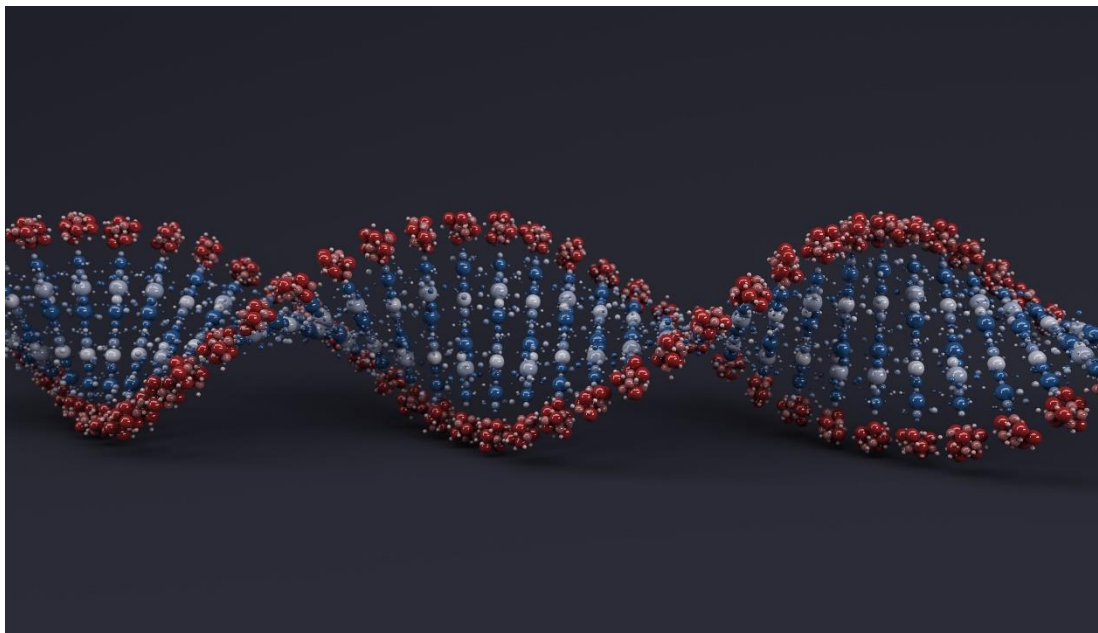


PROYECTO NATURA



Proyecto ApS para la enseñanza de técnicas de edición genética

La edición genética es una herramienta que ha revolucionado la comunidad científica en el ámbito de la biología molecular en los últimos años. Consiste en un conjunto de técnicas que permiten modificar de forma precisa el ADN de los organismos, siendo una de las más conocidas y utilizadas la tecnología CRISPR-Cas9. Esta herramienta, además de ofrecer numerosas aplicaciones prácticas en el marco de la investigación biomédica, agrícola o medio ambiental, implica la comprensión de conceptos fundamentales como el ADN, las mutaciones y la expresión génica. Al mismo tiempo, ha generado un intenso debate ético en torno a los límites de la manipulación genética.

El proyecto pretende acercar estos conceptos científicos a etapas educativas más tempranas mediante la colaboración entre universidad, educación secundaria y primaria a través de un Projecte Natura. Esta experiencia interetapa tiene como objetivo principal fomentar la divulgación científica, despertar el interés por la ciencia y promover el conocimiento de disciplinas como la biotecnología. Este se desarrollará mediante sesiones teórico-prácticas que combinarán dinámicas interactivas, debates y otras actividades experimentales adaptadas al nivel educativo, potenciando el diálogo y el Trabajo cooperativo. De esta forma, se busca facilitar el aprendizaje científico, pero también desarrollar el pensamiento crítico, la capacidad de análisis y el razonamiento científico.

ÍNDICE

1	EQUIP PARTICIPANT	4
2	INTRODUCCIÓ	5
2.1	TEMA EN QUÈ S'ENMARCA EL PROJECTE:	5
2.2	SABER BÀSIC A TRANSMETRE:.....	5
2.3	OBJECTIU GENERAL:	6
2.4	COMPETÈNCIES BÀSIQUES DEL CURRÍCULUM QUE ES VAN A TREBALLAR	7
2.5	METODOLOGIA DE LA INTERVENCIÓ DIDÀCTICA.....	8
3	DESENVOLUPAMENT DE LES ACTIVITATS/ SITUACIONS D'APRENENTATGE	10
3.1	MATERIALS I NECESSITATS	10
3.1.1	MATERIALS	10
3.1.2	CALENDARI, LLOC I/O REQUERIMENTS D'ESPAI	11
3.2	DESCRIPCIÓ DETALLADA DE L'ACTIVITAT/SITUACIÓ D'APRENENTATGE:	13
3.2.1	SESIÓN 1	13
3.2.2	SESIÓN 2	14
3.2.3	SESIÓN 3	15
3.2.4	SESIÓN 4	16
3.2.5	SESIÓN 5	17
3.2.6	PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DESTINADA A PRIMARIA	18
3.3	OBJECTIU ESPECÍFICS	19
3.3.1	PRIMÀRIA	19
3.3.2	SECUNDÀRIA.....	20
3.4	COMPETÈNCIES ESPECÍFIQUES I SABERS BÀSICS	21
3.4.1	COMPETENCIAS ESPECÍFICAS	21
3.4.2	SABERES BÁSICOS	23
3.4.3	EDUCACIÓN PRIMARIA.....	23
3.5	EVALUACIÓN	24
4	CONCLUSIONS	28
5	VALORACIÓ DEL PROJECTE.....	30
6	IMATGES DEL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE	31
7	EXPOSICIÓ DE LES DIFICULTATS PER DESENVOLUPAR EL PROJECTE	38
8	BIBLIOGRAFÍA.....	38

PROJECTE NATURA

PROYECTO APS PARA LA ENSEÑANZA DE TÉCNICAS DE EDICIÓN GENÉTICA

1 EQUIP PARTICIPANT

ÀREA TEMÀTICA: Bioquímica y Biología Molecular			
Títol del projecte: ProyectoApS para la enseñanza de técnicas de edición genética			
	Nom i Cognoms	Centre	Localitat
Alumne/a UVEG	Verónica Martín Sancho	Universitat de València	Burjassot
Professor/a de la UVEG	Noelia Pastor Cantizano	Universitat de València	Burjassot
Professor/a de secundària	Laia Perez Muñoz	IES Lluís Vives	Valencia
Mestre/a de Primària	VALLES RAMOS, ROSA MARIA	CEIP San Juan Ribera	Valencia

ALUMNES DE SECUNDÀRIA PARTICIPANTS	Curs	Assignatura
15	2n Batx	Projecte d'investigació

Nombre d'alumnes de primària que poden participar: 25

Curs recomanat: 2n Batx, 6º Primaria

PROJECTE INTERDEPARTAMENTAL SI/NO: No

DEPARTAMENTS QUE INTERVENEN: Departamento de Biología y Geología del IES Lluís Vives y Departamento de Bioquímica y Biología Molecular de la Universitat de València.

2 INTRODUCCIÓ

2.1 TEMA EN QUÈ S'ENMARCA EL PROJECTE:

Durante las últimas décadas, las técnicas de edición genética han avanzado considerablemente, permitiendo el desarrollo de herramientas cada vez más precisas y eficientes. Estos progresos han facilitado, entre otros aspectos, la generación de organismos transgénicos o el diseño de modelos experimentales para el estudio de enfermedades y el desarrollo de fármacos, en respuesta a las limitaciones que presentan otras estrategias previamente existentes. En este contexto, destaca la técnica CRISPR-Cas9, una herramienta de edición genética adaptada para su aplicación biotecnológica en 2013 y que ha supuesto una revolución en este ámbito (Khalil, 2020).

El presente proyecto tiene como finalidad abordar las técnicas de edición genética mediante el estudio en profundidad del sistema CRISPR-Cas9. Se pretende que el alumnado comprenda sus componentes, su mecanismo de acción y sus principales aplicaciones, así como las implicaciones éticas y científicas derivadas de su utilización. De este modo, se busca acercar la investigación científica a etapas preuniversitarias y ampliar los conocimientos adquiridos dentro del ámbito de las Ciencias Naturales, profundizando en disciplinas como la Biología Molecular, la Bioquímica y la Genética.

2.2 SABER BÀSIC A TRANSMETRE:

Idea principal: El proyecto se centra fundamentalmente en el funcionamiento de la técnica CRISPR-Cas9 aplicada a un caso clínico ficticio, así como en técnicas fundamentales de Biología Molecular, como la PCR o la electroforesis. De este modo, se relaciona la edición genética con la investigación biomédica actual, profundizando en el estudio de un gen concreto, el oncogén KRAS. De esta forma, se fomenta el interés del alumnado por la investigación científica y se proporciona una visión más cercana y aplicada de la biotecnología.

En etapas educativas más tempranas, se introducen conceptos básicos como la estructura del ADN, el código genético, las mutaciones y el papel de la edición genética en el tratamiento de enfermedades.

Paraules clau: edición genética, CRISPR-Cas9, KRAS, oncogén, ADN, ARN guía, expresión génica, PCR, electroforesis.

2.3 OBJECTIU GENERAL:

Las herramientas de edición genética presentan un elevado potencial, especialmente en el ámbito de la investigación y en el tratamiento de enfermedades, pero también plantean posibles riesgos a largo plazo como consecuencia de un uso inadecuado de las mismas. Actualmente, algunos expertos muestran preocupación respecto a su impacto en el futuro, especialmente en lo relativo a la modificación de la línea germinal, práctica ilegal a día de hoy. Se trata de una tecnología con importantes implicaciones éticas y sociales, que exige una regulación estricta y mecanismos de supervisión adecuados (Khan, 2019).

