

EDUCACIÓN, CREATIVIDAD E INTELIGENCIA ARTIFICIAL: NUEVOS HORIZONTES PARA EL APRENDIZAJE. ACTAS DEL VIII CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE APRENDIZAJE, INNOVACIÓN Y COOPERACIÓN, CINAIC 2025

María Luisa Sein-Echaluce Lacleta, Ángel Fidalgo Blanco y Francisco José García Peñalvo (coords.)

1ª Edición. Zaragoza, 2025

Edita: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza.



Servicio de
Publicaciones
Universidad Zaragoza

EBOOK ISBN 978-84-10169-60-9

DOI 10.26754/uz.978-84-10169-60-9



Esta obra se encuentra bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial (ccBY-NC). Ver descripción de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Referencia a esta obra:

Sein-Echaluce Lacleta, M.L., Fidalgo Blanco, A. & García-Peñalvo, F.J. (coords.) (2025). *Educación, Creatividad e Inteligencia Artificial: nuevos horizontes para el Aprendizaje. Actas del VIII Congreso Internacional sobre Aprendizaje, Innovación y Cooperación. CINAIC 2025 (11-13 de Junio de 2025, Madrid, España)*. Zaragoza. Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza. DOI 10.26754/uz.978-84-10169-60-9

Diseño de una metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos para la enseñanza de Ingeniería Genética aplicada a la Mejora Vegetal

A Project-Based Learning design for teaching Genetic Engineering and its applications in Crop Breeding

Marina Martínez-García, Patricia Giraldo, Estela Giménez
marina.martinezg@upm.es, patricia.giraldo@upm.es, mariaestela.gimenez@upm.es

Departamento de Biotecnología-Biología Vegetal
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas
Madrid, España

Resumen- Las metodologías activas, como el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), promueven la motivación, la adquisición de competencias y la generación del propio conocimiento por parte del estudiante. Los másteres, enfocados a que los estudiantes aprendan a resolver problemas, y en concreto, las asignaturas cursadas por alumnos con formación inicial distinta y/o basadas en genética, de gran dificultad para los estudiantes, resultan el marco perfecto para implementar este tipo de metodologías. En este trabajo describimos el diseño de una metodología de ABP donde los alumnos simulan trabajar para una empresa y deben desarrollar un proyecto de Mejora Vegetal basado en Ingeniería Genética. Resultados preliminares, basados en la implementación del ABP en dos cursos, muestran el interés de los estudiantes de máster por este tipo de metodologías, así como su percepción de adquirir más competencias y conocimientos que con metodologías convencionales.

Palabras clave: *aprendizaje basado en proyectos; ingeniería genética; estudios de postgrado*

Abstract- Active methodologies, such as Project-Based Learning (PBL), promote motivation, competency acquisition, and the construction of knowledge by the student. In master's programs, which focus on teaching students how to solve problems, and particularly in courses taken by students with different academic backgrounds and based on genetics—a subject of great difficulty for them—these methodologies provide the perfect framework for implementation. In this study, we describe the design of a PBL methodology in which students simulate working for a company and must develop a Plant Breeding project based on Genetic Engineering. Preliminary results, based on the implementation of PBL in two courses, show students' interest in this type of methodology, as well as their perception of acquiring more competencies and knowledge compared to conventional methodologies.

Keywords: *project-based learning; genetic engineering; postgraduate education*

1. INTRODUCCIÓN

Las metodologías activas en la enseñanza superior han demostrado ser efectivas para promover la motivación y el desarrollo de competencias transversales por parte de los estudiantes (Freeman et al., 2014). Dentro de éstas, cabe destacar las que están vinculadas a la resolución de un

problema, reto o desarrollo de un proyecto, como las más idóneas para su desarrollo en disciplinas STEM y fomentar el aprendizaje libre y autoguiado. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) es una estrategia centrada en el estudiante, en la que se plantea el desarrollo de un proyecto de investigación, profesional, social, empresarial, etc. La realización del proyecto tiene una guía del profesor, pero los objetivos, temática específica y soluciones están motivadas por los intereses de los propios estudiantes. La clave de su implementación es que los estudiantes generen su propio conocimiento a ritmo personal. Por estos motivos, el ABP es una metodología de creciente interés en la enseñanza de las Ingenierías (Žerovnik & Serbec, 2021).

