

# Retos en la implementación del ABP sobre investigación biomédica en Formación Profesional

María Villar-López 

*Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela. España.*  
[maria.lopez.villar@usc.es](mailto:maria.lopez.villar@usc.es)

Paloma Blanco-Anaya 

*Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela. España.*  
[paloma.blanco@usc.es](mailto:paloma.blanco@usc.es)

[Recibido: 10 octubre 2023, Revisado: 17 julio 2024, Aceptado: 5 septiembre 2024]

**Resumen:** Este artículo presenta una propuesta de Aprendizaje Basado en Proyectos implementada en un aula de Formación Profesional para abordar una investigación biomédica con el alumnado del módulo de Biología Molecular y Citogenética. El objetivo de este trabajo consiste en detectar los retos y las adaptaciones requeridas a lo largo del proyecto para atender a las necesidades del alumnado y la valoración del proyecto en términos de preparación para el mundo laboral. Se sigue una metodología basada en el diseño que nos permite realizar un análisis de los cambios realizados en el proyecto para atender a los retos presentados, así como una categorización de los beneficios señalados por los 21 participantes como aportaciones del proyecto a su futuro profesional, entre ellos mejorar su capacidad para trabajar en equipo y una mejora en la adquisición de conocimientos científicos.

**Palabras clave:** Investigación biomédica; Formación Profesional; Aprendizaje basado en proyectos

## Challenges in the PBL implementation about biomedical research in vocational training

**Abstract:** This article presents a Project-Based Learning proposal implemented in a Vocational Training classroom to address biomedical research with the students of the Molecular Biology and Cytogenetics module. The objective is to detect challenges and adaptations required throughout the project to attend the needs of the students and the assessment of the project in terms of preparation for the world of work. A design-based research methodology is followed that allows us to carry out an analysis of the changes made to the project to meet the challenges presented, as well as a categorization of the benefits pointed out by the 21 participants as project's contributions to their professional future, among them the improvement of their ability to work- team and a better acquisition of scientific knowledge.

**Keywords:** Biomedical research; Vocational training; Project Based Learning

---

**Para citar este artículo:** Villar-López, M. y Blanco-Anaya, P. (2024). Retos en la implementación del ABP sobre investigación biomédica en Formación Profesional. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*. 21(3), 3202. doi:10.25267/Rev\_Eureka\_ensen\_divulg\_cienc.2024.v21.i3.3202

---

## Introducción

Los descubrimientos en las ciencias biomédicas en los últimos 20 años, y especialmente su aplicación práctica, han supuesto cambios radicales en la vida de la humanidad (Sentí Clapés et al., 2018), lo cual a su vez ha provocado el planteamiento de cuestiones sociales de gran relevancia como son la investigación biomédica o la terapia génica. Sin embargo, esta revolución científica en torno al estudio de la genética contrasta con el tratamiento que estos aspectos suelen recibir en el currículum tanto de educación secundaria como en Formación Profesional (en adelante FP). Como señala Domènech-Casal (2016), aspectos relacionados con la investigación genética actual, como la farmacogenómica, se siguen trabajando poco en las aulas y de hacerlo se hacen de forma desconectada a sus aplicaciones biomédicas, y a los métodos utilizados en la investigación genética (Stern y

Kampourakis, 2017), para poder abordar cuestiones cruciales como el estudio de enfermedades.

La demanda de vincular el aprendizaje a contextos reales y al plano laboral todavía perdura, especialmente en el ámbito de la FP, en la que se sigue trabajando el aprendizaje por repetición de la resolución de problemas, sin centrarse en el significado ni en la reflexión del proceso seguido (Fabregat y Gallardo, 2019). Actualmente, organismos como la OCDE (2020) ponen el énfasis en que los ciudadanos deben ser capaces de emplear el conocimiento científico para tomar decisiones ante cuestiones controvertidas que se debaten hoy en día y con capacidad crítica. Para ello el Aprendizaje Basado en Proyectos (en adelante ABP) es una estrategia que favorece la conexión entre lo que se aprende en los centros educativos y lo que sucede en el mundo real, de forma que el aprendizaje adquirido capacite para actuar y para seguir aprendiendo (Sanmartí y Márquez, 2017). Aunque esta metodología es poco frecuente en FP, Parra Arroyo (2020) señala que los centros educativos de FP están organizados para albergar metodologías didácticas tradicionales, demandando un cambio profundo en la cultura y funcionamiento del centro educativo que propicie el aprendizaje basado en proyectos.

En este artículo se presenta un proyecto implementado en el ciclo superior de laboratorio de diagnóstico clínico y biomédico, centrado en el estudio de una enfermedad neurodegenerativa con componente genética, la enfermedad de Niemann-Pick, catalogada dentro de las enfermedades raras. Este tipo de enfermedades constituyen una de las nuevas causas de mortalidad, cuya tendencia está creciendo más rápidamente (Garcés et al., 2016) y las cuales representan, en su conjunto, un porcentaje significativo de la sociedad (Sauce y Callado, 2016). El propósito del proyecto es involucrar al alumnado en una investigación biomédica mediante el desarrollo de una enfermedad rara en un organismo modelo y un estudio de eficacia de compuestos (fármaco-químico y compuesto homeopático) para uno de los síntomas que padecen las personas afectadas por esta enfermedad.

Este estudio pretende contribuir al conocimiento sobre las dificultades y beneficios que aporta el ABP en una etapa educativa poco explorada, la FP. El objetivo consiste en detectar los retos y las adaptaciones requeridas a lo largo del proyecto para atender a las necesidades del alumnado y la valoración del proyecto en términos de preparación para el mundo laboral que realiza el alumnado. Este objetivo se desglosa en las siguientes preguntas de investigación (PI):

PI 1: ¿Qué retos ha supuesto la implementación del proyecto?

PI 2: ¿Qué beneficios considera el alumnado participante que les aportó el proyecto para su futuro profesional?

## **El aprendizaje basado en proyectos en la Formación Profesional**

La FP es un tipo de educación muy arraigada a la adquisición de técnicas y conocimientos muy específicos para una profesión. No obstante, también debe estar orientada a preparar a los estudiantes para el mundo laboral, en el cual se demanda en los trabajadores destrezas, denominadas del siglo XXI (Partnership for 21st Century Skills, 2010), tales como el pensamiento crítico, la resolución de problemas, la comunicación, colaboración, creatividad e innovación.

El ABP tiene una perspectiva constructivista, al enfocar el aprendizaje a través de la resolución de problemas que hacen que los estudiantes tengan un papel activo (Domènech-Casal et al., 2019), lo que a su vez promueve el aprendizaje social (Bell, 2010), el trabajo cooperativo, la comunicación oral, entre otras competencias clave en el ambiente profesional. En una revisión sistemática de la literatura, realizada por Megayanti et al.

(2020), se analizaron catorce proyectos desarrollados en el marco de la FP de los cuales se extrae que esta metodología contribuye en los estudiantes en una mejora en cuanto a 1) su motivación, al comprometerlos con el proceso de aprendizaje, 2) la comunicación de resultados y de intercambio de conocimiento entre iguales, 3) su pensamiento crítico, al promover el cuestionamiento y buscar información, 4) la creatividad a la hora de enfocar el problema, 5) el desarrollo de destrezas superiores de pensamiento relacionadas con la capacidad para resolver problemas y 6) sus habilidades para colaborar y cooperar con otras personas en la resolución de problemas.

Autores como Fabregat Pitarch y Gallardo Fernández (2019) consideran que este tipo de metodología tiene aplicaciones que van más allá de la propia aula, pues consideran que tiene aplicación en el quehacer diario de la vida del alumnado, y de lo que será en su vida profesional.

### **Prácticas científicas y pensamiento crítico en ABP**

En el ámbito de la enseñanza de las ciencias, el ABP ha sido una estrategia bien acogida al permitir que el estudiantado construya sus propias ideas científicas e interactúe con otras personas a partir de actividades que les permitan expresar, usar y evaluar sus ideas (Sanmartí y Márquez, 2017), así como ser una metodología privilegiada para el despliegue de los objetivos STEM (Domènech-Casal, 2018) y de habilidades propias del pensamiento crítico, otorgándose en la actualidad gran importancia a éste en los contextos laborales, siendo además una competencia difícil de encontrar en los individuos (Bezanilla-Albisua et al., 2018).

Las situaciones de aprendizaje que promuevan las capacidades científicas a través de las prácticas epistémicas, es decir, prácticas relacionadas con el propio hacer de la comunidad científica (Kelly, 2008) están en coherencia con el ABP, pues dicho enfoque despierta la curiosidad del alumnado por el aprendizaje de las ciencias, captando su interés y motivando su estudio (Crujeiras y Cambeiro, 2018). El proyecto que se implementa tiene en cuenta uno de los principios del ABP al atender los intereses del alumnado, en este caso, sobre el qué y el cómo investigar, contribuyendo a la indagación. Además, el intercambio de opiniones durante el diseño e interpretación de resultados de la investigación les involucra en las prácticas de argumentación y modelización.