Por este motivo, el proyecto propone ofrecer una visión integral de las técnicas de edición genética, abordando tanto sus ventajas como sus limitaciones, con el fin de favorecer el desarrollo del pensamiento crítico del alumnado y la construcción de una opinión fundamentada sobre estas tecnologías.

El objetivo principal del proyecto consiste en la comprensión del funcionamiento de la técnica de edición genética CRISPR-Cas9 y el análisis de sus aplicaciones en el ámbito de la biomedicina, junto con el estudio de técnicas básicas de Biología Molecular como la PCR o la electroforesis.

Se plantean los siguientes objetivos con la finalidad de que el alumnado de las distintas etapas educativas alcance los aprendizajes previstos mediante el desarrollo del proyecto. Por un lado, para la etapa de Bachillerato, se establecen los siguientes objetivos científicos y didácticos:

OBJETIVOS CIENTÍFICOS:

- Comprender el mecanismo de acción del sistema CRISPR-Cas9, así como sus aplicaciones en el ámbito de la biomedicina.
- Analizar la especificidad del sistema y el diseño de RNAs guía.
- Conocer el fundamento y la aplicación de técnicas de Biología Molecular como la PCR y la electroforesis.
- Aplicar los conocimientos adquiridos en la realización de una práctica de laboratorio.
- Analizar el papel del oncogén KRAS, sus mutaciones y su implicación en el desarrollo de determinados tipos de cáncer.
- Conocer las estrategias terapéuticas actuales dirigidas al gen KRAS.

OBJETIVOS DIDÁCTICOS:

- Desarrollar el pensamiento crítico y el razonamiento científico.
- Potenciar habilidades de comunicación y de transferencia de conocimientos mediante la elaboración de contenidos y el diseño de actividades.
- Fomentar el interés por la ciencia, la investigación y la biotecnología.
- Promover la autonomía en el aprendizaje.
- Favorecer el trabajo cooperativo y colaborativo.
- Desarrollar la capacidad de expresión oral en público.

Por otro lado, a nivel de Educación Primaria, se proponen los siguientes objetivos científicos y didácticos:

OBJETIVOS CIENTÍFICOS:

- Conocer la estructura y composición del ADN.
- Introducir la ingeniería genética como herramienta para el tratamiento de enfermedades.
- Conocer el concepto de mutación y sus tipos.
- Comprender el código genético y el apareamiento de bases en la estructura del ADN.

OBJETIVOS DIDÁCTICOS

- Promover el trabajo en equipo a través de las actividades diseñadas por el alumnado de Bachillerato.
- Despertar el interés y la curiosidad por la ciencia, especialmente por el ámbito de la Biotecnología.
- Adquisición de conocimientos y habilidades para la resolución de las actividades planteadas por Bachillerato.

2.4 COMPETÈNCIES BÀSIQUES DEL CURRÍCULUM QUE ES VAN A TREBALLAR

Según el Real Decreto 243/2022, las competencias clave se definen como el conjunto de capacidades fundamentales que el alumno debe desarrollar para progresar adecuadamente en su formación y responder frente a posibles retos y situaciones. De acuerdo con el mismo, las

competencias clave abordadas, comunes tanto a la etapa de Educación Primaria como a la etapa de Bachillerato, son las siguientes:

- **Competencia matemática y competencia en ciencia, tecnología e ingeniería.** Se trabaja a través de la experimentación, la observación y la interpretación de resultados, así como mediante la aplicación del pensamiento científico. De la misma forma, se promueve el desarrollo de proyectos colaborativos, orientados a la búsqueda de soluciones comunes.
- **Competencia digital.** Se fomenta mediante el uso de herramientas digitales, tanto en el ámbito de la investigación científica como en la elaboración de contenidos por parte del alumnado, promoviendo un uso seguro y responsable de los recursos tecnológicos.
- **Competencia personal, social y de aprender a aprender (CPSAA).** Se trabaja mediante actividades que requieren la colaboración entre el alumnado, tanto dentro de una misma etapa como entre diferentes etapas educativas, favoreciendo la autonomía en el aprendizaje y la capacidad de adquirir y transferir conocimientos.
- **Competencia en Comunicación Lingüística.** Se desarrolla a través la interacción entre compañeros, la exposición oral y la participación en actividades de debate y argumentación.
- **Competencia Emprendedora.** Se impulsa a través del diseño, planificación y desarrollo de actividades dirigidas a Educación Primaria, promoviendo la creatividad, la iniciativa y la aplicación de los conocimientos adquiridos, así como la toma de decisiones y habilidades relacionadas con la gestión, planificación y organización.

2.5 METODOLOGIA DE LA INTERVENCIÓN DIDÁCTICA

El proyecto, dentro del marco de Projectes Natura, se fundamenta en la metodología de Aprendizaje-Servicio, mediante la cual colaboran el alumnado universitario con alumnos de etapas preuniversitarias. Esta metodología permite que el aprendizaje mejore el servicio, y al mismo tiempo, el servicio mejore el aprendizaje, incrementando la motivación y situando al alumno como protagonista del proceso. A través de esta metodología es posible un desarrollo

de las competencias básicas, y permite contextualizar el aprendizaje en situaciones reales (Mendía, 2010). De esta manera, se sitúa el aprendizaje dentro del contexto de un caso clínico, como hilo conductor del proyecto.

La intervención didáctica se diseñó siguiendo los principios del Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA), a través de metodologías que reconocen al alumnado como agente activo de su propio aprendizaje, de acuerdo con el Real Decreto 243/2022. Para ello, se han propuesto actividades que potencian tanto el trabajo individual, como el trabajo en grupo, incluyendo recursos en distintos formatos, tanto analógicos como digitales. De esta forma, se favorece una integración y asimilación de los conocimientos a través de la resolución de problemas, permitiendo que el alumnado asuma responsabilidades y aprenda de forma autónoma.

El Diseño Universal para el Aprendizaje es un enfoque desarrollado por el CAST (Center for Applied Special Technology), con el objetivo de adaptar el aprendizaje a la totalidad de los alumnos. Se organiza en 3 principios, que se resumen en el qué, el cómo y el porqué del aprendizaje. Es decir, se deben proporcionar múltiples formas de representación de la información y los contenidos, múltiples formas de expresión del aprendizaje y múltiples formas de implicación. De esta forma, se garantiza que todos los alumnos puedan acceder al aprendizaje, teniendo en cuenta la diversidad existente en cuanto a la forma de comprender la información, expresarse o motivarse (Pastor et al., 2014).

Durante el proyecto se combinaron metodologías tradicionales con metodologías activas e innovadoras. Entre las metodologías tradicionales se incluyeron breves explicaciones teóricas, a modo de lección magistral, necesarias para introducir algunos conceptos clave de Biología Molecular. Estas explicaciones se complementaron con actividades prácticas y dinámicas participativas que permitieron al alumnado aplicar los contenidos trabajados en el aula.

En este contexto, destacan metodologías que otorgan al estudiante un rol protagonista en su aprendizaje y fomentan el desarrollo del pensamiento crítico, tales como el Aprendizaje Basado en Proyectos y el Aprendizaje Basado en Problemas (Bermúdez Mendieta, 2021; Zambrano Briones et al., 2022).

Asimismo, se incorporaron durante el proceso de enseñanza-aprendizaje dinámicas de aprendizaje cooperativo, y se realizaron actividades de experimentación, de argumentación y de interpretación de resultados.

Por último, también se implementaron recursos y herramientas digitales, tanto para la evaluación como para la elaboración y presentación de contenidos. Algunas de estas herramientas se emplearon como recurso de gamificación. La gamificación consiste en el uso de elementos de juego en contextos no lúdicos, como por ejemplo contextos pedagógicos, combinando educación y entretenimiento con el objetivo de motivar a los alumnos a involucrarse en el proceso y a esforzarse (Alsawaier, 2018).

Estas herramientas permiten evaluar los conocimientos del alumnado de forma dinámica y motivadora, favoreciendo la participación y la implicación de los alumnos. De la misma manera, contribuyen al rendimiento de los estudiantes (Hasram et al., 2020).

3 DESENVOLUPAMENT DE LES ACTIVITATS/ SITUACIONS D'APRENTATGE

3.1 MATERIALS I NECESSITATS

3.1.1 MATERIALS

A continuació, se detallen los materiales necesarios requeridos a lo largo del proyecto, tanto digitales como analógicos.

Como se observa en la Tabla 1, se emplearon presentaciones a lo largo de todas las sesiones, para dar apoyo a los conceptos explicados. Estas fueron elaboradas con la herramienta Canva. Las tarjetas de gRNA-DNA fueron diseñadas con esta misma herramienta, y posteriormente impresas y plastificadas. Por otro lado, los vídeos utilizados se obtuvieron de Youtube y otros sitios web.

El material de laboratorio necesario para la realización de la electroforesis se tomó prestado del laboratorio, y se transportó al instituto.

Durante las sesiones correspondientes a la preparación de la actividad dirigida a Educación Primaria, los alumnos también utilizaron Canva para la elaboración de una presentación teórica, así como para el diseño las actividades que habían sido planteadas. Las actividades se realizaron imprimiendo sus diseños en papel.

Tabla 1: Materiales empleados durante cada sesión del proyecto.

