CD, CPAA, SIE	CE1, CE2, CE3, CE4, CE5, CE6, CE8
Exposición	OE1, OE2, OE3, OE4, OE5, OE6, OE7, OE8 OA1, OA2, OA3, OA4, OA5, OA7 OD6, OD7	CC5 CP5 CA1, CA2, CA3, CA4, CA5	CCL, CMCT, CD, CPAA, SIE	CE7, CE8

Anexo 10: Relación de las actividades que se van a desarrollar durante las sesiones con objetivos, contenidos, competencias y criterios de evaluación.

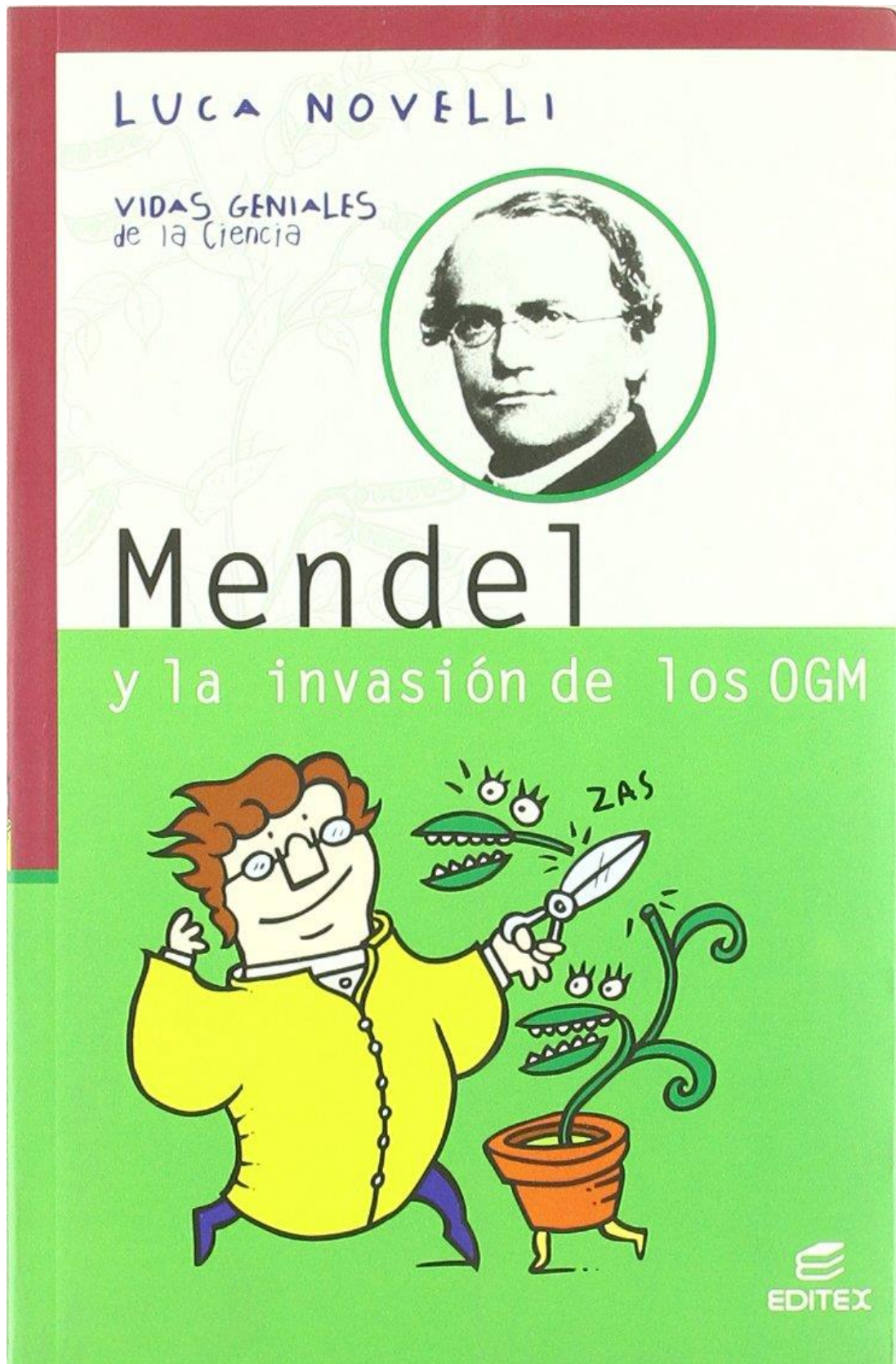
Fuente: Elaboración propia con el programa Excel.

Anexo 11:



Anexo 11: Juego Mendelius para alumnado con adaptaciones curriculares.

Fuente: <http://www.mendelius.com/>



Anexo 12: Novelli, L. (2003). Mendel y la invasión de los OGM. Vidas geniales de la ciencia Editex.

Fuente: <http://www.mendelius.com/>