El proyecto que se presenta a continuación se fundamenta especialmente en la indagación, pues requiere que los estudiantes utilicen el conocimiento teórico y las habilidades para resolver un interrogante vinculado a la investigación biomédica, mejorando de esta manera sus destrezas para diseñar procedimientos y elaborar conclusiones (Crujeiras y Jiménez-Aleixandre, 2015). Ello implica que el alumnado emplee pruebas para llegar a las conclusiones o generar explicaciones, fundamental en la argumentación, pues permiten evaluar el conocimiento construido (Osborne, 2014) de forma crítica al tener que emitir un juicio razonado (Puig et al., 2023), como resultado de interpretar, analizar, evaluar las pruebas y criterios en las que se basa dicho juicio (Facione, 1990). Así como la revisión cíclica de los constructos teóricos (Justi y Gilbert, 2002) y el uso de modelos materiales, a lo largo del proyecto, provoca que el alumnado se involucre en prácticas propias de la modelización.

### **Proyectos educativos previos con el pez cebra**

El pez cebra (*Danio rerio*) resultó ser esencial para la investigación biomédica como organismo modelo, pues existe una homología substancial con el genoma de nuestra especie, dado que un 85% de genes, que pueden inducir enfermedades en humanos, se

conservan en el pez cebra (Howe et al, 2013). No obstante, las aplicaciones de este organismo van más allá del ámbito de la biología molecular. Como indica Espinosa (2016) el pez cebra presenta un potencial prometedor dentro de la comunidad educativa, donde cada vez son más, los trabajos que incorporan este modelo biológico como herramienta didáctica en actividades muy diversas para la enseñanza de las ciencias, tales como en el proyecto de Molina Cimadevilla (s.f.) “*Aprende con danio*”, en el que se trabajan competencias clave del currículo LOMLOE a través de distintas actividades relacionadas con el ciclo biológico de este organismo o su cría destinadas a niveles educativos tanto de infantil, primaria y secundaria.

Por otro lado, autores como Guerra-Varela et al. (2016) proponen en “*Una cebra en el agua*” un proyecto destinado al alumnado de secundaria, en el cual a través de distintas actividades se persigue despertar las vocaciones científicas, también a través del ciclo biológico y el mantenimiento del hábitat de este organismo, pero añaden una herramienta virtual para realizar simulaciones, con la finalidad de comprender conceptos básicos de herencia mendeliana o transgénesis.

Otro ejemplo de la versatilidad de este organismo en educación se muestra en el trabajo de Tomaszewicz, et al. (2014) para el alumnado de secundaria. En esta experiencia didáctica, se emplean embriones de pez cebra para el análisis del efecto de tóxicos de uso común, como el etanol, la cafeína o la nicotina.

El trabajo que aquí se presenta, complementa a los anteriores abarcando cuestiones que van más allá del mantenimiento y el ciclo biológico, usos que como indican Singleman y Holtzman (2014) eran los que se le daban tradicionalmente al pez cebra en educación. Se pide al alumnado que forme parte de manera directa en el proceso de investigación, tomando decisiones sobre el qué investigar y el cómo hacerlo en relación a una enfermedad humana, por otro lado, se emplea el pez cebra para estudios de toxicidad aguda, pero integrando este uso del pez cebra como parte del proyecto, no como una propuesta cerrada. Se busca extender las aplicaciones de este organismo a otros niveles educativos como es la FP, pues no hemos encontrado en la bibliografía ningún trabajo que muestre el potencial de este organismo aplicado a este nivel educativo, lo que nos parece interesante de cara a que el alumnado pueda aplicar sus conocimientos a situaciones reales dentro de la investigación biomédica, lo cual consideramos que va a repercutir en que gane confianza, mejore su capacidad crítica y su formación de cara al mercado laboral.

## Metodología

La metodología de este estudio sigue un diseño basado en la investigación cuya finalidad es testar innovaciones educativas que se implementan en el aula y que generen distintos materiales, procesos y estrategias, que aportan un mejor ambiente de aprendizaje (Design-Based Research Collective, 2003).

Asimismo, se aplica una metodología cualitativa en cuanto a que se realiza un análisis en profundidad de la propuesta didáctica, para describir las distintas adaptaciones que consideramos necesarias para la buena ejecución de la propuesta.

## Participantes y contexto

Han participado 21 estudiantes (16 mujeres y 5 hombres) todos mayores de edad del Ciclo Superior de Laboratorio de Diagnóstico Clínico y Biomédico, concretamente el estudiantado del Módulo de Biología Molecular. El alumnado trabajó en pequeños grupos, distribuidos en 5 grupos de 4 integrantes cada grupo, excepto un grupo en el participaron 5 integrantes.

La docente es profesora en FP desde el año 2008 e imparte docencia en el módulo de biología molecular y citogenética desde el año 2017. Es licenciada en enfermería, posee un máster en condiciones genéticas, ambientales y nutricionales en el desarrollo por la misma universidad y en la actualidad está realizando su tesis doctoral dentro del área de biomedicina. La docente no estaba familiarizada con el ABP ni con el pensamiento crítico, de una forma consciente.

### **Toma y análisis de datos**

La recogida de datos se realizó mediante grabaciones en audio y vídeo de todas las actividades implementadas a lo largo de la propuesta didáctica, así como notas de campo llevadas a cabo en el aula en el transcurso de las sesiones.

Para dar respuesta a la primera pregunta de investigación, se analizaron las transcripciones de las grabaciones de la implementación del proyecto, identificando aquellos momentos en los que el diseño inicial del mismo tuvo que verse modificado, en mayor o menor profundidad, para dar respuesta a las necesidades del alumnado y de la docente. Así, se detectaron un conjunto de retos que se categorizaron en 1) refuerzo de conocimientos, 2) inquietudes del estudiantado, 3) recursos materiales disponibles y temporalización.

Con la finalidad de conocer los beneficios que aportó el proyecto en la formación del alumnado, se les realiza un cuestionario final con tres preguntas abiertas “¿Qué fue lo que más te gustó del proyecto?” “¿Qué fue lo que menos te gustó del proyecto?” “¿Qué aportó el proyecto para tu futuro profesional?”. Para dar respuesta a la segunda pregunta de investigación, se analizaron las respuestas de los 21 participantes a la última de estas tres preguntas. Dichas respuestas se agruparon en 6 categorías que emergen de los datos obtenidos y las cuales se muestran en la tabla 2, las categorías son las siguientes: adquisición de destrezas de la competencia científica, adquisición de técnicas de laboratorio.

### **Descripción del proyecto: estudio de una enfermedad neurodegenerativa**

El proyecto tiene una doble finalidad, por un lado, desenvolver las prácticas científicas y, por otro lado, contribuir a que el alumnado adquiriera habilidades que le permitan mejorar su capacidad crítica.

Se propone al alumnado participar de una secuencia de indagación, donde tendrá que investigar la enfermedad de Niemann-Pick en el organismo modelo pez cebra (*Danio rerio*), valorar si este organismo permite el estudio de esta enfermedad Niemann-Pick para finalmente diseñar y ejecutar autónomamente una investigación de toxicidad aguda y eficacia de compuestos para el tratamiento de uno de los síntomas que presentan estos afectados, empleando para ello el organismo modelo.

La enfermedad en cuestión provoca acúmulo de lípidos en los lisosomas tardíos, lo que desencadena una sintomatología que se puede clasificar en tres grandes bloques: visceral, neurológica y/o psiquiátrica (López de Frutos et al., 2020), presenta un patrón de herencia autosómica recesivo, siendo el gen *npc1* el causante del 95% de los casos en el tipo C1 de esta enfermedad (Quelle-Regaldie et al., 2023), es por ello que este proyecto centra la atención en el estudio de la enfermedad de Niemann-Pick tipo C1.

## Contextualización curricular

El proyecto está dirigido al módulo MP1369 *Biología Molecular y Citogenética*, común para el ciclo superior de *Laboratorio de Diagnóstico Clínico y Biomédico* y el ciclo superior de *Anatomía Patológica y Citodiagnóstico*. En este módulo, tal y como se define en su currículum descrito en el *Decreto 77/2016, de 28 de abril*, se trabajan con el proyecto propuesto los siguientes bloques de contenidos: *BC3* (aplicación de técnicas de análisis cromosómico), *BC4* (aplicación de técnicas de extracción de ácidos nucleicos), *BC5* (aplicación de técnicas de PCR y electroforesis al estudio de los ácidos nucleicos) y *BC7* (determinación de métodos de clonación y secuenciación del ADN), lo que hace necesario que el proyecto se implemente durante todo el curso escolar, para acompañar el mismo con el ritmo de aprendizaje del curso académico.

## Diseño del proyecto e implementación de las actividades

El diseño del proyecto fue realizado inicialmente por la primera autora, luego discutido con la coautora y con la docente del módulo de biología molecular y citogenética, en el cual se implementó el proyecto. Una vez obtenido un primer diseño del proyecto, se discutió el mismo con una catedrática en genética con amplia experiencia en biomedicina y en el uso de animales modelo para el estudio de enfermedades. El diseño del proyecto y su implementación se ha prolongado dos años y medio, durante los cursos 2021/22, 2022/23.