SESIONES	MATERIALES
Sesión 1	Presentación Cuestionario Quizziz
Sesión 2	Presentación Software PyMol Vídeo entrevista Mariano Barbacid
Sesión 3	Presentación Vídeo animación CRISPR-Cas9 Tarjetas gRNA-DNA
Sesión 4	Presentación
Sesión 5	Presentación Material electroforesis: cubeta, gel, micropipetas, transiluminador, fuente eléctrica.
Sesiones Preparación Actividad Primaria	Papel, celo, tijeras, ordenadores.

3.1.2 CALENDARI, LLOC I/O REQUERIMENTS D'ESPAI

El proyecto tuvo lugar en el IES Lluís Vives de València, de manera que las sesiones fueron realizadas en sus instalaciones, concretamente en el Aula de Laboratorio, donde se imparte la asignatura Projecte d'Investigació.

Por otro lado, la sesión dirigida a Primaria tuvo lugar en el aula de 6º de Primaria del CEIP San Juan de Ribera de València. También se utilizaron los laboratorios de la universidad para la preparación del gel de electroforesis que posteriormente se utilizó en el instituto, así como de las muestras que se analizaron.

En cuanto a la cronología, el proyecto comenzó durante el mes de septiembre, donde tuvo lugar una primera reunión con la profesora del instituto. Durante la misma, se planteó la idea y a partir de este punto se pudo comenzar a trabajar en ella. Posteriormente, durante el mes de febrero tuvo lugar una segunda reunión para concretar cuándo comenzaría el proyecto en el aula, así como para orientar la distribución de las sesiones y del contenido. A lo largo de este período de

tiempo, se mantuvo el contacto con ella, para conocer lo que estaban trabajando en ese momento, y con qué base contaban para el desarrollo del proyecto.

Tras esto, durante la semana del 23 de marzo, tuvieron lugar las primeras sesiones, continuando después de Pascua para que los alumnos de Bachillerato pudieran planear su paso por la etapa de Primaria.

De esta manera, el proyecto se puede dividir en tres fases claramente definidas. Para empezar, una primera fase de preparación para y con el alumnado de Bachillerato, una segunda fase en la que los estudiantes de Bachillerato prepararon la actividad dirigida a los alumnos de 6º de Primaria, y una última fase, en la que se presenta el proyecto tanto en el CEIP San Juan de Ribera el 27 de abril, como en la Feria de Expociència, que tuvo lugar el 9 de mayo.

Tabla 2: Cronograma de las actividades realizadas durante el Projecte Natura.

FASE	FECHA	ACTIVIDAD	PARTICIPANTES
Primera fase	Septiembre 2025 – Febrero 2026	Planteamiento de la idea, organización del proyecto, búsqueda de información.	Alumna UV, tutora y profesora IES.
	23/03/2026	Sesión 1. Introducción Projectes Natura y oncogén KRAS.	Alumna UV y estudiantes de 2º de Bachillerato del IES Lluís Vives.
	24/03/2026	Sesión 2. Terapias existentes.	
	25/03/2026	Sesión 3. CRISPR-Cas9	
	27/03/2026	Sesión 4. Introducción electroforesis.	
	30/03/2026	Sesión 5. Realización electroforesis.	
Segunda fase	14/04/2026 – 24/04/2026	Preparación actividad Primaria	
Tercera fase	27/04/2026	Desarrollo actividad Primaria	Alumna UV, estudiantes de 2º de Bachillerato del IES Lluís Vives y estudiantes de 6º de Primaria del CEIP San Juan de Ribera.
	09/05/2026	Expociència	Alumna UV

3.2 DESCRIPCIÓ DETALLADA DE L'ACTIVITAT/SITUACIÓ D'APPRENTATGE:

El proyecto consta de tres fases principales. Inicialmente, durante la primera fase, se va a plantear y organizar la idea. Para ello, durante los meses de septiembre y enero tuvieron lugar varias reuniones, tanto como con la tutora académica, Noelia Pastor Cantizano, como con la profesora responsable del instituto, Laia Pérez Muñoz.

En este caso, el proyecto se va a desarrollar en la asignatura Projecte d'Investigació, con 15 estudiantes, en concreto 12 chicas y 3 chicos, pertenecientes al curso de 2º de Bachiller del IES Lluís Vives de València. Esta asignatura está distribuida en tres proyectos principales, organizados por la profesora en trimestres. Este proyecto se incluye en el correspondiente al segundo trimestre, que va a tratar sobre el cáncer, en particular sobre el oncogén *KRAS*.

Durante esta fase previa, se va a concretar un punto en común entre lo impartido por la profesora durante el trimestre y el tema principal del proyecto, las técnicas de edición genética, de manera que se tomó la decisión de aplicar estas al oncogén *KRAS*. Este planteamiento fue posible en parte gracias al trabajo realizado previamente por Laia, la cual ya había introducido conceptos relacionados con el cáncer, las células tumorales y el gen *KRAS*, de modo que el objetivo del proyecto era profundizar en la edición genética aplicada a dicho gen. Puesto que existen varias técnicas de edición genética, se va a elegir CRISPR-Cas9 como herramienta, por ser una de las más comunes y conocidas, y, además, por su presencia en el currículo de 2º de Bachillerato, en particular en el bloque de Biotecnología.

En este contexto, y teniendo en cuenta el material compartido por Laia como referencia de los conceptos que ya había trabajado el alumnado, se comenzó a organizar el contenido, distribuido en cinco sesiones teórico-prácticas. Conociendo además los intereses de los estudiantes, se va a recuperar un caso clínico trabajado previamente con la profesora para que actúe como hilo conductor del proyecto. De esta manera, los estudiantes tienen que adoptar el papel de ingenieros genéticos, y se plantea el contenido como una estrategia terapéutica que se desarrolla a lo largo de las sesiones. Durante estas cinco sesiones, se combinaron explicaciones teóricas con actividades prácticas y dinámicas participativas.

3.2.1 SESIÓN 1

La primera sesión se destinó a la introducción y presentación del proyecto. En ella se explicó al alumnado en qué consistía el proyecto y el papel que tendrían como participantes en el mismo. Asimismo, se realizó un breve repaso de los conceptos clave trabajados previamente en la asignatura. Con el fin de evaluar el nivel inicial de los estudiantes, se llevó a cabo una evaluación mediante la herramienta digital Quizizz (actualmente Wayground), que permite crear

cuestionarios interactivos para responder en tiempo real. Se diseñó un cuestionario compuesto por diez preguntas de opción múltiple y una pregunta final de respuesta abierta, destinada a identificar si el alumnado conocía alguna herramienta de edición genética. Durante esta sesión también se retomó el caso práctico previamente trabajado en el aula. Se trataba de una paciente ficticia, la Sra. Martínez, diagnosticada con un cáncer asociado a la mutación *KRAS G12D*, que constituye el eje central del proyecto.

3.2.2 SESIÓN 2

En la segunda sesión se profundizó en el gen *KRAS* y en la proteína que codifica, abordando tanto su estructura como su función dentro de las rutas de señalización celular, así como las implicaciones biológicas de su mutación. Esto permitió reforzar algunos aspectos conceptuales en los que se habían detectado carencias durante la evaluación inicial. Para facilitar la comprensión de la estructura proteica se utilizó el software PyMOL, una herramienta que permite visualizar proteínas en tres dimensiones y resaltar los residuos o regiones de interés, a partir de estructuras obtenidas del Protein Data Bank (PDB). De esta forma, se analizaron tres variantes de la proteína: la forma silvestre (*WT*), la mutación *KRAS G12D* y la mutación *KRAS G12C*, todas ellas unidas a GDP en su forma inactiva.

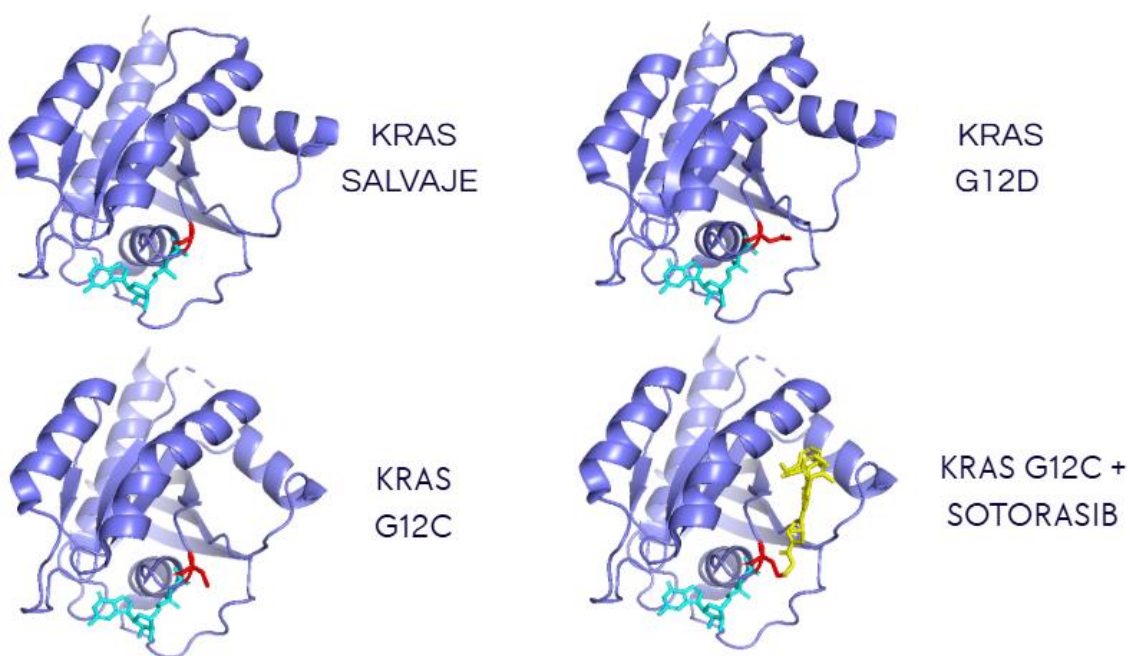


Figura 1. Se muestra la estructura tridimensional de la proteína que codifica *KRAS* en su versión *WT*, y en sus versiones mutadas (*G12D*, *G12D*), en su estado inactivo (unida a GDP). Además, se muestra la unión del inhibidor Sotorasib a *KRAS G12C*. Elaboración propia con PyMOL.