El programa formativo de un máster está diseñado para que el estudiante logre alcanzar una serie de conocimientos y capacidades de forma que, al finalizar sus estudios, haya adquirido unas determinadas competencias que le permitan “aprender a aprender”. De esta forma, el alumno dispondrá de las habilidades necesarias para enfrentarse al reto de solucionar un problema nuevo, identificando los recursos para solventarlo de la forma más eficiente. Las clases tradicionales dificultan la adquisición de dichas competencias, motivando la utilización de otras metodologías en programas de máster, como es el caso del ABP (Lazar & Faciu, 2019).

La genética, ciencia sobre la que se sustenta la asignatura Biotecnología y Mejora Vegetal para la que hemos diseñado este ABP, es una rama compleja por su naturaleza abstracta, su terminología específica y su contenido en estadística, lo que contribuye a que los alumnos tengan cierta dificultad para entender la asignatura. Al Máster en Ingeniería Agronómica, en el que se encuadra dicha asignatura, tienen acceso estudiantes de distintas titulaciones, lo que implica alta heterogeneidad en inquietudes y conocimientos iniciales. Por ello, la implementación de metodologías docentes que permitan un aprendizaje individualizado, más personalizado y al ritmo de cada alumno, es de gran interés. Adicionalmente, el ABP diseñado en este estudio se realiza en equipo, con un enfoque profesional para la adquisición de capacidad crítica de manejo de datos, y enfocado en la resolución de un problema real asociado a la futura práctica profesional de los estudiantes.

En el presente estudio presentamos el diseño e implementación durante dos cursos de una metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos de Ingeniería Genética para estudiantes del Máster en Ingeniería Agronómica. Se presenta cómo se definieron el supuesto inicial del ABP, las distintas fases y la evaluación, en función de las necesidades de los estudiantes, las competencias de la asignatura (especialmente la de creatividad) y del máster, y los contenidos. Además, describimos cómo se ha implementado el proceso con éxito y la valoración positiva por parte de los estudiantes de esta metodología activa, e incluimos perspectivas a futuro. Esto demuestra la gran utilidad del ABP en contextos de especialización y de autoaprendizaje del estudiante como es un Máster habilitante.

2. CONTEXTO Y DESCRIPCIÓN

A. Necesidad y perfil de los estudiantes

La asignatura Biotecnología y Mejora Vegetal (código 23000507) del Máster Universitario en Ingeniería Agronómica (código RUCT 4314423) de la Universidad Politécnica de Madrid, para la cual se propone el diseño del ABP aquí descrito, tiene como objetivo principal que los alumnos adquieran unos conceptos básicos de biotecnología y las aplicaciones que tiene en el campo de la mejora genética vegetal. Dicha asignatura se sustenta en conocimientos básicos de genética, bioquímica y biología para responder al apartado de la formación necesaria para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Agrónomo de la Orden ministerial CIN/325/2009: “Conocimientos adecuados y capacidad para desarrollar y aplicar tecnología propia en: [...] Gestión de proyectos de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías aplicadas a los procesos productivos vegetales: biotecnología y mejora vegetal [...]”. El 35% de la asignatura Biotecnología y Mejora Vegetal está destinada a adquirir conocimientos de Ingeniería Genética. La ingeniería genética es una disciplina que emplea tecnologías de laboratorio con el fin de modificar el ADN de un organismo. Por ello, los alumnos deben aprender las distintas técnicas que se emplean para obtener organismos modificados y editados genéticamente (OMG y NGT, respectivamente) y utilizarlas para diseñarlos, así como la legislación europea vigente que regula su cultivo y comercialización. Más allá de la adquisición de conocimientos, se busca que sean capaces de aplicar estas tecnologías a los objetivos de la mejora genética vegetal definidos en la primera parte de la asignatura e integren ambas partes.

B. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es diseñar una metodología de ABP para la asignatura Biotecnología y Mejora Vegetal que permita un aprendizaje ajustado a los tiempos de cada alumno y que fomente que los alumnos guíen su aprendizaje, generando su propio conocimiento. Además, con esta metodología se favorece la adquisición de competencias y habilidades sin ningún sobreesfuerzo por parte del alumnado: mientras aprenden ingeniería genética y la legislación asociada, desarrollando el ABP, también aprenden a trabajar en equipo, a buscar información, mejoran su capacidad de escribir y exponer trabajos, etc.

C. Metodologías para el diseño del ABP

Para abordar el diseño de la metodología, lo primero que se hizo fue definir los puntos claves del ABP para que su implementación sea exitosa, contestando las siguientes preguntas guía propuestas en el curso Aprendizaje Basado en Proyectos del Instituto de Ciencias de la Educación de la UPM:

1. ¿Cuál es el producto potencialmente vendible que van a desarrollar los alumnos durante el ABP y cuáles son los criterios de calidad mínimos que el producto debe incluir? El producto a desarrollar por los alumnos será un proyecto que proponga la generación de plantas modificadas y editadas genéticamente. Los criterios mínimos de calidad serán: definir claramente cuál es la mejora a realizar, teniendo en cuenta que la modificación propuesta siempre debe suponer una mejora respecto a las variedades existentes, y realizar una elección correcta de la metodología a emplear para la transformación genética, que debe ajustarse a la especie seleccionada, y tener en cuenta que las construcciones diseñadas deben contener los elementos mínimos necesarios para que sean funcionales y para poder seleccionar las plantas modificadas. Además, el proyecto debe incluir la descripción de la metodología a emplear para: a) detectar y comprobar la integridad del transgén, b) analizar la expresión del transgén y c) detectar los efectos del transgén en las plantas modificadas (fenotipado).

2. ¿Qué deben saber los alumnos antes de empezar el proyecto? Qué es un gen, cómo se transcribe y traduce: dogma central de la biología molecular. Qué es la mejora genética vegetal, su evolución y metodologías.

3. ¿Cuáles serán los conocimientos mínimos que debe adquirir el estudiante para superar la materia estudiada con el desarrollo de dicho proyecto? Lo primero que los alumnos deben aprender es por qué se generan organismos modificados o editados genéticamente para mejora vegetal en vez de utilizar la variabilidad natural existente. Además, deberán conocer qué es la modificación y edición genética, qué es un organismo modificado y editado genéticamente, los métodos más importantes de transformación genética (Biobalística y *Agrobacterium*), los elementos mínimos necesarios para que la construcción funcione adecuadamente (sobreexpresión, inhibición, CRISPR, etc.), los métodos de detección de integración e integridad del transgén, los métodos para comprobar el funcionamiento del transgén, los métodos de regeneración de plantas mediante cultivo *in vitro*, y las nociones básicas de la legislación Europea y donde encontrarla.

3. RESULTADOS

A. Descripción del ABP diseñado

Para la realización del ABP se simula el siguiente escenario: somos una empresa que pretende diseñar variedades vegetales mejoradas genéticamente mediante el empleo de diferentes técnicas de ingeniería genética. Los alumnos son trabajadores de dicha empresa y deben presentar proyectos en grupos de trabajo de tres personas. Este punto inicial es en formato *role-playing*, estrategia muy exitosa para la motivación de los estudiantes (Howes & Cruz, 2009), y que les acerca a la práctica profesional real que puedan ejercer en un futuro y los problemas reales que surgen (complicaciones a la hora de coordinarse y trabajar en equipo, retraso en la entrega de las distintas versiones del proyecto, falta de creatividad, problemas en la comunicación oral y escrita, falta de formato en los proyectos,

etc.), otorgándoles herramientas con las que solventar estos conflictos en un futuro.