En el diseño de las actividades se ha tenido en cuenta que incluyesen situaciones reales de aprendizaje (Chinn y Malhotra, 2002) y que con su desarrollo haya una progresión de aprendizaje, es decir, que no sean actividades estancas, sino que los conocimientos de unas conduzcan a los aprendizajes de las siguientes (Couso, 2013). Cabe destacar que el diseño inicial era flexible, de manera que en todo momento se pudieran atender las demandas del alumnado como así fue, pues el alumnado era el encargado de decidir qué investigar y cómo, siempre con la docente como guía del proceso. Las actividades contempladas inicialmente se han refinado considerando 1) las discusiones mantenidas con las expertas anteriormente citadas y 2) al análisis de las respuestas dadas por el alumnado en el cuestionario inicial de conocimientos sobre investigación en biomedicina y pensamiento crítico (Anexo 1). En dicho cuestionario 17/21 participantes afirmaron no tener ningún conocimiento sobre biomedicina y 9/21 participantes afirman no tener ningún conocimiento sobre los pasos que se deben seguir para investigar una enfermedad. Es por ello que se contempló en el diseño del proyecto, incluir alguna actividad relacionada con las fases del proceso de indagación y una actividad de refuerzo para el concepto de enfermedad autosómica recesiva pues 10/21 participantes afirma no conocer dicho concepto, se decidió incluir una actividad de refuerzo relacionada con el mecanismo de generación de una mutación, pues 18/21 participantes afirma no conocer el mecanismo de generación de una mutación en el laboratorio (Villar López y Blanco Anaya, 2022).

Las actividades del proyecto se han acompañado con las unidades didácticas del módulo de forma que se complementasen, sirviendo el proyecto de aplicación de la parte de contenidos del módulo. Asimismo, el desarrollo de este ha dependido en gran medida de las curiosidades del alumnado, que es quien demanda unas actividades u otras en función de lo que considera necesario investigar para comprobar la viabilidad del organismo modelo en el estudio de la enfermedad de Niemann-Pick (en adelante NP). La secuencia de las actividades se muestra en la tabla 1, incluyendo las tareas adaptadas (marcadas con \*) por los retos ocurridos en la implementación.

**Tabla 1.** Secuencia de actividades incluidas en el proyecto. Nótese que entendemos por sesión 1h de clase.

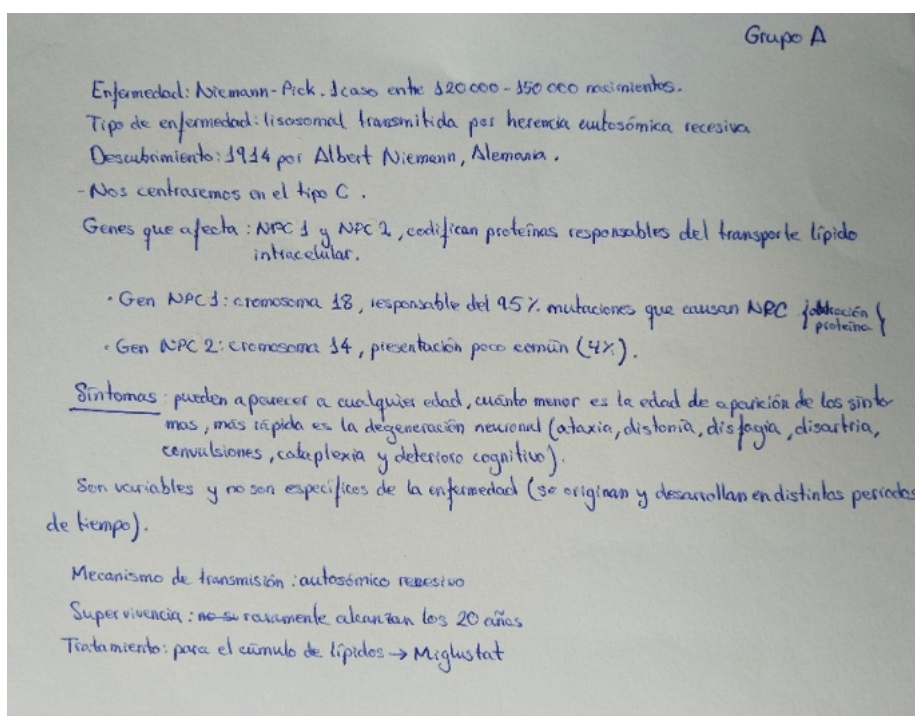
Actividades	Sesiones	Objetivo general	Prácticas científicas
Cuestionario de ideas previas	1	Recoger información sobre los conocimientos previos del alumnado.	
1. La enfermedad de Niemann-Pick y el pez cebra	4	Recoger información sobre la enfermedad a estudio. Conoce al pez cebra como modelo biológico.	Argumentación
2. Diseño y puesta en práctica de la secuencia de indagación para el estudio de la enfermedad a través del pez cebra.	26	Diseñar la secuencia de indagación con los aspectos que se deberían analizar en este organismo modelo, para comprobar si el pez cebra es viable para el estudio de la enfermedad de Niemann-Pick. Confirmar mediante el desempeño de técnicas de biología molecular, si distintos aspectos de la enfermedad se suceden de igual manera en la especie humana y en el modelo de pez cebra mutado para el gen <i>npc1</i> , siendo este, el gen que mayoritariamente está afectado en el tipo C de esta enfermedad. Relacionar el modelo de pez cebra con lo que sucede en la especie humana.	Argumentación Modelización Indagación
3. Búsqueda de tratamiento	11	Analizar mediante ensayos preclínicos la eficacia de fármacos químicos y compuestos homeopáticos para alguno de los síntomas de esta enfermedad empleando al pez cebra. Analizar la opinión del alumnado sobre la eficacia de los fármacos químicos y los productos homeopáticos.	Argumentación Indagación
4. Evaluación del proyecto	1	Conocer la opinión del alumnado sobre el proyecto realizado.	Argumentación
5. Valoración del pensamiento crítico.	1	Analizar las destrezas y disposiciones del pensamiento crítico que se pusieron en práctica en cada actividad.	Argumentación

A continuación, se describen brevemente las actividades del proyecto excepto el cuestionario de ideas previas, se han ejecutado en grupo excepto la valoración del pensamiento crítico que se realizó de forma individual.

### **Actividad 1. La enfermedad de Niemann-Pick y el pez cebra**

#### *Tarea 1.1. La enfermedad de Niemann-Pick*

Esta tarea requiere por un lado recoger información a través de artículos científicos como el de López de Frutos et al. (2020) o el de Villamandos y Santos-Lozano (2014) e internet, sobre investigación en las denominadas enfermedades raras y concretamente en la enfermedad de NP, interpretar la información y elaborar una cartilla (Figura 1) con los datos más destacados de la enfermedad a estudio.



**Figura 1:** Cartilla con los datos que el alumno considera más relevante de la enfermedad de Niemann-Pick.

### *Tarea 1.2. Conociendo al pez cebra (*Danio rerio*)*

Para dar a conocer el organismo biológico pez cebra: ciclo biológico, ventajas que presenta dentro de la investigación biomédica, así como para que se familiarice con la manipulación de este, se proporcionaron ejemplares de distintos estadios embrionarios, así como ejemplares adultos.

Cabe mencionar que, al emplear un organismo modelo, en el diseño de las actividades se ha tenido en cuenta que todas las actividades se ejecuten siguiendo la legalidad establecida en el uso de animales de investigación con fines docentes, lo cual aparece reflejado en el Real Decreto 53/2013 de protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos incluyendo la docencia, Directiva 2010/63/UE recogido en el BOE de 8 de febrero de 2013. Esta legislación ha sido puesta en conocimiento del alumnado en el transcurso de esta actividad y recordando esta información en todas las actividades de trabajo directo con el organismo modelo. Haciendo conocedor al alumnado participante, de la responsabilidad ética y las consideraciones de manejo que supone la investigación con animales. En cuanto a la importancia de este organismo modelo en investigación, se ha proporcionado al alumnado, artículos como el de Howe et al. (2013) que tratan esta cuestión.