Este análisis permitió introducir las terapias actuales dirigidas contra *KRAS*, mencionando fármacos como Sotorasib (AMG-510, comercialmente conocido como *LumyKRAS*), diseñado específicamente para la mutación *KRAS G12C*, pero no efectivos frente a la mutación de estudio, *KRAS G12D*. Para entender esta limitación terapéutica se elaboró un esquema simplificado que representaba la proteína, las mutaciones y la interacción con el fármaco. A partir de esta explicación se abordaron también algunas limitaciones de los tratamientos actuales, como el desarrollo de resistencias.

Además, se introdujo el trabajo del investigador Mariano Barbacid en el ámbito del cáncer de páncreas, destacando el papel del gen *KRAS* en una estrategia de terapia combinada desarrollada por su equipo, así como la importancia de la financiación público-privada en el ámbito de la investigación.

Como actividad final de la sesión, el alumnado se dividió en dos grupos para participar en un debate en el que debían adoptar el papel de profesionales médicos responsables del caso de la Sra. Martínez. Cada grupo debía argumentar cuál sería la mejor estrategia terapéutica para la paciente: continuar con el tratamiento inicialmente propuesto, o explorar alternativas debido a sus posibles limitaciones. La actividad se estructuró en una primera fase de preparación de argumentos y contraargumentos, y una segunda fase de exposición y debate. Aunque se trataba de una situación hipotética en la que cada grupo debía defender una postura concreta, se aclaró que en la práctica estas opciones no son necesariamente excluyentes. El objetivo de esta sesión era que el alumnado reflexionara sobre la complejidad de cada tipo de cáncer, las limitaciones de los tratamientos actuales y la importancia de un diagnóstico preciso que permita determinar la terapia más adecuada para cada paciente.

Una vez analizadas las limitaciones de las terapias disponibles, se presentó la edición genética como una posible estrategia alternativa. Mientras que muchos tratamientos actuales se centran en inhibir la actividad de la proteína mutada, la edición genética permite intervenir directamente sobre el gen responsable. En este contexto, se introdujo la herramienta CRISPR-Cas9.

3.2.3 SESIÓN 3

La tercera sesión se dedicó a profundizar en este sistema. En primer lugar, se comentó brevemente la historia del descubrimiento de CRISPR, desde la identificación inicial de secuencias repetitivas en el genoma bacteriano por investigadores japoneses hasta la concesión del Premio Nobel de Química en 2020 a Emmanuelle Charpentier y Jennifer Doudna. En este recorrido también se incidió en la contribución del investigador español Francis Mojica, quien acuñó el término CRISPR.

Posteriormente, se explicó el funcionamiento del sistema CRISPR-Cas9, destacando sus componentes principales: el RNA guía (sgRNA) y la nucleasa Cas9. Se describió el proceso mediante el cual el RNA guía reconoce una secuencia específica de DNA y dirige a la enzima Cas9 para producir un corte de doble cadena, así como los dos principales mecanismos celulares de reparación del DNA: la unión de extremos no homólogos y la reparación dirigida por homología. Para facilitar la comprensión del proceso, se utilizó un vídeo en el que se visualizaba su funcionamiento.

Se destacó la especificidad del sistema, explicando el papel de la secuencia PAM y la importancia del diseño adecuado del RNA guía para reconocer la mutación específica *KRAS G12D*. Para reforzar este concepto, se realizó una actividad práctica en la que cada estudiante recibía una tarjeta con una secuencia de DNA o un RNA guía. Algunas secuencias correspondían al gen *KRAS* en su forma silvestre y otras representaban RNA guías incorrectos, lo que impedía el reconocimiento entre ambas. La dinámica permitió explicar de forma sencilla la importancia de la complementariedad de secuencias y la especificidad del sistema CRISPR-Cas9.

A continuación, se aplicó nuevamente el concepto al caso de la Sra. Martínez, planteando el uso hipotético de una nucleasa de alta fidelidad combinada con un RNA guía específico para la mutación *KRAS G12D*. También se discutieron algunas ventajas de esta estrategia, como su elevada especificidad o la posibilidad de reducir la aparición de resistencias al actuar directamente sobre el gen, en lugar de sobre la proteína sintetizada. No obstante, también se abordaron algunas limitaciones, en particular, los posibles efectos off-target.

Este aspecto permitió introducir la electroforesis como técnica de Biología Molecular, utilizada en este caso para detectar cambios en el tamaño de fragmentos de ADN, compatibles con eventos de edición.

Finalmente, se mencionó que este tipo de estrategias se han estudiado ya en modelos animales, presentando brevemente el artículo científico en el que se basaba la propuesta. A modo de curiosidad, también se comentaron algunas estrategias experimentales: por un lado, la terapia CAR-T, que combina inmunoterapia y edición genética para modificar linfocitos T con el fin de que reconozcan células tumorales, y, por otro, el polémico caso de las gemelas Lulu y Nana, embriones editados genéticamente en 2018.

3.2.4 SESIÓN 4

La cuarta sesión comenzó retomando el caso de Lulu y Nana, a petición de una de las alumnas, analizando uno de los vídeos publicados por el propio investigador responsable del

experimento. Esto permitió discutir algunas contradicciones del caso y reflexionar sobre las implicaciones éticas de la edición genética en embriones humanos.

Posteriormente, se continuó la explicación de la electroforesis en gel de agarosa, describiendo su funcionamiento y el equipamiento necesario. De nuevo, la explicación se contextualizó en el caso de la Sra. Martínez. Se planteó el procedimiento experimental hipotético para analizar el efecto de la edición genética, basado en una extracción de células, la aplicación del sistema CRISPR, el aislamiento del ADN y la amplificación de la región de interés mediante PCR. Se explicó que, dado el gran tamaño del genoma, es necesario amplificar la región correspondiente al gen *KRAS* antes de analizarlo mediante electroforesis.

Para facilitar la interpretación de los resultados, se presentó un esquema de un gel de electroforesis con distintas situaciones posibles. En primer lugar, se incluía un marcador de peso molecular y un control negativo. A continuación, se mostraban distintos resultados experimentales: una delección producida tras la reparación del ADN, que generaría un fragmento de menor tamaño, una inserción, que produciría un fragmento mayor, o la obtención de varias bandas, correspondiente a un caso de mosaicismo, en el que diferentes células presentaban modificaciones distintas. El último concepto se relacionó con el fenómeno observado en el caso de las gemelas editadas genéticamente. Finalmente, se presentó el resultado hipotético correspondiente al caso de la paciente, en el que la reparación del ADN había generado una delección.

3.2.5 SESIÓN 5

La quinta sesión consistió en la realización de una electroforesis. Para ello se prepararon previamente las muestras, los materiales y el gel de agarosa, que posteriormente se transportaron al centro educativo. Antes de iniciar la práctica se repasó el procedimiento de preparación del gel y se explicó al alumnado cómo cargar correctamente las muestras en los pocillos. Cada estudiante tuvo la oportunidad de cargar al menos un pocillo, lo que permitió integrar los conocimientos trabajados en las anteriores sesiones.

Mientras se desarrollaba la electroforesis, se plantearon algunas conclusiones del proyecto. Se insistió en que el caso trabajado era hipotético y que, en la actualidad, este tipo de estrategia terapéutica todavía no se aplicaría en pacientes, aunque se encuentra en fase de investigación en modelos animales. Además, se aclaró la diferencia entre edición germinal y edición somática, recalcando que la propuesta planteada para la paciente correspondería a una edición somática, dirigida únicamente a las células afectadas, mientras que la edición germinal implicaría modificaciones heredables que afectan a todas las células del organismo. Además, la edición

germinal no está permitida actualmente. Para comprender esta diferencia, se relacionaron ambos tipos de edición con los ejemplos explicados previamente: el caso de Lulu y Nana como edición germinal y la terapia CAR-T como ejemplo de edición somática.

Finalmente se realizó una evaluación final utilizando el mismo formato de cuestionario interactivo empleado en la sesión inicial, lo que permitió comparar los conocimientos previos y finales del alumnado. La sesión concluyó con la visualización del gel de electroforesis mediante un transiluminador.

3.2.6 PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD DESTINADA A PRIMARIA

Posteriormente, se dedicaron cuatro sesiones adicionales a la preparación de la actividad dirigida al alumnado de Educación Primaria. Durante la primera de estas sesiones, los estudiantes de Bachillerato propusieron algunas ideas, mientras que en las sesiones restantes se centraron en su diseño y elaboración. Para ello, el alumnado se organizó en 3 grupos de trabajo.

El primer grupo se encargó de la parte teórica, elaborando una presentación adaptada al nivel de Educación Primaria con el objetivo de introducir de forma sencilla conceptos básicos relacionados con el ADN, las mutaciones y la edición genética. Esta presentación sirvió, además, como apoyo para las actividades prácticas diseñadas por sus compañeros.

