

## Desarrollo de una metodología para la introducción del Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura de Ingeniería Electroquímica

### *Development of a methodology for the introduction of Project Based Learning in the subject Electrochemical Engineering*

Lorena Hernández-Pérez<sup>a</sup>, Manuel César Martí-Calatayud<sup>b</sup>, María Teresa Montañés<sup>c</sup> y Valentín Pérez-Herranz<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, loherpre@upvnet.upv.es, ORCID 0000-0002-9184-6639, <sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, mcmarti@iqn.upv.es, ORCID 0000-0002-0745-1918, <sup>c</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, tmontane@iqn.upv.es, ORCID 0000-0002-2620-6926 y <sup>d</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental, Universitat Politècnica de València, vperez@iqn.upv.es, ORCID 0000-0002-4010-0888.

**How to cite:** Lorena Hernández-Pérez, Manuel César Martí-Calatayud, María Teresa Montañés y Valentín Pérez-Herranz. 2022. Desarrollo de una metodología para la introducción del Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura de Ingeniería Electroquímica. En libro de actas: *VIII Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 6 - 8 de julio de 2022. <https://doi.org/10.4995/INRED2022.2022.15915>

---

### **Abstract**

*The present work arranges the introduction of the Project Based Learning in the subject Electrochemical Engineering, imparted in the second course of the Master's degree in Chemical Engineering of the Polytechnic University of Valencia. The first aim motivating the introduction of this methodology is to boost the achievement of the target 4.7 of the sustainable development goal 4, by encouraging the students to acquire theory and practice knowledge to promote sustainable development. The second aim is to consolidate the abilities acquired during the Master's degree. In this work, the methodology designed to introduce the Project Based Learning in the course is described. The students have to develop an actual project integrating the theoretical knowledge of the course in its resolution.*

**Keywords:** *project based learning, electrochemical technology, sustainable development, soft skills.*

---

### **Resumen**

*El presente trabajo plantea la introducción del Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura Ingeniería Electroquímica, impartida en el segundo curso de Máster en Ingeniería Química. Los objetivos de esta mejora son, en primer lugar, favorecer la consecución de la meta 4.7 del objetivo de desarrollo sostenible 4, fomentando que los alumnos adquieran conocimientos teóricos y prácticos que promuevan el desarrollo sostenible. En segundo lugar, se pretende reforzar las competencias adquiridas por los alumnos a lo largo de la titulación. En este trabajo se describe la metodología a seguir para*

*implantar el Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura. Los alumnos han de desarrollar un proyecto real integrando los conocimientos teóricos de la asignatura en la resolución del mismo.*

**Palabras clave:** *aprendizaje basado en proyectos, tecnología electroquímica, desarrollo sostenible, competencias transversales.*

## 1. Introducción

El presente trabajo se engloba dentro del contexto del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos. En concreto se enfoca en la consecución de la meta 4.7, asegurar que todos los alumnos adquieran los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para promover el desarrollo sostenible. Para ello, se plantea la introducción de una nueva actividad de enseñanza-aprendizaje-evaluación fundamentada en el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en la asignatura Ingeniería Electroquímica.

### 1.1. Contexto de la asignatura

La asignatura en la que se plantea introducir la metodología de ABP es “Ingeniería Electroquímica”. Se trata de una asignatura de carácter optativo impartida por el Departamento de Ingeniería Química y Nuclear en el segundo curso del Máster Universitario en Ingeniería Química de la Universitat Politècnica de València. La asignatura comenzó a impartirse en el curso académico 2016/2017 y consta de 6 créditos, de los cuales 3 son de teoría y los 3 restantes están asociados a prácticas, de laboratorio y de aula.

Los contenidos de la asignatura se estructuran en las Unidades Didácticas presentadas en la Tabla 1.

*Tabla 1. Unidades Didácticas de la asignatura*

Unidad Didáctica	Nombre	Prácticas de Laboratorio
1	Introducción	
2	Termodinámica y cinética electroquímicas	1. Electrodo de disco rotatorio
3	Fenómenos de transferencia y de transporte en sistemas electroquímicos	
4	Distribución de potencial y de corriente eléctrica	
5	Diseño de reactores electroquímicos	2. Eliminación de un contaminante emergente mediante un proceso electroquímico de oxidación avanzada. Reactor sin compartimentar 3. Eliminación de un contaminante emergente mediante un proceso electroquímico de oxidación avanzada. Reactor con membrana

6	Electrodos tridimensionales	4. Eliminación de metales pesados mediante un reactor provisto de un electrodo tridimensional
7	Balances de energía en reactores electroquímicos	
8	Procesos de separación electroquímicos	

---

La metodología de enseñanza-aprendizaje empleada en la asignatura se basa en la lección magistral participativa, la resolución de problemas en aula y las prácticas de laboratorio. Con la aplicación de la metodología actual se trabajan diferentes competencias específicas relacionadas con la tecnología electroquímica. Además, se desarrolla la competencia transversal asignada a la asignatura, “Análisis y resolución de problemas”. La adquisición de la competencia transversal se fomenta con el desarrollo de varias actividades como preguntas, problemas y actividades grupales. El nivel de adquisición de la competencia se evalúa a través de los exámenes escritos.