### **Actividad 2. Diseño y puesta en práctica de la secuencia de indagación para el estudio de la enfermedad a través del pez cebra**

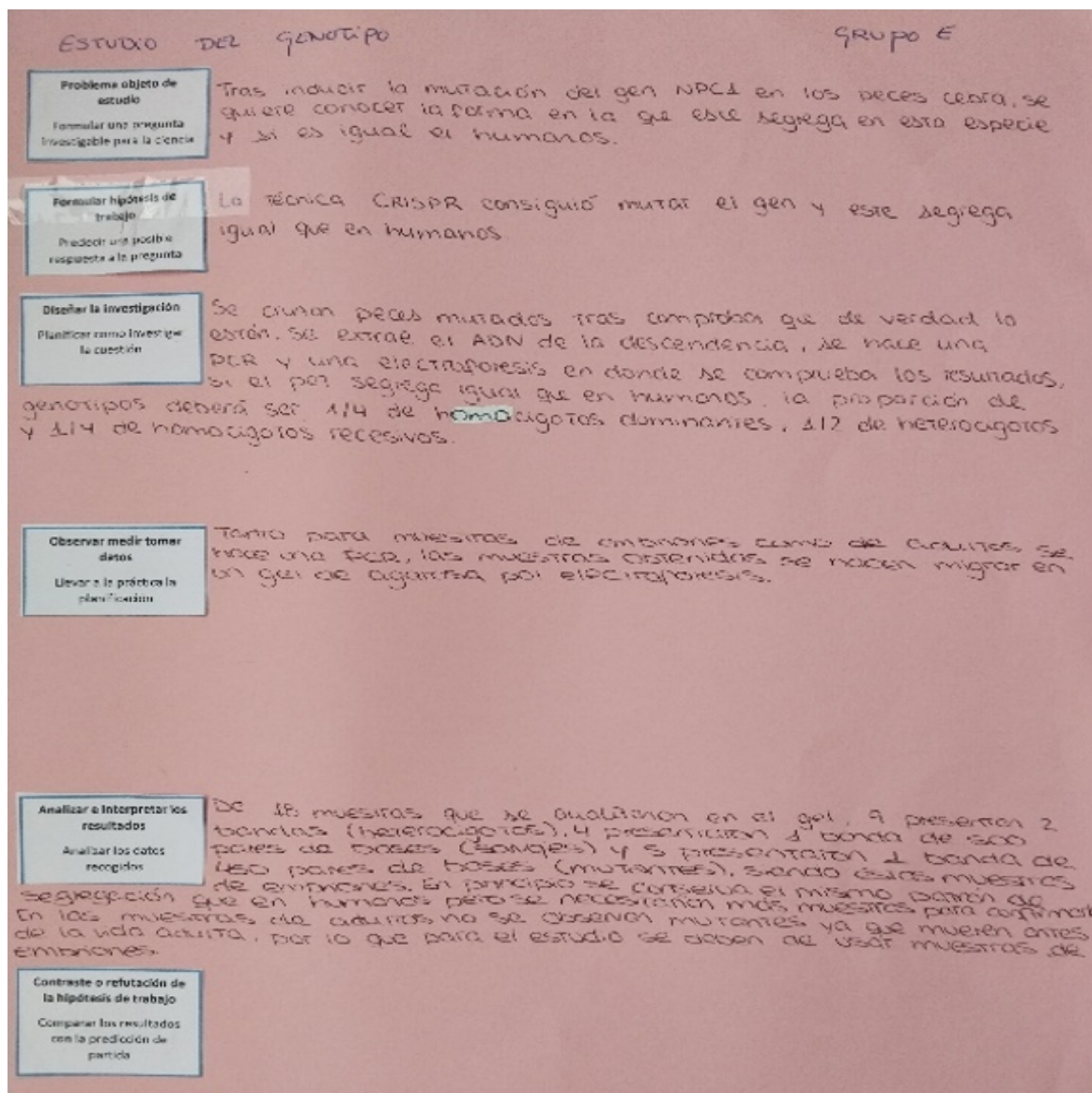
Se pide a cada grupo que seleccione los aspectos de la cartilla de la actividad 1 que deberían investigar si ocurren igual en la especie humana y en el modelo de pez cebra mutado para la enfermedad de NP. Ello requiere de las siguientes tareas.

#### *Tarea 2.1. Fases del proceso de indagación\**

Puesto que en el cuestionario de ideas previas la mayoría del alumnado afirmaba no conocer los pasos a seguir para investigar una enfermedad, y dado que este alumnado no está habituado a este tipo de metodología, se añade esta tarea en la que tienen que ordenar en una cartulina las fases de indagación (Figura 2) y relacionarlas con la investigación que



se estaba realizando. Es por ello que en las primeras actividades se opta por realizar una indagación guiada con ayuda de la docente para, en la última parte del proyecto, darles autonomía para una indagación libre y abierta correspondiente a la búsqueda de tratamiento.



**Figura 2:** Fases del proceso de indagación

### Tarea 2.2. Generación de la mutación en el gen *npc1*\*

El alumnado recibe una charla de una experta en la técnica de edición génica Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR), quien involucra a los participantes en el mecanismo de generación de la mutación en el gen *npc1*, la cual está presente en el modelo de pez cebra con el que van a trabajar, y que consiste en una delección de 56 pares de bases en el gen afectado. Esta actividad fue añadida por motivación de la docente.

### *Tarea 2.3. Modelización cruce heterocigoto x heterocigoto\**

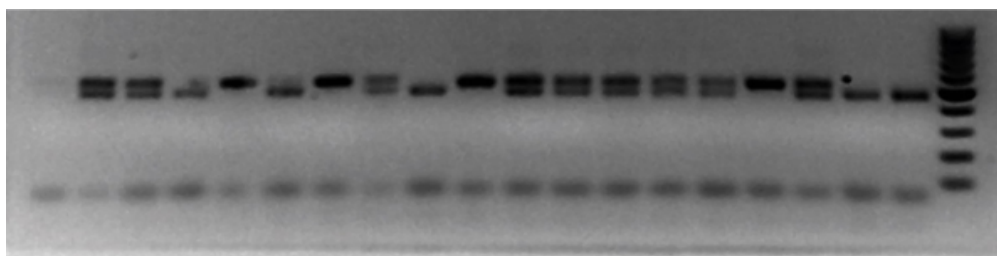
Cada grupo realiza un modelo material (Figura 3) con el que deben explicar cómo será la descendencia de un cruce de ejemplares heterocigoto x heterocigoto relacionados con la delección que presenta los peces con los que se trabaja (que como han visto es de 56 pares de bases), para ello se proporciona cartulina y lana de distintos colores.



**Figura 3:** Modelo del patrón de herencia para este gen, relacionado con la mutación generada mediante CRISPR.

### *Tarea 2.4. Comprobación de la mutación en pez cebra y patrón de herencia propuesto para este gen*

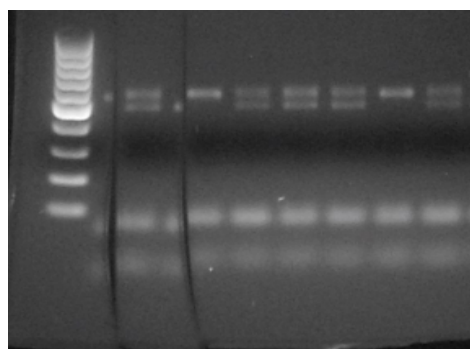
Se pide al alumnado que compruebe si los peces mutados para el gen *npc1*, presentan la mutación y siguen el patrón de herencia propuesto para este gen. Para ello el alumnado considera adecuado estudiar el genotipo de los ejemplares, realizando las técnicas de biología molecular: extracción de ADN, reacción en cadena de la polimerasa (PCR) y electroforesis. La figura 4 muestra el resultado de este análisis en etapa larvaria. La técnica se realizó tanto en larvas, como en aleta de ejemplares adultos, ambos procedentes de un cruce de heterocigoto x heterocigoto.



**Figura 4:** Electroforesis de individuos en etapa larvaria.

### *Tarea 2.5. Análisis de la supervivencia en edad adulta*

Dentro de las características de la enfermedad (Figura 1) que deciden investigar, el alumnado quiere averiguar la supervivencia del pez cebra en etapa adulta, para ello analizan el resultado de la PCR de los individuos adultos que habían obtenido en el paso anterior. El análisis de los resultados de los individuos en etapa adulta (Figura 5) revela la ausencia del genotipo homocigoto mutante en esta etapa del desarrollo, con lo que concluyen que no hay ejemplares enfermos que alcancen la etapa adulta.



**Figura 5:** Electroforesis de individuos en etapa adulta.

### *Tarea 2.6. Estudio del fenotipo*

El alumnado decide analizar el fenotipo en muestras de embriones, larvas y ejemplares de 2 meses de edad, para comprobar si encuentran alguna alteración morfológica que puedan relacionar con la enfermedad y de ser así en qué estadio de desarrollo aparece, no se comprueba el fenotipo en otras etapas pues como han podido comprobar, en adultos no existe el genotipo homocigoto mutante. Además de esto y puesto que la enfermedad acumula lípidos, el alumnado decide comprobar el estado hepático, se proporcionaron cortes histológicos de hígado de peces salvajes y homocigotos mutantes. En los resultados no obtuvieron cambios significativos en cuanto al fenotipo en embriones ni larvas, pero sí que los ejemplares de 2 meses de edad presentaban un tamaño más pequeño de lo normal para esa edad. En cuanto al estado hepático pudieron comprobar la afectación del hígado con el respeto a un ejemplar salvaje.