El segundo grupo preparó una actividad introductoria, orientada a trabajar el concepto de mutación y sus diferentes tipos de forma simplificada y manipulativa. En esta actividad, se utilizó la frase “L’ADN és la molècula que conté la informació genètica”, como analogía de un gen. A partir de esta idea, los alumnos de Primaria asumían el papel de “ingenieros genéticos” y debían corregir errores introducidos en la frase, simulando distintos tipos de mutaciones. Para ello, cada grupo recibía una versión modificada de la oración con un error diferente, que debía resolverse mediante la adición, eliminación, sustitución o reordenación de palabras, recortando y pegando las palabras necesarias. Posteriormente, se estableció una relación entre estas modificaciones y los distintos tipos de mutaciones, facilitando así la comprensión del concepto de forma visual y práctica.

Por su parte, el tercer grupo elaboró una actividad de mayor complejidad, centrada en la estructura y secuencia del ADN. Para ello, diseñaron una secuencia de ADN correcta y varias versiones alteradas, de manera que cada grupo de Primaria recibía una secuencia incorrecta que debía corregir. Con el objetivo de adaptar la actividad a su nivel, las bases nitrogenadas fueron representadas mediante cuadrados de colores, y la secuencia correcta se proyectó para que los alumnos pudieran tenerla como referencia. Una vez corregidas las secuencias mediante el recorte y pegado de los elementos correspondientes, se explicó al alumnado que ese sistema de colores representaba el lenguaje de las células, basado en cuatro bases nitrogenadas (A, T, C y G). A continuación, se les propuso traducir la secuencia de colores a su representación real mediante letras.

Finalmente, el alumnado de Bachillerato concluyó la actividad explicando cómo la edición genética permite modificar genes implicados en ciertos tipos de enfermedades, como el cáncer, conectando los contenidos trabajados con aplicaciones biomédicas reales, y elaborando unas conclusiones finales.

3.3 OBJECTIU ESPECÍFICS

Los objetivos del proyecto se plantearon de acuerdo al nivel de cada etapa educativa, y de forma adaptada a las distintas sesiones, en coherencia con las actividades desarrolladas.

3.3.1 PRIMÀRIA

En cuanto a la etapa de Educación Primaria, los objetivos conceptuales se orientan a la comprensión de conceptos básicos, como la estructura y función del ADN, así como la introducción al concepto de mutación y de edición genética como herramienta para corregir estas alteraciones. Todo ello se adapta al nivel educativo a través de explicaciones simplificadas y analogías que facilitan el aprendizaje, como el uso de una oración para representar un gen y sus mutaciones.

Desde la perspectiva procedimental, se plantean actividades manipulativas con el objetivo de favorecer la asimilación de conocimientos de forma práctica, visual y activa. A través de estas actividades, el alumnado trabaja la identificación y corrección de errores en secuencias de ADN, estableciendo una relación entre estas modificaciones y los diferentes tipos de mutaciones, así como la asociación de la corrección al concepto de edición genética.

En cuanto a los objetivos actitudinales, el proyecto se realiza en grupos cooperativos, favoreciendo el trabajo cooperativo y la comunicación, promoviendo además el interés y la curiosidad por la ciencia y la investigación. Además, pretende fomentar una actitud positiva en los más pequeños hacia el trabajo científico, comprendiendo la ciencia como herramienta para mejorar la vida.

3.3.2 SECUNDARIA

A nivel conceptual, el proyecto tenía como finalidad que el alumnado adquiriera y consolidara conocimientos relacionados con la Biología Molecular y la Biotecnología, partiendo de conceptos previos como las mutaciones y su relación con el desarrollo de enfermedades como el cáncer. A partir de esa base, se pudo profundizar en el estudio del oncogén *KRAS* y la proteína que codifica, desde su estructura y función biológica hasta el efecto de sus mutaciones y las estrategias terapéuticas dirigidas a este.

Asimismo, se introdujo el sistema CRISPR-Cas9 como herramienta de edición genética, analizando sus componentes, su mecanismo de acción, su especificidad y algunas aplicaciones relevantes.

Del mismo modo, se abordaron técnicas fundamentales de Biología Molecular, como la PCR y la electroforesis en gel de agarosa, con el fin de comprender su utilidad en el ámbito de la investigación.

Finalmente, durante la intervención en Educación Primaria, estos conocimientos fueron adaptados y simplificados para trabajar conceptos básicos relacionados con el ADN, las mutaciones y la edición genética.

En cuanto a los objetivos procedimentales, el proyecto buscó desarrollar habilidades relacionadas con el trabajo científico, la resolución de problemas y la aplicación práctica de conocimientos teóricos. Para ello, el alumnado participó en actividades de evaluación diagnóstica mediante herramienta digitales como recurso de gamificación, interpretó estructuras proteicas obtenidas a partir del software PyMOL y realizó actividades prácticas de reconocimiento entre secuencias de ADN y ARN guía para comprender la especificidad del sistema CRISPR-Cas9.

Además, se trabajó la interpretación de resultados experimentales a través del análisis de esquemas de electroforesis y la realización de una práctica real de laboratorio, permitiendo

desarrollar habilidades técnicas relacionadas con la manipulación del material de laboratorio y la experimentación en general.

Finalmente, el alumnado diseñó materiales didácticos adaptados a Educación Primaria, favoreciendo la transferencia de conocimiento y la adaptación de contenidos científicos a otros niveles educativos. Además, emplearon herramientas digitales para la elaboración y presentación de contenidos.

Desde el punto de vista actitudinal, el proyecto tuvo como objetivo fomentar el interés por la investigación científica y la biotecnología, promoviendo una actitud activa y participativa durante el proceso de aprendizaje. A través de debates, actividades prácticas y dinámicas cooperativas, se trabajó el pensamiento crítico y la argumentación científica, favoreciendo la reflexión sobre las limitaciones técnicas y las implicaciones éticas de la edición genética. Asimismo, se promovió la autonomía en el aprendizaje, el trabajo cooperativo y la resolución de problemas.

Finalmente, gracias a la preparación e implementación de las actividades dirigidas a Primaria se reforzaron habilidades de comunicación, organización, coordinación y responsabilidad en contextos académicos y de divulgación científica.

3.4 COMPETÈNCIES ESPECÍFIQUES I SABERS BÀSICS

3.4.1 COMPETENCIAS ESPECÍFICAS

3.4.1.1 BACHILLERATO

El presente proyecto toma como referencia algunas de las competencias específicas de la asignatura de Biología de 2º de Bachillerato, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 108/2022, especialmente aquellas relacionadas con la aplicación del método científico y la comunicación de conocimientos científicos:

- CE1: “Explicar fenómenos y resolver problemas relacionados con las ciencias biológicas, utilizando metodologías propias del trabajo científico.” Se desarrolla a través de la resolución del caso clínico planteado como hilo conductor del proyecto, en el que se aplican conocimientos de edición genética y Biología Molecular en una situación concreta. También se ve reforzada por la realización de prácticas experimentales y la interpretación de resultados. Esta competencia está relacionada con las competencias

CE2 y CE3, puesto que requiere de la búsqueda de información, su selección, y el análisis y comunicación de la misma.

- CE2: “Localizar y seleccionar información procedente de diferentes fuentes, analizándola críticamente.” Se trabaja aportando a los estudiantes recursos científicos y audiovisuales, como artículos científicos, herramientas digitales, vídeos explicativos, y otras fuentes fiables a los que pueden acceder para obtener información contrastada. Esto permite al alumnado construir una opinión fundamentada, desarrollando el pensamiento crítico y el razonamiento científico a través de la argumentación.
- CE3: “Comunicar información y datos sobre cuestiones de naturaleza biológica, argumentando con precisión y aplicando diferentes formatos.” Se pone en práctica a través de actividades de debate o especialmente durante la intervención en la etapa de Educación Primaria, en la que el alumnado de Bachillerato transmite contenidos científicos a través de distintos formatos, como presentaciones de diapositivas, exposiciones orales o actividades manipulativas.

Todas estas competencias están relacionadas entre sí, así como con las competencias generales descritas en el apartado 2.4, y se trabajan de forma integrada a lo largo de todo el proyecto.

3.4.1.2 PRIMARIA

En la etapa de Educación Primaria, las competencias específicas trabajadas se enmarcan dentro de la asignatura Conocimiento del Medio Natural, Social y Cultural, conforme al Decreto 106/2022.

- CE2: “Desarrollar proyectos cooperativos acotados y realizar investigaciones sencillas de naturaleza interdisciplinar con la guía y ayuda del profesorado, utilizando estrategias elementales propias del pensamiento de diseño y computacional.”
- CE3: “Plantear y responder preguntas sobre cuestiones de la vida cotidiana relativas al entorno natural, social y cultural aplicando, con apoyo y guía de materiales y del profesorado, el razonamiento científico y la experimentación.”

Ambas competencias se desarrollan mediante las actividades diseñadas y guiadas por el alumnado de Bachillerato, en la que los estudiantes de Primaria trabajan en grupos para resolver

las situaciones planteadas, como la corrección de errores en las secuencias de ADN. De esta forma, se favorece la cooperación, el razonamiento y la toma de decisiones, participando activamente en el aprendizaje.