El proyecto será un “Proyecto de Mejora Vegetal basado en métodos de Ingeniería Genética” realizado por los alumnos sin haber recibido clases teóricas previas sobre la materia. Los equipos deben diseñar, primero un OMG y, luego un NGT, que suponga una mejora de interés en el sector de la agricultura, relacionada con estreses bióticos, abióticos, de calidad, etc. en la especie seleccionada. Para que el ABP resulte exitoso y que los alumnos no se atasquen fácilmente en algún punto del proyecto, éste debe estar claramente guiado por el profesor. Inicialmente, se aporta un listado de bases de datos oficiales y bibliografía de consulta, además de una guía de terminología básica y de preguntas frecuentes. Durante la búsqueda de la terminología y la resolución de las preguntas, los estudiantes adquirirán los conceptos básicos de ingeniería genética. Tras esto, los estudiantes iniciarán la búsqueda de información para diseñar el proyecto. Para ayudarles en este proceso, también se les entrega una guía de apoyo que les proporcione una idea de las tareas que deben realizar tanto en el aula como fuera de ella en orden secuencial (Figura 1):

- 1.- selección de la especie y carácter a mejorar
- 2.- selección del método de transformación
- 3.- diseño de construcciones, primero para obtener un OGM y posteriormente un NGT, considerando si van a realizar la sobreexpresión o la inhibición del gen seleccionado, etc.
- 4.- selección de la metodología de regeneración *in vitro*
- 5.- métodos de selección de las plantas transformadas
- 6.- métodos de análisis de expresión, etc.

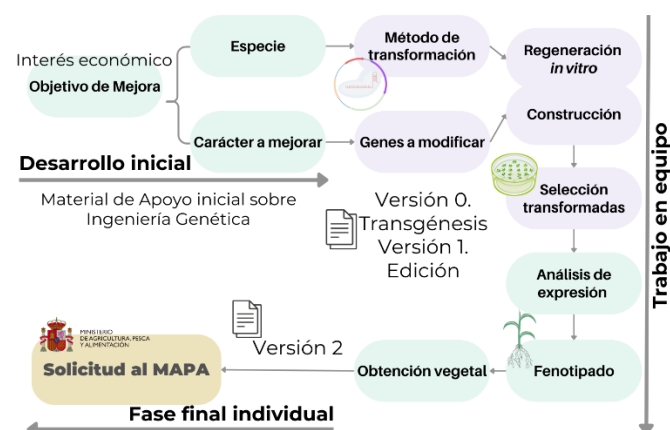


Figura 1. Esquema de las fases y entregas del ABP.

Los alumnos cuentan para realizar el proyecto con 30 horas en el aula (15 sesiones de 2 horas), y entre 45 y 60 horas de trabajo fuera del aula según el número de horas asignadas a los ECTs. Las horas de clase se utilizan principalmente para resolver dudas con el profesor y avanzar en el diseño del proyecto, mientras que las horas fuera del aula son para la búsqueda de información y la redacción.

B. Evaluación de los proyectos generados

Las fases del proyecto van definidas estratégicamente para que tengan retroalimentación, tanto formativa en clase, como sumativa en la nota de las entregas, lo que les permita corregir errores y redefinir el proyecto si hay necesidad. Además, existe una retroalimentación entre pares que realizan los alumnos en el trabajo en equipo (Race, 2014). Por eso, como puntos clave

en el diseño se debe incluir qué esperamos de cada versión entregada por el alumno y qué peso en la nota final tendrá cada fase (Figura 1):

Versión 0 (Grupal) “Entrega del proyecto de transgénesis” (5%) de la nota de la asignatura): En esta primera entrega se debe definir claramente la especie y el interés comercial de la mejora a realizar. Además, en esta entrega deben especificar el transgén o transgenes que se van a usar para llevar a cabo la modificación genética, incluyendo los elementos mínimos necesarios para que el transgén se integre en el genoma de la planta, para que funcione y para que se puedan seleccionar aquellas plantas que lo han incorporado. También se describirán los métodos de transformación y regeneración de las plantas, siempre acorde con la especie seleccionada. Por último, la versión 0 debe incluir las técnicas que permitirán comprobar la integración e integridad del transgén, así como su funcionalidad. La entrega será un documento técnico.