### *Tarea 2.7. Análisis de secuencias de la región donde se encuentra la mutación\**

Aunque la presencia de la mutación se resolvió por electroforesis, parte del alumnado también tenía interés en realizar la técnica de secuenciación. Esta se realizó en el centro y el resultado final se llevó a analizar al grupo de investigación ACUIGEN-ZebraBioRes (GI-1251) del departamento de Zoología Genética y Antropología Física de la facultad de Veterinaria de la Universidad de Santiago de Compostela, pues el centro no dispone de secuenciador automático.

### *Tarea 2.8. Viabilidad del pez cebra para el estudio de la enfermedad de Niemann-Pick*

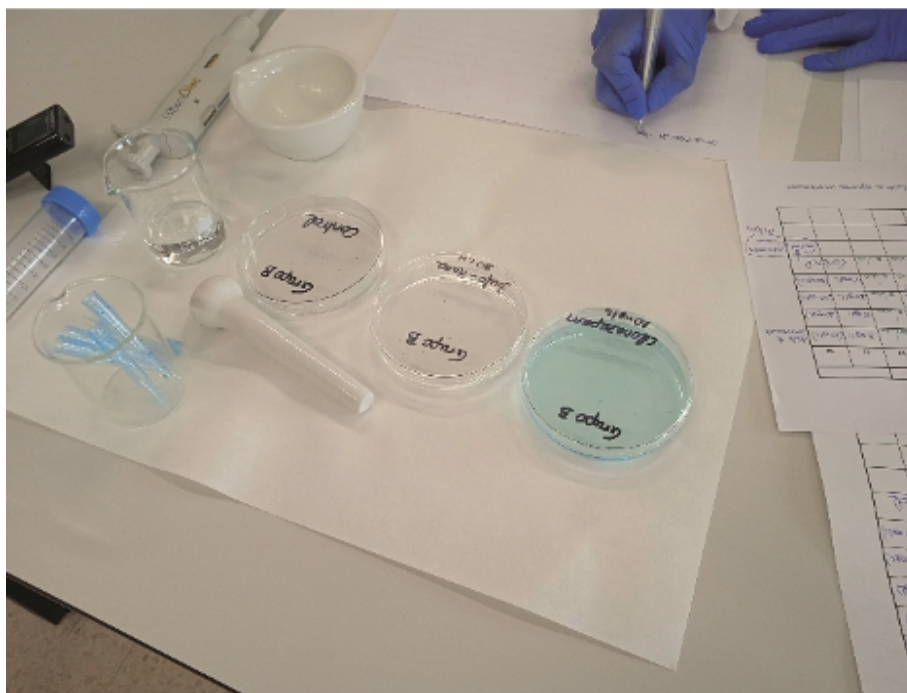
Finalizada la manipulación del organismo modelo, se pide al alumnado que, con todos los datos obtenidos en cada investigación previa, argumente si los aspectos analizados de la enfermedad de NP suceden de igual manera en la especie humana que en el pez cebra, esto requiere establecer relaciones entre las dos especies, lo que va a permitir que los estudiantes puedan extraer conclusiones en base a los datos obtenidos.

## **Actividad 3. Búsqueda de tratamiento**

Cada grupo debe elegir uno de los síntomas de la enfermedad, recogidos en la cartilla de la actividad 1, para el cual se pueda comprobar eficacia de un posible tratamiento en el pez cebra, para uno de los síntomas que padecen los afectados por la enfermedad de Niemann-Pick. Todos los grupos deciden comprobar un fármaco para el tratamiento de las crisis epilépticas, el Clonazepam.

La docente abre un debate sobre la posible eficacia de terapias alternativas para este síntoma, no se proporcionan referencias sobre esta cuestión, es el alumnado quien realiza una búsqueda de información libre y decide comprobar también la eficacia de un compuesto homeopático empleado para el tratamiento del mismo síntoma, el bufo rana.

En este momento cada grupo debe de realizar la totalidad de la investigación de forma autónoma. Para ello, cada grupo realiza un diseño con el cual puedan determinar las dosis terapéuticas de estos compuestos, para una vez determinadas, comprobar si dichos compuestos son eficaces para el tratamiento de las crisis epilépticas (Figura 6). Esto comprenden realizar un ensayo de toxicidad aguda y eficacia de compuestos para finalmente elabora un informe con sus conclusiones.



**Figura 6:** Análisis de toxicidad aguda y eficacia de compuestos

En general, con los datos obtenidos se considera que el fármaco clonazepam presenta una reducción en el número de crisis epilépticas, sin embargo, el compuesto homeopático bufo rana, no presenta eficacia para el tratamiento de este síntoma en el pez cebra.

#### *Debate sobre cómo podemos curar la enfermedad*

En esta actividad se busca que los participantes, una vez realizada la investigación sean críticos y con los datos que han obtenido reflexionen sobre si piensan que con estos fármacos seríamos capaces de curar la enfermedad, para que razonen la diferencia entre una enfermedad genética y una infecciosa, o como consideran que se podría tratar la misma.

#### **Actividad 4. Evaluación del proyecto**

Se finaliza con la evaluación del proyecto por parte del alumnado, para conocer su opinión en cuanto al trabajo por proyectos propuesto y poder así conocer las debilidades que este presenta para poder realizar las mejoras oportunas.

#### **Actividad 5. Valoración del pensamiento crítico**

Con el objetivo de conocer si el alumnado considera que desarrolló su capacidad crítica y para que realicen una meta reflexión acerca de ello, tras la realización de cada actividad, se pide a cada participante que cumplimente una tabla (tabla 2), con las habilidades de pensamiento crítico, basadas en Facione (1990) y Facione et al. (1995), que considera que ha activado en la ejecución de cada tarea propuesta a lo largo de la investigación.

**Tabla 2.** Destrezas y disposiciones del pensamiento crítico que se activan en las etapas del proyecto.

Destreza/Disposición	En algún momento...	Etapas	Justificación
Interpretación	Interpreté información (Expresé el significado de los datos, experiencias, procedimientos, etc.).		
Inferencia	Fuí capaz de establecer conclusiones razonadas y deducir consecuencias derivadas de los datos, resultados, opiniones, etc.		
Evaluación	Valorar la credibilidad de las opiniones o percepciones personales.		
Explicación	Generé explicaciones empleando la información disponible y el razonamiento propio con argumentos convincentes.		
Autorregulación	Reflexioné sobre el propio proceso de aprendizaje, cuestionando mis razonamientos para validarlos o reformularlos.		
Procurador de la verdad	Me esforcé por buscar la información veraz y contrastada pese a que difiera de mi opinión propia.		
Analítico	Usé pruebas y empleé el razonamiento para dar respuesta al problema.		
Sistemático	Fui organizado y cuidadoso en los procedimientos de investigación.		
Autoconfianza	Confié en mis razonamientos para argumentar y persuadir a los demás.		
Inquisitivo	Mostré curiosidad por el tema y deseo por aprender acerca del mismo.		
Madurez cognitiva	Fui capaz de tomar decisiones para resolver problemas complicados, sin la total certeza de que estuviese en lo cierto con la decisión tomada. Así como, admitir que podría haber otras opciones disponibles.		

## Retos derivados de la implementación del proyecto

Los retos se agruparon en diferentes tipologías, las cuales emergen de los datos obtenidos: refuerzo de conocimientos, inquietudes del estudiantado, recursos materiales disponibles y temporalización.

### Refuerzo de conocimientos

En el transcurso del proyecto se hizo necesario utilizar una serie de estrategias didácticas encaminadas a reforzar los conocimientos del alumnado.

*Fases del proceso de indagación.* La mayoría del alumnado era la primera vez que realizaba actividades de laboratorio de forma autónoma, por lo que manifestaban pocos conocimientos sobre lo que se esperaba de una actividad de investigación. Esto generaba que tuviesen poca autoconfianza para ello, demandando explicaciones magistrales para saber exactamente qué debían de hacer. Para que el alumnado ganase en confianza y autonomía, se optó por añadir la tarea 2.1 en la que se abordaban las fases y el orden de las mismas, para que tomasen de guía.

*Generación de una mutación CRISPR.* Para provocar una mutación en el pez cebra, algunos estudiantes proponían introducir sustancias o aplicar radiaciones, pero la mayoría del alumnado no tenía ningún conocimiento para inducir mutaciones. Esto requirió introducirlos en la técnica de edición génica CRISPR a través de una charla con una experta en esta técnica quien investiga con el pez cebra enfermedades humanas, en su caso particular, centra su estudio en genes relacionados con el trastorno de espectro autista.

*Enfermedad autosómica recesiva.* En las discusiones entre los integrantes de los grupos se percibió una falta de conceptos relacionados con el tipo de herencia de la enfermedad y, en general, con conceptos como heterocigoto, homocigoto, o cuestiones como qué sucede con el ADN si existe una delección. Para ello se decidió añadir la actividad 2.3 para que realizaran primeramente una recreación de los distintos genotipos que se podían obtener de un cruce de heterocigoto x heterocigoto y relacionaran esto con la delección de 56 pares de bases generada mediante la técnica CRISPR. Esta actividad resultó ser esencial para interpretar los resultados posteriores.