3.4.2 SABERES BÁSICOS

3.4.2.1 BACHILLERATO

En relación con el marco curricular, y de acuerdo con el Decreto 108/2022, por el que se establece el currículo de Bachillerato en la Comunidad Valenciana, este proyecto se vincula con diversos saberes básicos de la materia de Biología, entendidos como conocimientos esenciales cuya adquisición contribuye al desarrollo de las competencias específicas por parte del alumnado, conforme a la definición establecida en el Real Decreto 243/2022. En particular, se relaciona con el bloque de Experimentación, incluyendo aspectos como el trabajo científico, el uso de fuentes de información científica, la realización de prácticas de laboratorio y la utilización de herramientas digitales y estrategias de comunicación científica.

Asimismo, se conecta con el bloque de Bioelementos y biomoléculas, dado que el proyecto se centra en el estudio del oncogén *KRAS* y de la proteína que codifica, implicada en el desarrollo de determinados tipos de cáncer. Del mismo modo, se vincula con el bloque de Genética Molecular, a través de contenidos como la expresión génica, la síntesis de proteínas, las mutaciones y las técnicas de ingeniería genética y sus aplicaciones, así como con el bloque de Biotecnología.

El proyecto en la etapa de Bachillerato se desarrolla específicamente en el contexto de la asignatura Projecte d'Investigació, la cual tiene un carácter práctico. Esta, según el Decreto 108/2022, tiene como objetivo capacitar al alumnado para la investigación, el tratamiento de la información, la argumentación y la transferencia del conocimiento, entre otras, a través de proyectos desarrollados durante el curso. Sin embargo, no se definen saberes básicos para la misma, puesto que las competencias a desarrollar son definidas por cada centro. Es por este motivo por el que, en este caso, se toman como referencia los saberes básicos y competencias del currículo de Bachillerato correspondientes a la materia de Biología.

3.4.3 EDUCACIÓN PRIMARIA

Por otro lado, de acuerdo con el Decreto 106/2022, que establece el currículo de Educación Primaria en la Comunidad Valenciana, este proyecto se enmarca dentro del bloque de Cultura

Científica, concretamente en lo relativo al desarrollo del pensamiento científico y la experimentación.

3.5 EVALUACIÓN

Tal y como sostienen Fernández et al. (2020), existen varios tipos de evaluación según la función y la finalidad de la misma, pudiendo distinguir entre evaluación inicial, formativa, formadora y evaluación de resultados o sumativa. En este caso, se van a aplicar varios tipos de evaluación con el objetivo de valorar el proceso de aprendizaje del alumnado.

En el caso de la evaluación inicial, su función es fundamentalmente diagnóstica, y tiene como objetivo identificar los conocimientos previos que posee el alumno. Por este motivo, al inicio del proyecto se planteó un cuestionario inicial con el objetivo de establecer un punto de partida. Este se diseñó con la herramienta Quizizz o Wayground, puesto que, además de ser un recurso de gamificación que ofrece recompensas en forma de puntos, es de acceso libre y gratuito, permite trabajar online, y a diferencia de otras herramientas similares, las respuestas aparecen a cada alumno siguiendo un orden distinto. Otro aspecto positivo de la misma es que genera un informe con los resultados del cuestionario, de forma global pero también de forma individualizada, lo que permite llevar a cabo una evaluación del proceso de aprendizaje de cada alumno.

El cuestionario inicial contó con 10 preguntas, 9 de tipo test y 1 una pregunta abierta. Las preguntas tipo test eran preguntas sencillas, que abarcaban varios conceptos que iban a ser trabajados y que eran necesarios como base del proyecto. Así, se pudo comprobar el nivel inicial del alumnado, y reorientar el resto de sesiones en función de este, adaptándose a las necesidades de los estudiantes. Por otro lado, la pregunta abierta tenía como objetivo identificar si el alumnado conocía alguna técnica de edición genética. Se observó que la mayoría de ellos no conocían ninguna o no la recordaban, excepto un alumno que respondió mencionando CRISPR.

Para analizar los resultados obtenidos, se han dividido las preguntas por bloques temáticos principales, y se ha calculado la media del porcentaje de aciertos en cada bloque para toda la clase, es decir, de forma global.

Fuera de estos bloques temáticos se evaluaron también conocimientos básicos como qué es el cáncer, los tipos de mutaciones o algún recordatorio sobre el caso clínico trabajado. El alumnado respondió favorablemente a estas preguntas, por lo que no fue necesario incidir en las restantes sesiones ya que contaban con una base adecuada.

Como se observa en la Tabla 3, el alumnado poseía ciertos conocimientos sobre el oncogén *KRAS*, puesto que había sido trabajado previamente con la profesora. La gran mayoría comprendía la función de la PCR, puesto que pertenece al temario de 2º de Bachillerato y también había sido trabajado con la profesora. En cambio, no comprendían correctamente el concepto de oncogén, y además no mostraron tener ningún conocimiento sobre técnicas de edición genética.

Tabla 3. Resultados del cuestionario inicial.

Conceptos	Número de pregunta	Aciertos (%)	Media (%)
Oncogén	2	9	14
KRAS	4	82	67
	5	91	
	8	27	
PCR	9	82	82
Edición genética	10	9	9

Nota: La primera columna hace referencia a los bloques temáticos en los que se han agrupado las preguntas, mientras que la segunda pregunta hace referencia a las preguntas correspondientes a cada bloque temático, representadas por el número. La tercera columna corresponde al porcentaje de aciertos en cada pregunta. En la cuarta columna se muestra la media del porcentaje de aciertos para cada bloque temático.

Durante el proyecto, como ya se ha mencionado, se llevaron a cabo algunas actividades prácticas, de argumentación, de interpretación, o de transferencia de conocimientos, que demostraron que los estudiantes han llevado a cabo un proceso de aprendizaje, lo que se corresponde con una evaluación formativa.

Además, y de acuerdo con el marco regulativo vigente, se aplicaron ciertos criterios de evaluación en lo referente al desarrollo de competencias establecidas. Se comprobó que el

estudiante era capaz de llevar a cabo experiencias prácticas utilizando material de laboratorio, así como de interpretar y analizar resultados. Asimismo, las actividades de debate y argumentación permitieron evaluar la capacidad de comunicación y de razonamiento crítico. Los alumnos mostraron una actitud positiva y reflexiva hacia diferentes posturas, y fueron capaces de comunicarlas y argumentarlas.

La evidencia definitiva del aprendizaje significativo se manifestó a través de la intervención en Primaria. El alumnado de 2º de Bachillerato diseñó sin dificultades varias actividades para trabajar con los alumnos de 6º de Primaria, demostrando la adquisición de conocimientos complejos y una clara capacidad de transmitirlos a través de diferentes formatos. Esta fase refuerza la función formadora de la evaluación, y demuestra el desarrollo de la competencia de aprender a aprender.

Por último, se comprobaron los avances del alumnado a través de un cuestionario final, llevando a cabo una evaluación sumativa a través de un cuestionario inicial. Este tipo de evaluación permite valorar los resultados obtenidos al final de un proceso de enseñanza-aprendizaje y las diferencias entre el punto de partida y el punto final (Fernández et al., 2020). Para el diseño de este cuestionario final se empleó de nuevo Quizizz. A diferencia del cuestionario inicial, en este se incluyeron conceptos más complejos que habían sido trabajados a lo largo de las 5 sesiones.

En cuanto al análisis de resultados, para poder hacer una comparativa entre el punto de partida y el punto final, se agruparon las preguntas en los mismos bloques temáticos. De acuerdo con la Tabla 4, se observa claramente que, tras las 5 sesiones, el alumnado domina los conocimientos sobre el gen *KRAS*, la PCR o la edición genética.

Tabla 4. Resultados del cuestionario final.

Conceptos	Número de pregunta	Aciertos (%)	Media (%)
Oncogén	1	33	33
KRAS	2	100	93
	5	100	
	7	78	
PCR	3	100	100
Edición genética	8	89	63
	9	11	
	11	89	

En la Tabla 5 se muestra como, en general, hay una clara mejora respecto a los conocimientos previos, así como un proceso de aprendizaje en la mayoría de los alumnos.

Tabla 5. Comparativa entre el cuestionario inicial y el cuestionario final.

Conceptos	Aciertos Pre (%)	Aciertos Post (%)	Incremento
Oncogén	14	33	19
KRAS	67	93	26
PCR	82	100	18
Edición genética	9	63	54

Por otro lado, en la Figura 2 se puede observar ese aumento en el porcentaje de aciertos de forma global, habiendo un aumento significativo de los conocimientos sobre *KRAS*, PCR y edición genética, alcanzándose un 100 % de aciertos en el caso de la PCR, demostrando un dominio total del concepto. Es decir, los conceptos sobre PCR y *KRAS* se vieron reforzados respecto a la situación de partida. En el caso de los bloques sobre *KRAS* y edición genética, la mejora también es significativa, habiendo más del 50% de aciertos en ambos casos.