Versión 1 (Grupal) “Entrega del proyecto de Edición Genética” (5%): La segunda entrega debe ser un documento técnico con el mismo proyecto que en la versión 0, manteniendo la especie y la mejora a realizar, pero llevándose a cabo mediante edición genética (tecnología CRISPR). En esta versión hay que destacar el transgén o transgenes utilizados y las técnicas de comprobación de integración e integridad del transgén, los cuales serán distintos a la versión anterior. Esta versión tendrá puntos en común con la anterior, por lo que les será de gran ayuda las correcciones que se hayan hecho de la versión 0.

Versión 2 (Individual) “Proyecto final de Ingeniería Genética para la Mejora Vegetal” (10%): Este documento técnico es la última versión e incluye las dos anteriores mejoradas con las correcciones hechas por el profesor, así como algunas nuevas aportaciones hechas de manera individual. A diferencia de las anteriores, las aportaciones nuevas no siguen un patrón establecido permitiendo al alumno aportar cosas nuevas de su propia cosecha.

Ejercicio individual final (10%): Consiste en realizar una solicitud para la liberación al medio ambiente de los OMGs y NGTs diseñados. Esta solicitud se realizará de manera individual y servirá como parte de la evaluación, puesto que aquellos alumnos que no se hayan implicado en el desarrollo no serán capaces de completarla. Se realizará en la página web del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (MAPA), tras una sesión en la que se les instruye en la información y los recursos que ofrece dicha página.

Además, como parte de la evaluación de las competencias transversales se valora que hagan las distintas entregas a tiempo y en el formato adecuado. La estimación de adquisición de competencias y conocimientos propios de la asignatura se realizará mediante la evaluación de las distintas versiones del proyecto, el ejercicio de solicitud al ministerio, el trabajo realizado en clase, el interés y la participación en el proyecto, la colaboración con el equipo, etc. Una vez finalizado el proyecto, los grupos tendrán que presentar el trabajo al resto de la clase, lo que también servirá de evaluación (5%), completando el 35% de nota correspondiente al ABP.

C. Resultados de su implementación

Para medir el éxito de la metodología, así como su aceptación por parte de los alumnos, sin que ello suponga la

evaluación de los proyectos ni se corresponda con las calificaciones, se realizan dos encuestas a los alumnos:

- Al finalizar el proyecto, a los alumnos se les pasa una encuesta en la que se valorará la aceptación de la metodología desde tres puntos de vista: 1.- la adquisición de conocimiento, 2.- la motivación e implicación en el aprendizaje y 3.- la adquisición de competencias. El ABP presentado en este trabajo se ha implementado en los cursos 2021-2022 y 2022-2023. Exponemos las respuestas a 4 preguntas de la encuesta como datos preliminares representativos, que apuntan a que la percepción y el interés por este tipo de metodología depende del grupo de estudiantes (Figura 2). Sin embargo, en ambos cursos más del 92% de los alumnos indican que les ha gustado realizar el proyecto. Además, al igual que la adquisición de conocimientos (4,3 y 4,6 sobre 5 puntos), los alumnos valoran positivamente la adquisición de competencias y habilidades (3,8 y 4,3 sobre 5 puntos), y puntúan con un 3,7 y un 4,2 sobre 5, las ganas de realizar más metodologías de este tipo durante el máster. Los estudiantes consideran que esta metodología les ayuda a adquirir más conocimientos que las clases convencionales (3,8 y 4,3 sobre 5).

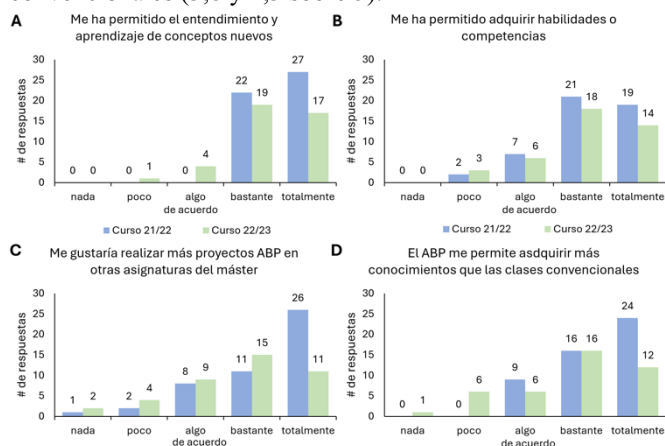


Figura 2. Satisfacción de los estudiantes con el ABP.