*Comprobación de la mutación en el organismo biológico.* Para saber si los peces tenían la mutación, el alumnado decidió analizar el cariotipo, lo que les llevó a comprobar que con esta técnica no se puede resolver si la mutación está presente, pues la mutación generada con la técnica de edición génica CRISPR no se traduce en una anomalía en el número de los cromosomas si no que es una anomalía estructural, pues el gen a estudio tiene una delección de 56 pares de bases lo cual es insuficientemente para apreciarse mediante la realización del cariotipo. De modo que hubo que introducirlos en la PCR y electroforesis.

*Efectividad de compuestos.* En la actividad 3, búsqueda de tratamiento para las crisis epilépticas, el alumnado hacía referencia a fármacos químicos, pero tras un debate sobre la homeopatía decidieron analizar la eficacia de un producto homeopático.

### **Inquietudes del alumnado**

*Afectación hepática.* En la actividad 2 el alumnado tenía interés en conocer otras afecciones de la enfermedad en el organismo, por ello quisieron analizar la acumulación de lípidos que ocurre en el hígado, tal y como habían leído en artículos sobre esta enfermedad. Para ello, en colaboración con el grupo GAPAVET GI-1707, Departamento de Anatomía, Producción Animal y Ciencias Clínicas Veterinarias de la facultad de Veterinaria de la Universidad de Santiago de Compostela, que proporcionó los cortes hepáticos, compararon los hígados de un pez cebra en condiciones normales con un pez que manifestase dicha afectación.

*Secuenciación del gen.* Esta secuenciación no estaba contemplada inicialmente por dos motivos, la falta de secuenciador automático en el centro y el hecho de que la presencia de la mutación en el organismo modelo se podía resolver con la técnica de la electroforesis sin necesidad de utilizar este equipo. Se decidió retomar esta técnica al ser la que la mayoría del alumnado consideró necesaria para comprobar si los peces presentaban la mutación provocada con la técnica CRISPR, como complemento a la PCR y electroforesis. La docente se sumó al deseo de realizar la técnica de secuenciación pues consideraba estas de gran utilidad para acompañar el proyecto a los contenidos requeridos en las distintas unidades didácticas del módulo.

### **Recursos materiales y temporalización**

*Ejemplares con la mutación establecida.* Fue necesario partir de peces con la mutación ya establecida, pues el tiempo estimado para la obtención de peces mutados con esta técnica de edición génica CRISPR puede extenderse hasta un año, además de esto, el centro no posee del equipamiento necesario para realizar dicha técnica de edición génica. No



obstante, el alumnado hizo todos los pasos para la obtención de peces con la mutación de la enfermedad.

*Extracción ADN adultos.* Siguiendo la legislación relacionada con la manipulación de organismos, la extracción de ADN de aleta de ejemplares adultos se ha realizado en las instalaciones del grupo de investigación ACUIGEN-ZebraBioRes (ACUIGEN GI-1251), necesitándose más tiempo del estimado.

*Análisis del genotipo.* Se optó por emplear la técnica de electroforesis para realizar el análisis del genotipo, pues el centro no dispone de secuenciador automático, para ello se ocuparon dos sesiones, pues una parte de los participantes era la primera vez que utilizaban pipetas automáticas lo cual hizo que la actividad ocupase más tiempo del establecido. Como se comentó en las inquietudes mostradas, se optó por emplear también la técnica de secuenciación, para ello, se realizó todo el proceso de secuenciación en el centro y se llevaron las muestras para su lectura al equipo de secuenciación del grupo de investigación ACUIGEN-ZebraBioRes (ACUIGEN GI-1251), posteriormente los resultados fueron analizados en el centro educativo, al no estar esta técnica contemplada en el diseño hizo que se emplearan más sesiones de las establecidas en un principio.

*Análisis estado hepático.* Para realizar este análisis, y debido a que el centro donde se implementó el proyecto no cuenta en su oferta formativa con el ciclo superior de anatomía patológica y citodiagnóstico, fue necesaria la colaboración del grupo de investigación (GAPAVET GI-1707), para que nos proporcionasen las muestras necesarias para su estudio, esto ocupó más sesiones de las establecidas en un principio.

*Uso de proconvulsivante.* Al no disponer de equipos especializados de análisis de comportamiento de los peces en el centro educativo, atendiendo a las inquietudes del alumnado, se prestó atención a un síntoma observable a simple vista como son las crisis epilépticas. Por cuestiones de tiempo, se decidió provocar las crisis epilépticas en lugar de esperar a que apareciesen de forma espontánea, con el proconvulsivante PTZ (Pentylenetetrazole).

#### *Aspectos relacionados con la reproducibilidad del proyecto*

Si a priori la puesta en marcha de este proyecto puede resultar costosa por los materiales empleados, cabe mencionar que normalmente los centros educativos donde se imparte este módulo disponen del espacio necesario en cuanto a laboratorios y equipamiento para la implementación de proyectos de este tipo, normalmente el material fungible necesario para la realización del mismo está contemplado en el presupuesto del módulo, pues las técnicas que aquí se emplean: extracción de ADN, PCR, electroforesis, secuenciación, son habituales en el módulo de Biología Molecular y Citogenética, excepto la técnica de edición génica CRISPR. Para ello, en el caso que el docente no esté familiarizado con esta técnica de edición génica, puede explicarse esta por medio de una charla. En cuanto al trabajo con el pez cebra, sí que es necesario proporcionar el organismo modelo y que el docente esté familiarizado con el manejo del pez cebra en el aula, pero para una implementación de este tipo, esta preparación puede realizarse en una sesión. Para más información se puede contactar con las autoras del artículo.

### **Beneficios que el proyecto aporta al futuro profesional del alumnado**

Como una parte final del proyecto se pregunta al alumnado sobre las aportaciones del proyecto a su futuro profesional, dichas respuestas se categorizan en la tabla 3. En términos generales, el alumnado alude a que el proyecto y la forma de ejecutarlo ha favorecido a una mejora de su competencia científica (8/21) al tener autonomía para tomar decisiones en la investigación. Asimismo, en ese proceso han adquirido técnicas de laboratorio (8/21) y

conocimientos relacionados con la investigación (8/21). Otros beneficios indicados con menor frecuencia, pero que coinciden con las destrezas que deben poseer los empleados según Partnership for 21st Century Skills (2010), implican mejorar su capacidad para trabajar en equipo, su experiencia en general ante este tipo de situaciones y sólo dos de las personas participantes aludió al pensamiento crítico. Otra cuestión que señala el alumnado es que el proyecto repercute de forma positiva en la adquisición de conceptos ligados a la genética y las enfermedades neurodegenerativas, esto mismo se observa en trabajos que promueven las prácticas científicas como el de Ageitos, Puig y Calvo Peña (2017), donde se muestran los beneficios que aporta para el alumnado trabajar de este modo para mejorar los conocimientos sobre genética y enfermedades.

**Tabla 3.** Valoración de los beneficios que aportó dicho proyecto al alumnado

Beneficios	Frecuencia	Ejemplos
Adquisición de destrezas de la competencia científica	8/21	<i>“Como vamos averiguando lo que necesitamos para resolver el problema”</i> <i>“Como sacamos conclusiones en base a la información e interpretación de resultados”</i> <i>“Aprender a generar hipótesis”</i>
Adquisición de técnicas de laboratorio	8/21	<i>“Ayudó a comprender técnicas de biología molecular de una manera diferente”</i>
Adquisición de conocimientos sobre genética/enfermedad	8/21	<i>“Ayudó a conocer cómo funciona la genética y cómo se lleva a cabo el estudio de una enfermedad genética”</i>
Trabajo en equipo	6/21	<i>“El proyecto aportó nuevos conocimientos y habilidades a la hora de trabajar con los compañeros”</i>
Mejora en el experiencia	5/21	<i>“Poder colaborar en la investigación, ayudó a conocer una rama del laboratorio que desconocía”</i> <i>“lo que más me gustó fue poder involucrarnos en un proyecto de este tipo”</i>
Mejorar el pensamiento crítico	2/21	<i>“Mejorar la capacidad para el debate, para saber contrastar la información”</i>

## Conclusiones e implicaciones educativas

Integrar el trabajo por proyectos en el aprendizaje de cuestiones de biomedicina y genética ha implicado una serie de adaptaciones y retos tanto para la docente como para el alumnado. Es por ello por lo que la buena disposición de la profesora ha sido clave para poder ejecutar la propuesta en el aula, ofreciéndose a afrontar un proyecto con una metodología con la cual no estaba familiarizada, pues el ABP no es habitual en la FP (Expósito y Moreno, 2021) lo que implica que el alumnado no esté acostumbrado a realizar un trabajo científico en el que tenga que aplicar conocimientos y tomar decisiones. De hecho, en varios momentos de la investigación, se percibió que el alumnado sentía que no era capaz de resolver la tarea propuesta de manera autónoma.