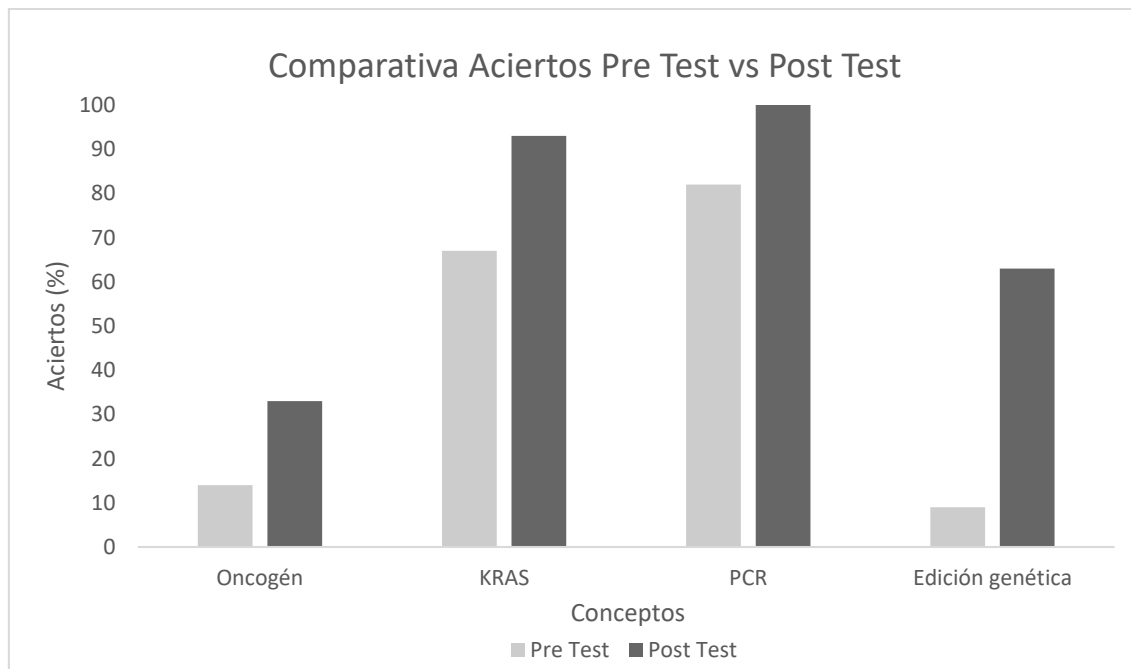


Figura 2. Gráfico de barras que representa la comparativa entre el test inicial (Pre Test) y el test final (Post Test), siendo el eje Y el porcentaje de aciertos y el eje X los conceptos trabajados. En azul claro se representan los resultados correspondientes al test inicial, mientras que en azul oscuro los correspondientes al test final.

En realidad, además de este análisis cuantitativo, merece la pena profundizar en un análisis cualitativo, teniendo en cuenta la clara diferencia de complejidad entre ambos test. Durante el cuestionario inicial, se plantearon preguntas muy básicas, y apenas ninguna hacía referencia a la edición genética, únicamente la pregunta de respuesta abierta. En cambio, en el cuestionario final, se abordan varias preguntas referentes al funcionamiento de CRISPR-Cas9. Es decir, el alumnado pasa de no conocer prácticamente ninguna técnica de edición genética, a poseer conocimientos específicos sobre una de ellas. Por ejemplo, el 89% sabe cuál es la función del RNA guía (Pregunta 11) o cuál es el componente que produce el corte en el DNA (Pregunta 8), lo cual implica que además de conocer la técnica, comprenden su mecanismo de acción.

Por otro lado, también se incluyeron algunas preguntas sobre electroforesis, que no habían sido planteadas con anterioridad, así como otras referentes a las terapias existentes dirigidas a *KRAS*. Esto demuestra un aumento significativo de la dificultad, así como la consolidación de conocimientos previos o la adquisición de otros nuevos.

4 CONCLUSIONS

Principals conclusions extretes per l'equip en el procés d'elaboració del projecte

En el proceso de elaboración del proyecto se han podido extraer varias conclusiones. En primer lugar, se ha logrado adaptar conceptos científicos complejos al contexto de Bachillerato. Esto refleja la importancia de diseñar las actividades adecuadas y emplear los recursos necesarios para contribuir al aprendizaje de los alumnos, el cual se ha visto reforzado cuando el alumnado se ha sentido involucrado en el proceso y ha llevado a cabo una participación activa.

Se ha visto a los estudiantes mucho más implicados y receptivos cuando se han conectado los contenidos teóricos con aplicaciones y situaciones científicas reales, que han despertado su curiosidad e interés por la ciencia.

Por otro lado, se ha manifestado una clara necesidad de flexibilidad en la planificación de las actividades, siendo esencial una adaptación al ritmo del alumnado y a los posibles imprevistos que surgen en el día a día del aula.

Además, el proyecto ha permitido el desarrollo de algunas habilidades, en cuanto a la gestión del tiempo, la adaptación y comunicación del contenido o la planificación didáctica, que pueden ser útiles en el futuro profesional, especialmente en el ámbito educativo.

Conclusions dels alumnes:

Los alumnos participaron en un formulario de forma anónima para valorar el proyecto. Un 66,7% de los alumnos que han completado el formulario considera que el proyecto le ha ayudado a entender conceptos trabajados previamente, y que ha aprendido cosas nuevas. Además, cada uno ha puntuado el proyecto individualmente, obteniendo una nota media de 9,09.

Por otro lado, se les preguntó qué era lo que más y lo que menos les había gustado del proyecto. Mientras que algunos opinaron que lo que más les había gustado eran las explicaciones o la visita a Primaria, para otros esto era lo que menos les había gustado, lo que refleja la diversidad de intereses y motivaciones del alumnado. Además, algunos consideran la práctica de la electroforesis o *“aprender la teoría de la clase aplicada a la vida real”* como sus partes favoritas.

Por último, creen que durante el proyecto han aprendido cosas que le servirán en el futuro. Algunos destacan *“cómo enseñar”*, *“la práctica de electroforesis”* o *“la edición genética y su relación con el cáncer y otras enfermedades”*.

Conclusions de l'equip docent:

La profesora responsable de 2º de Bachillerato, Laia Pérez Muñoz, valora de forma positiva tanto la implicación en la preparación previa como el trabajo realizado durante el desarrollo de las sesiones. En este sentido, destaca mi actitud proactiva mostrada desde el inicio del proyecto, subrayando la importancia de la preparación previa y de la contextualización de la intervención: *“En primer lloc, va mostrar una actitud molt proactiva des del principi: abans d'iniciar les seues intervencions, va vindre al centre per conèixer de primera mà els projectes i continguts que l'alumnat estava treballant. Aquesta preparació prèvia li va permetre adaptar perfectament les seues explicacions al nivell i interessos del grup.”*

Asimismo, Laia considera que las explicaciones teóricas presentaron un nivel adecuado y accesible para el alumnado, recalcando la capacidad de integrar el fundamento teórico con la aplicación práctica de una forma pedagógica, que ha favorecido la conexión con el grupo y la comprensión de los contenidos.

Por otro lado, valora el trabajo realizado para relacionar la electroforesis con el proceso de edición genética. Esta actividad surgió puesto que ella planteó al inicio del proyecto la posibilidad de incorporar esta práctica con el alumnado, de manera que destaca mi capacidad para adaptarla e integrarla de forma coherente en el proyecto.

En relación con la adaptación de los contenidos a Primaria, Laia recalca mi capacidad de organización, supervisión y acompañamiento, así como la participación activa y la implicación a lo largo del proceso.

Finalmente, a modo de valoración global, concluye: *“En conjunt, la seua actitud, implicació, capacitat comunicativa i rigor científic han sigut excel·lents. Ha demostrat una gran habilitat per adaptar continguts complexos a diferents nivells educatius. La seua aportació ha enriquit notablement el treball del grup i ha sigut un exemple de bona pràctica en divulgació científica”*.

5 VALORACIÓ DEL PROJECTE

La valoración global del proyecto es positiva y ha supuesto una experiencia enriquecedora, que ha permitido el aprendizaje y el desarrollo de nuevas habilidades, especialmente a nivel profesional en el ámbito de la educación y la divulgación científica.

La posibilidad de participar en este tipo de iniciativas supone una oportunidad para los estudiantes de grado que buscan explorar salidas profesionales alternativas y desarrollar habilidades relacionadas con la comunicación y la transferencia del conocimiento científico.

Además, la implicación de la profesora responsable del instituto durante todo el proceso ha favorecido el desarrollo de la intervención y una experiencia más cercana, facilitando la integración en el aula y con el grupo. De la misma manera, la orientación de la tutora ha sido fundamental para estructurar el proyecto, y en particular para el desarrollo de la práctica de electroforesis.