- Para evaluar la adquisición de conocimientos de los estudiantes con esta metodología se realiza un pretest de 10 preguntas que evalúan el nivel inicial individual con respecto a la materia, idéntico al que se repetirá nuevamente al final del proyecto (postest). La comparación de los resultados de los pretest y postest permitirá comprobar la adquisición de conocimientos de Ingeniería Genética. Se hará una comparativa de notas de los alumnos y de las encuestas de evaluación de la asignatura en los cursos donde se ha implementado el ABP y los cursos previos en los que se impartió con clases convencionales, con el fin de evaluar el éxito de la metodología. Estos resultados se procesarán al finalizar su implantación en el presente curso 2024-2025.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran el interés de los estudiantes por la metodología ABP, así como su percepción de adquirir más competencias y conocimientos que con metodologías convencionales, indicando el éxito de la implementación. Esto, añadido al hecho que sea un método que no necesita grandes recursos para su aplicación, permite su implementación prolongada en el tiempo.

La principal inversión que se hace durante el desarrollo del ABP es el trabajo del profesor de diseño inicial para el largo plazo. Por ello, se recomienda el diseño de un cronograma para el desarrollo de las fases del ABP, el diseño de plantillas para la entrega de las sucesivas versiones del proyecto, y de rúbricas que permitan la fácil evaluación tanto de las versiones escritas como de la exposición, para su uso a corto y largo plazo, pero también flexibilidad para cambiar aspectos que no funcionen cada curso. Por último, se debe disponer de pretest, postest y encuestas para evaluar el éxito de la metodología. Todo esto facilitará enormemente su desarrollo. Por otro lado, los estudiantes realizan una inversión inicial mayor (búsqueda de información, autoaprendizaje, trabajo en grupo, etc.) que con otro tipo de metodologías, lo que supone una reticencia por parte de muchos de ellos. Sin embargo, esta barrera inicial se supera en las fases finales cuando ven los resultados y la satisfacción de la elaboración de un proyecto real (Figura 2).

A pesar de que la metodología ha sido diseñada para la asignatura de Biotecnología y Mejora Vegetal que se imparte en el Máster en Ingeniería Agronómica, consideramos que es fácilmente extrapolable a otras asignaturas en la que se impartan contenidos de ingeniería genética, tanto en grados como en másteres de Biología, Biotecnología, Bioquímica e Ingeniería Biomédica. Los estudiantes pueden realizar proyectos del mismo estilo relacionados con su práctica profesional en empresas del área Biotecnológica como la industria farmacéutica y otras. Para esto, se podría adaptar la premisa inicial y seguir el esquema planteado.

REFERENCIAS

- BOE-A-2009-2805 Orden CIN/325/2009, de 9 de febrero. <https://www.boe.es/eli/es/o/2009/02/09/cin325>
- Freeman, S. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(23), 8410–8415.
- Howes, E. V., & Cruz, B. C. (2009). Role-playing in science education: An effective strategy for developing multiple perspectives. *Journal of Elementary Science Education*, 21(3), 33–46. <https://doi.org/10.1007/bf03174721>
- Lazar, I., & Faciu, E. (2019). Project Based Learning as Teaching Approach for Master Students. *Revista Romaneasca Pentru Educatie Multidimensionala*, 113–135. <https://doi.org/10.18662/rrem/161>
- ORGANISMOS MODIFICADOS GENETICAMENTE (OMG). (2021) <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/biotecnologia/omg/>
- Race, P. (2014). *The lecturer's toolkit: a practical guide to assessment, learning and teaching* (5th ed.). Routledge.
- Valero, M (2021). Aprendizaje Basado en Proyectos. Curso ICE – UPM, Formación Continua. Estrategia Metodológicas.
- Žerovnik, A. & Serbec, A.N. (2021). *Project-Based Learning in Higher Education*. 31–57. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2082-9_3