Puesto que una de las ventajas que ofrece el ABP es aumentar la motivación del alumnado mediante la realización de actividades en las que exista una conexión entre el aprendizaje y el mundo real y profesional (Díaz Tenza, 2018), se persiguió acercar a los y las estudiantes a la investigación biomédica actual, esto implicó que se trataran contenidos en genética que resultaron complejos, entrañando problemas en el alumnado. Hay que señalar que la genética es uno de los campos de las ciencias de mayor dificultad para los y las estudiantes (Todd y Kenyon, 2015), en el proyecto se manejaron contenidos que suelen entrañar



dificultad, como el concepto de mutación, algo que se percibió tras el análisis de los datos aportados por el cuestionario de ideas previas y cuya dificultad ya ha sido demostrada en el trabajo de Albadalejo y Lucas (2010), lo mismo que en el concepto de enfermedad con base genética, dificultad que ya ha sido estudiada por Ageitos et al. (2017). Por ello se decidió incluir una actividad de refuerzo relacionada con el mecanismo de mutación de los peces usados en la investigación y otra actividad donde se relacionase el proceso de herencia de una enfermedad autosómica recesiva con el tipo de mutación que se está estudiando.

Para trabajar en el aula capacidades relacionadas con el pensamiento crítico, se incluyó en la búsqueda de tratamiento para las crisis epilépticas, un fármaco químico y un compuesto homeopático. Esta forma de trabajar la capacidad crítica mediante el empleo de compuestos homeopáticos ya había sido empleada por Uskola (2016) donde se pudo comprobar que, tras la realización de la actividad, una disminución de la cantidad de estudiantes que creen en la eficacia de los productos homeopáticos y un aumento de la los que no creen en la eficacia de la homeopatía. Esto mismo se pudo comprobar con los resultados obtenidos tras la realización del proyecto, pues el alumnado concluyó la falta de eficacia del compuesto homeopático en relación con el fármaco químico en el pez cebra para el tratamiento de las crisis epilépticas (Villar-López, Blanco-Anaya y Fernández-Vila, 2023).

La aplicación de la metodología ABP ha permitido involucrar al alumnado en la investigación, dando cabida a que tomasen decisiones para proseguir con la secuencia de indagación. Es por ello que, aplicar esta metodología implica ser flexible a los cambios en la propuesta inicial para acoger las necesidades e intereses del alumnado, de forma que realmente tengan un papel activo en la construcción de su conocimiento científico.

En cuanto a los beneficios percibidos por el alumnado, las y los participantes aluden a una mejora en su competencia científica, sintiéndose más autónomos a la hora de tomar decisiones. Consideramos que esta cuestión está relacionada con los beneficios que aporta esta metodología en cuanto a la capacidad de resolver problemas, cuestión muy valorada por los empleadores en la actualidad (Partnership 21st, 2010). Además, el alumnado considera que les ha ayudado a la hora de trabajar en equipo, algo fundamental para su profesión, donde es habitual formar parte de un grupo de trabajo, por lo que la cooperación y comunicación interpersonal y el intercambio de conocimiento entre iguales es clave para su formación.

El enfoque de la investigación basada en el diseño nos ha permitido evaluar las actividades del proyecto para modificar en consecuencia las siguientes, como ha sido el caso de la puesta en práctica de la indagación que pasó de ser más guiada a más abierta. Asimismo, también nos ha permitido adecuar la integración de técnicas de biotecnología para adaptarse a lo que el alumnado demandaba, para ello ha sido necesario revisar las grabaciones y los cuestionarios e informes a la par que se desarrollaba el proyecto. En este caso, el resultado final de la investigación contribuyó a obtener un proyecto rediseñado que la docente sigue implementando con pequeñas adaptaciones.

Debido a los retos mencionados y a la demanda que el alumnado realiza durante la implementación de dicho proyecto, coincidimos con Megayanti et al. (2020) en que para que el aprendizaje basado en proyectos tenga un buen impacto es necesario que los docentes posean las destrezas que quieren promover en los estudiantes y reflexionar sobre cómo han de promoverlas en el aula. En nuestro caso la docente estaba familiarizada con la manipulación del organismo modelo, de no ser así consideramos interesante que el profesorado tuviese unas nociones mínimas en cuanto a la manipulación de este organismo

y estuviese familiarizado con los ensayos de toxicidad aguda y efectividad de compuestos, este tipo de formación puede ser recibida por parte del personal del grupo de investigación ACUIGEN-ZebraBioRes (ACUIGEN GI-1251), siendo este grupo el que ha proporcionado los ejemplares para realizar la propuesta.

### Agradecimientos

Queremos agradecer a la docente del centro educativo, Sabela Fernández Vila, por su implicación y a su alumnado por participar en el estudio. Este trabajo ha sido financiado por FEDER/Ministerio de Ciencia, Innovación e Universidades-Agencia Estatal de Investigación/Proyecto SOS Con-ciencia (Pensamiento crítico para la acción ante desafíos socio-científicos emergentes en la educación científica) (Cód. PID2022-138166NB-C21).

### Referencias

- Ageitos, N., Puig, B. y Calvo Peña, X. (2017). Trabajar genética y enfermedades en secundaria integrando la modelización y la argumentación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(1), 86-97. <http://hdl.handle.net/10498/18848>
- Albaladejo, C. y A. M. Lucas. (1988). Pupils' meanings for 'mutation', *Journal of Biological Education*, 22(3), 215-219. <https://doi.org/10.1080/00219266.1988.9654986>
- Bell, S. (2010). Project-Based Learning for the 21st Century: Skills for the Future. *The ClearingHouse*, 83(2), 39-43. <http://www.jstor.org/stable/20697896>
- Bezanilla-Albisua, M. J., Poblete-Ruiz, M., Fernández-Nogueira, D., Arranz-Turnes, S. y Campo-Carrasco, L. (2018). El pensamiento crítico desde la perspectiva de los docentes universitarios. *Estudios pedagógicos (Valdivia)*, 44(1), 89-113. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07052018000100089>
- Chinn, C. A. y Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218. <http://dx.doi.org/10.1002/sce.10001>
- Crujeiras, B. y Cambeiro, F. (2018). Una experiencia de indagación cooperativa para aprender ciencias en educación secundaria participando en las prácticas científicas. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 15(1), 1201. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2018.v15.i1.1201](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i1.1201)
- Crujeiras, B. y Jiménez-Aleixandre, M.P. (2015). Desafíos planteados por las actividades abiertas de indagación en el laboratorio: articulación de conocimientos teóricos y prácticos en las prácticas científicas. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 33(1), 63 - 84. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/288572>
- Decreto 77/2016, de 28 de abril, por el que se establece el currículo del ciclo formativo de grado superior correspondiente al título de técnico superior en laboratorio clínico y biomédico. *Diario oficial de Galicia*, 08 de julio de 2016, núm. 129, pp. 29085.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An emerging paradigm for educational inquiry. *Educational researcher*, 32(1), 5-8. <https://doi.org/10.3102/0013189X032001005>
- Díaz Tenza, P. J. (2018). *Aprendizaje Cooperativo: Guía de aplicación en el aula*. Independently published.

- Domènech-Casal, J.D. (2016). Gene Hunting: una secuencia contextualizada de indagación alrededor de la expresión génica, la investigación in silico y la ética en la comunicación biomédica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 342-358. <http://hdl.handle.net/10498/18292>
- Domènech-Casal, J.D. (2018). Aprendizaje basado en proyectos en el marco STEM. Componentes didácticas para la competencia científica. *Ápice, Revista de Educación Científica*, 2 (2), 29-42. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4524>
- Domènech-Casal, J., Lope, S. y Mora, L. (2019). Qué proyectos STEM diseña y qué dificultades expresa el profesorado de secundaria sobre Aprendizaje Basado en Proyectos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(2), 2203. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2019.v16.i2.2203](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2203)
- Espinosa, M. B. (2016). El Pez Cebra: una Herramienta en Educación. The Zebrafish: a Tool in Education. *Revista de educación en biología*, 19(1), 11-18. <https://doi.org/10.59524/2344-9225.v19.n1.22527>
- Expósito, F., y Moreno, A. (2021). Una experiencia de éxito de la metodología ABP en Formación Profesional. *Revista Digital Scientia Omnibus Portus*, 1(1).
- Fabregat Pitarch, A. y Gallardo Fernández, I.M. (2019). Desarrollo de proyectos en formación profesional desde entornos de aprendizaje sostenible. En K. G. Ramírez Paredes (Coord.): *Recursos educativos para el aula del siglo XXI* (pp. 120-129) Adaya Press.
- Facione, P. A., Sánchez, C. A., Facione, N. C., y Gainen, J. (1995). The disposition toward critical thinking. *Journal of General Education*, 44(1), 1-25.
- Facione, P. A. (1990). Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. Research findings and recommendations. Millbrae, CA: The California Academic Press.
- Garcés, M., Crespo Puras, M. D. C., Finkel Morgenstern, L., y Arroyo Menéndez, M. (2016). *Estudio sobre las enfermedades neurodegenerativas en España y su impacto económico y social*. Universidad complutense de Madrid.
- Guerra-Varela, J., Cabezas-Sainz, P., Yebra-Pimentel, E., Gutiérrez-Lovera, C., Cedrón, V. P., Otero Obarrio, M. A., ... y Sánchez, L. (2016). "A zebra in the water": Inspiring Science in Spain. *Zebrafish*, 13( 4 ) , 241 - 247 . <https://doi.org/10.1089/zeb.2015.1178>
- Howe, K., Clark, M., Torroja, C. *et al.* (2013). La secuencia del genoma de referencia del pez cebra y su relación con el genoma humano. *Nature* 496, 498-503. <https://doi.org/10.1038/nature12111>
- Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. En R. A. Duschl y R. E. Grandy (Eds.), *Teaching scientific inquiry: Recommendations for research and implementation* (pp. 99-117). Sense Publishers.
- López de Frutos, L., Romero-Imbroda, J., Rodríguez-Sureda, V., y Giraldo, P. (2020). Nueva variante asociada a enfermedad de Niemann-Pick tipo C: manifestaciones neurológicas y caracterización bioquímica, molecular y celular. *Neurología*, 50-52. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2017.07.010>