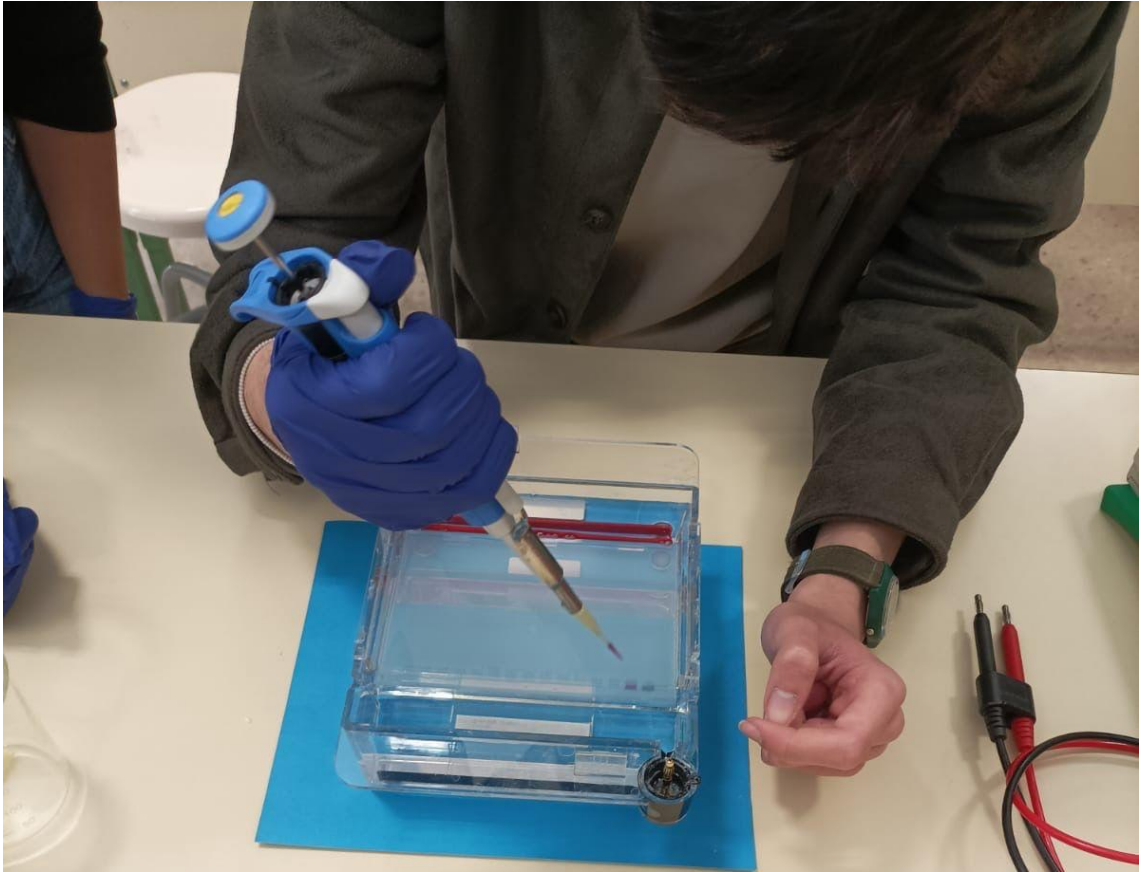
A pesar de que el proyecto ha presentado algunas dificultades, principalmente por la complejidad del contenido, su adaptación y por la gestión del tiempo, se ha logrado transferir los conocimientos y cumplir con los objetivos propuestos inicialmente. Esto también permite reflexionar sobre los aspectos a mejorar, como una mejor previsión temporal y una mayor anticipación ante posibles imprevistos. Teniendo en cuenta las valoraciones de los estudiantes, podría considerarse una reducción o reorganización del contenido teórico, aunque la evaluación inicial mostró algunas carencias conceptuales que evidenciaban la necesidad de los mismos. En este sentido, podrían reestructurarse las sesiones de acuerdo con los intereses de la totalidad de los alumnos, para lograr que todos ellos se sientan involucrados. A pesar de ello, el balance del proyecto es satisfactorio, refuerza el valor de este tipo de iniciativas como herramienta para acercar la ciencia al aula, así como el papel de los docentes en la motivación, la educación y la formación del alumnado.

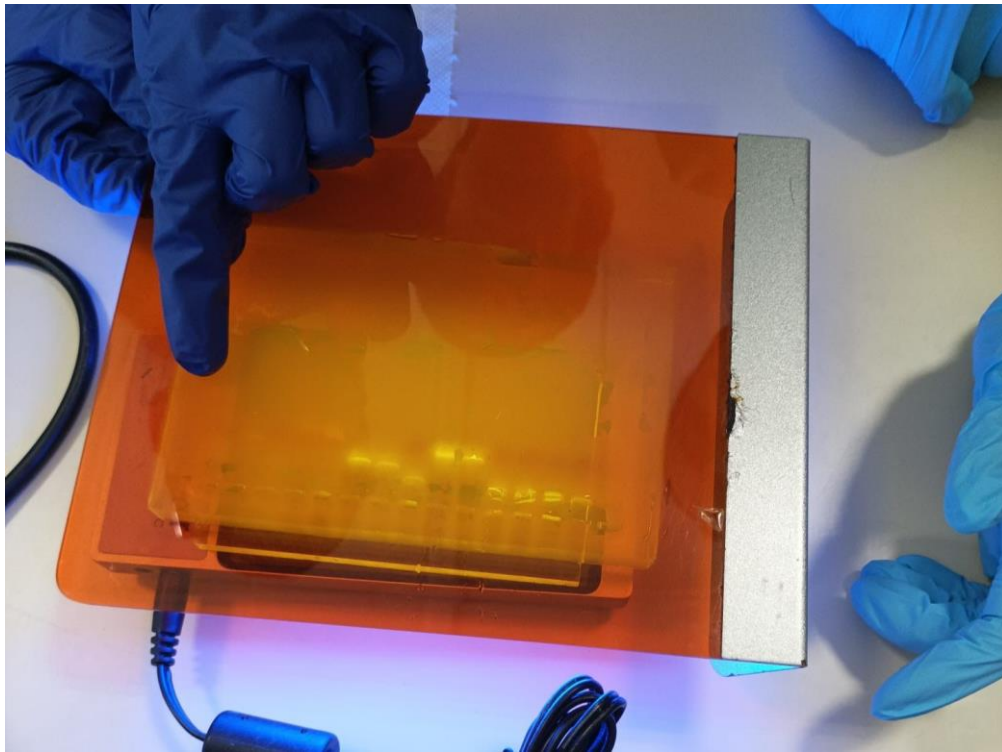
6 IMATGES DEL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE















7 EXPOSICIÓ DE LES DIFICULTATS PER DESENVOLUPAR EL PROJECTE

El desarrollo del proyecto se vio facilitado por los conocimientos previos del alumnado de Bachillerato, así como por la coordinación con la profesora responsable, que ya había trabajado algunos de los conceptos con anterioridad.

Sin embargo, se encontraron algunas dificultades durante la intervención. En primer lugar, la adaptación de los contenidos al nivel educativo y la gestión del tiempo disponible en cada sesión, lo que condicionó parcialmente el desarrollo de algunas actividades, como el debate o la práctica de electroforesis.

En el ámbito pedagógico, al inicio del proyecto fue necesario un periodo de adaptación para fomentar la participación activa del alumnado y establecer una dinámica de confianza en el aula. Esta situación mejoró progresivamente a lo largo de las sesiones, observándose una mayor implicación por parte de los alumnos.

En relación con las herramientas y recursos digitales empleados, surgieron varios imprevistos. En particular, el cuestionario inicial no permitió la visualización de resultados en tiempo real, lo que limitó su funcionalidad. Este aspecto fue corregido en la sesión final, en la que el cuestionario se desarrolló con normalidad. Además, hubo algunos problemas técnicos en cuanto a los recursos audiovisuales utilizados, pero nada que impidiese la explicación del contenido ni que afectase a la sesión.

A pesar de estas dificultades, el desarrollo de las actividades propuestas fue tal y como lo esperado por parte del alumnado, que fue capaz de alcanzar los objetivos planteados.

8 BIBLIOGRAFÍA

Alsawaier, R. S. (2018). The effect of gamification on motivation and engagement. *International Journal of Information and Learning Technology*, 35(1), 56–79. <https://doi.org/10.1108/IJILT-02-2017-0009>

Bermúdez Mendieta, J. (2021). El aprendizaje basado en problemas para mejorar el pensamiento crítico: revisión sistemática. *Innova Research Journal*, 6(2), 77-89. <https://doi.org/10.33890/innova.v6.n2.2021.1681>

- Decreto 106/2022, de 5 de agosto, del Consell, de ordenación y currículo de la etapa de Educación Primaria. (2022). *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, (9402). <https://ceice.gva.es/es/web/ordenacion-academica/primaria/curriculo>
- Decreto 108/2022, de 5 de agosto, del Consell, por el que se establecen la ordenación y el currículo de Bachillerato. (2022). *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, (9404). <https://ceice.gva.es/es/web/ordenacion-academica/bachillerato/curriculo>
- Fernández, M. À. P., Sanmartí, N., & Oró, I. (2020). Evaluar para aprender con el apoyo de herramientas y recursos digitales. *Aloma: revista de psicologia, ciències de l'educació i de l'esport Blanquerna*, 38(2), 9-20. <https://doi.org/10.51698/aloma.2020.38.2.9-20>
- Hasram, S., Arif, F., Nasir, M., Mohamad, M., Daud, M., Rahman, M., & Mohammad, W. (2020). Online Games for Primary School Vocabulary Teaching and Learning: A Literature Review. *Creative Education*, 11, 2327-2336. <https://doi.org/10.4236/ce.2020.1111170>.
- Khalil, A. M. (2020). The genome editing revolution: review. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1), 68. <https://doi.org/10.1186/s43141-020-00078-y>
- Khan, S. H. (2019). Genome-Editing Technologies: Concept, pros, and cons of various genome-editing techniques and bioethical concerns for clinical application. *Molecular Therapy — Nucleic Acids*, 16, 326–334. <https://doi.org/10.1016/j.omtn.2019.02.027>
- Mendía, R. (2010). Aprendizaje y servicio solidario: un escenario potente para el desarrollo de las competencias básicas. *Arbela: Hezkuntza Aldizkaria*, 42, 59-66. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3241333>
- Pastor, C. A., Sánchez, J. M., & Zubillaga, A. (2014). *Diseño Universal para el aprendizaje (DUA)*. http://www.educadua.es/doc/dua/dua_pautas_intro_cv.pdf
- Real Decreto 243/2022, de 5 de abril, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas del Bachillerato. (2022) *Boletín Oficial del Estado*, (82). <https://www.boe.es/eli/es/rd/2022/04/05/243>
- Zambrano Briones, M. A., Hernández Díaz, A., & Mendoza Bravo, K. L. (2022). El aprendizaje basado en proyectos como estrategia didáctica. *Conrado*, 18(84), 172-182. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1990-86442022000100172&lng=es&tlng=es