- Megayanti, T., Busono, T., y Maknun, J. (2020). Project-based learning efficacy in vocational education: Literature review. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 830(4), 042075. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/830/4/042075>
- Molina Cimadevilla, M. J. (s.f.) Aprende con Danio [Página web]. Recuperado el 05 de junio de 2023 de <https://www.aprendecondanio.com/>
- OCDE. (2020). *PISA 2024: Strategic vision and direction for science*. Recuperado de <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2024-assessment-analytical-framework-science-strategic-vision-proposal.htm>
- Osborne, J. (2014). Scientific practices and inquiry in the science classroom. En N. G. Lederman y S. K. Abell (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 579–599). Routledge.
- Partnership for 21st Century Skills (2010). *21st Century Knowledge and Skills in Educator Preparation*. Pearson.
- Parra Arroyo, E. (2020). *Aplicació de la metodologia ABP al cicle formatiu de grau mig de jardineria i floristeria* (Trabajo de Fin de Máster). Universidad Politécnica de Cataluña.
- Puig, B., Blanco Anaya, P., y Mosquera Bargiela, I. (2023). Integrar el Pensamiento Crítico en la Educación Científica en la Era de la Post-verdad. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 20(3), 3301-3301. [https://doi.org/10.25267/Rev\\_Eureka\\_ensen\\_divulg\\_cienc.2023.v20.i3.3301](https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2023.v20.i3.3301)
- Quelle Regaldie, A., Gandoy Fieiras, N., R Villamayor, P., Maceiras, S., Losada, A. P., Folgueira, M., ... y Sobrido, M. J. (2023). Severe neurometabolic phenotype in *npc1*<sup>-/-</sup> zebrafish with a C-terminal mutation. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. <https://doi.org/10.1101/2023.02.09.527822>
- Real Decreto 53/2013, del 01 de febrero, por el que se establecen las normas básicas aplicables a la protección de los animales utilizados en experimentación y otros fines científicos, incluyendo la docencia. *Boletín Oficial del Estado*, 08 de febrero de 2013, núm.34, pp. 11370-11421.
- Sanmartí, N., y Márquez, C. (2017). Aprendizaje de las ciencias basado en proyectos: del contexto a la acción. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 1(1). <https://doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2020>
- Sauces, M., y Callado, R. (2016). Las enfermedades raras en España. Un enfoque social. *Revista Prisma Social*, (17), 373-395. <https://revistaprismasocial.es/article/view/1289>
- Stern, F., y Kampourakis, K. (2017). Teaching for genetics literacy in the post-genomic era. *Studies in Science Education*, 53(2), 193-225. <https://doi.org/10.1080/03057267.2017.1392731>
- Sentí Clapés, M., Presas i Puig, A., y Baños y Díez, J. E. (2018). La enseñanza de la relación mutua entre ciencias biomédicas y sociedad. La experiencia de biomedicina, sociedad y cultura. *Educación Médica*, 20 (6), 347-52. <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.05.004>
- Singleman, C., y Holtzman, N. G. (2014). Growth and maturation in the zebrafish, Danio rerio: a staging tool for teaching and research. *Zebrafish*, 11(4), 396-406. <https://doi.org/10.1089/zeb.2014.0976>

- Todd, A. y Kenyon, L. (2016). Refinamientos empíricos de una progresión de aprendizaje de genética molecular: las construcciones moleculares. *Diario de Investigación en Enseñanza de Ciencias*, 53 (9), 1385-1418.
- Tomasiewicz, H. G., Hesselbach, R., Carvan, M. J., Goldberg, B., Berg, C. A., y Petering, D. H. (2014). Zebrafish as a model system for environmental health studies in the grade 9 – 12 classroom. *Zebrafish*, 11(4), 384-395. <https://doi.org/10.1089/zeb.2013.0881>
- Uskola A. (2016) ¿Los productos homeopáticos pueden ser considerados medicamentos?: Creencias de maestras/os en formación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 574-587. <http://hdl.handle.net/10498/18498>
- Villamandos García, D., y Santos-Lozano, A. (2014). Enfermedad de Niemann-Pick: un enfoque global. *Ene*, 8(2), 0-0. <https://dx.doi.org/10.4321/S1988-348X2014000200003>
- Villar-López, M., y Blanco-Anaya, P. (2022). Conocimientos del alumnado de formación profesional sobre investigación biomédica para el estudio de la genética. En A. Benarroch Benarroch (Coord.), *30 Encuentros Internacionales de Didáctica de las Ciencias Experimentales* (pp. 805–810). Universidad de Granada, Servicio de Publicaciones <http://apice-dce.com/wp-content/uploads/2022/10/Actas-30-EDCE.pdf>
- Villar-López, M., Blanco-Anaya, P. y Fernández-Vila, S. (2023). En búsqueda del compuesto para paliar los síntomas de una enfermedad rara. En B. Puig, B. Crujeiras-Pérez y P. Blanco-Anaya (Coords.): *Pensar científicamente. Problemas sistémicos y acción crítica* (pp. 93-104). Graó.

### Anexo 1. Cuestionario de ideas previas

1. ¿Tienes conocimientos sobre investigación biomédica?
    - a. Sí.
    - b. No.

En caso afirmativo explica brevemente qué entiendes con este término.
  2. Escoge la opción que creas más adecuada sobre las enfermedades con base genética.
    - a. Son enfermedades hereditarias.
    - b. Pueden ser hereditarias o no.
    - c. Siempre se manifiestan desde el nacimiento.
    - d. La b y c son correctas.
    - e. No lo tengo claro.
  3. ¿Siempre que exista una mutación va a desencadenar una patología?
  4. ¿Podrías indicar qué entiendes por enfermedad autosómica recesiva?
  5. ¿Conoces alguna enfermedad rara? En caso afirmativo indica las que conozcas o alguna de ellas.
  6. Indica brevemente ¿Por qué piensas que se denominan enfermedades raras?
  7. ¿Crees que la sociedad actual tiene suficientes conocimientos sobre la investigación biomédica, las denominadas enfermedades raras y sobre las enfermedades con componente genético?
    - a. Sí la sociedad está bien informada.
    - b. No tiene suficiente información.
    - c. Debería tener mayores conocimientos.
  8. ¿Podrías indicar cuáles son los pasos a seguir para investigar una enfermedad?
  9. ¿En qué especie crees que se prueban tratamientos o vacunas?
    - a. En la especie humana.
    - b. En organismos modelo.
    - c. En líneas celulares.
    - d. En todos los anteriores.
    - e. No sé el proceso.
  10. De los anteriores ¿Sabes en qué especie se estudian las enfermedades humanas con este tipo de modelos biológicos? Da algún ejemplo de organismo concreto.
  11. ¿Conoces en base a qué se hace la elección de un organismo u otro para el estudio de una enfermedad?
  12. ¿Qué te parece que se usen organismos para investigación biomédica?
    - a. No estoy de acuerdo.
    - b. Estoy de acuerdo.
    - c. Estoy de acuerdo, siempre que se usen correctamente.
    - d. No quiero opinar.
- Justifica aquí tu respuesta si lo ves conveniente
13. ¿Conoces cuál es el proceso para inducir una mutación en el lugar concreto donde la queremos estudiar en un organismo modelo?
  14. ¿Consideras que tener mayores conocimientos en el campo de la investigación biomédica repercutirá de manera positiva en tu formación?
    - a. Sí, considero necesario tener mayores conocimientos en esta área.
    - b. No, no me interesa.

15. Situaciones como la pandemia actual refuerzan la necesidad de que la sociedad maneje un mínimo de conocimientos científicos sobre enfermedades para hacer frente de forma crítica a los bulos (noticias falsas) que circulan por las redes sociales e internet. En tu opinión, ¿Qué habilidades manifiesta una persona con pensamiento crítico?