La evaluación de la asignatura está distribuida en las siguientes partes:

- Dos pruebas escritas de respuesta abierta, con un peso individual de 35% sobre la nota final.
- Cuatro trabajos académicos, correspondientes a los informes derivados de las prácticas, con un peso total de 30% sobre la nota final.

### 1.1. Aprendizaje Basado en Proyectos

El ABP se engloba dentro de las metodologías activas desarrolladas en los últimos años. Estas metodologías están enfocadas al aprendizaje profundo de los alumnos que participan activamente en los contenidos de la asignatura; además, también se intensifica su motivación y el desarrollo de habilidades de trabajo en equipo (Morales, Cárdenas, Reyes, 2022). Con esta metodología se busca la implicación autónoma de los alumnos en un proceso de investigación que se materializa en un proyecto final (Fernández-Cabezas, 2017).

En el ABP el profesor se convierte en un guía y orientador a lo largo del desarrollo del proyecto. La importancia del *feedback* por parte del profesor se ve incrementada, pues ha de reorientar las reflexiones de los alumnos y formular cuestiones importantes que fomenten el pensamiento crítico de los alumnos (Zambrano, Hernández, Mendoza, 2022).

Con la aplicación del ABP se desarrollan varias competencias transversales: trabajo en equipo, planificación, comunicación y creatividad (Satorre, Menargues, Díez, Pellin, 2021). Maldonado subraya la importancia del trabajo en equipo, el cual permite que los alumnos aprendan a través de la colaboración. A través del trabajo colaborativo, los estudiantes intercambian sus puntos de vista sobre la materia, además de desarrollar su capacidad de interacción y comunicación eficaz, indispensable para su futuro laboral (Maldonado, 2008). El desarrollo de los proyectos engloba etapas de planificación, gestión y evaluación por parte de los estudiantes, las cuales ayudan al estudiante a aprender el contenido de la asignatura, habilidades y competencias transversales (Toledo, Sánchez, 2018).

En la innovación planteada, el estudiante aplica los conceptos adquiridos a lo largo del desarrollo de la asignatura en una aplicación real cuyo objetivo final es lograr un consumo responsable de los recursos y la minimización de los residuos generados en la industria del cobre. Como se ha comentado anteriormente, el presente trabajo está enfocado en la meta 4.7 del objetivo de desarrollo sostenible 4, pues se pretende que los alumnos adquieran conocimientos teóricos y prácticos que promuevan el desarrollo sostenible.

## **2. Objetivos**

El objetivo principal de este trabajo es el diseño de una nueva actividad de enseñanza-aprendizaje-evaluación para la integración del ABP, con el fin de alcanzar la meta 4.7. del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4. La introducción de esta nueva metodología se concibe como una herramienta para garantizar que los estudiantes cuenten con los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para impulsar el desarrollo sostenible. Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Definir la metodología a seguir, determinando el tamaño de los grupos de trabajo y las actividades a resolver.
- Establecer el método de evaluación y seguimiento de la nueva metodología.
- Detallar el cronograma para las diferentes fases del proyecto a desarrollar.
- Especificar las competencias que se fomentarán con la aplicación del aprendizaje basado en proyectos.

## **3. Desarrollo de la innovación**

El proyecto a implementar constará de varias etapas, coincidentes con las Unidades Didácticas en las que se estructura la asignatura, presentadas en la Tabla 1. Por tanto, la actividad se desarrollará de manera simultánea con la asignatura.

La innovación constará de la realización de un proyecto por parte de los alumnos. El trabajo propuesto será una aplicación real a la minería de cobre. En concreto, el objetivo final del proyecto será la recuperación de dos de los elementos presentes como impurezas en la industria del cobre.

### **3.1. Problemática en el proceso de producción de cobre**

Tras años de explotación, la pureza de los minerales de cobre ha disminuido considerablemente, aumentando con ello la cantidad de otros elementos en las menas. La reducción de la pureza de los minerales conlleva un aumento de la cantidad de efluentes residuales generados durante la producción de cobre. Los minerales de cobre se transforman a través de un proceso pirometalúrgico o hidrometalúrgico, en función de la naturaleza de los minerales, óxidos o sulfuros. En ambos procesos, se obtiene un cátodo de cobre y un ánodo de cobre. Como se observa en la Fig.1, el ánodo de cobre es sometido a un proceso de electrorefinado con el objetivo de separar el cátodo de las impurezas presentes en el ánodo. El electrorefinado se lleva a cabo mediante electrodeposición utilizando ácido sulfúrico como electrolito. Tras este proceso, se obtienen el cátodo de cobre y el electrolito contaminado que contiene las impurezas presentes en los minerales, como son antimonio, bismuto, arsénico y hierro. El ácido sulfúrico es reutilizado; para ello, el electrolito contaminado se hace pasar a través de resinas de intercambio iónico donde se quedan adheridas las impurezas. Después de varios ciclos es necesario regenerar las resinas de intercambio iónico; para ello, se pasa a través de ellas ácido clorhídrico, obteniéndose tras este proceso un efluente residual que contiene ácido clorhídrico junto con las impurezas.

El objetivo de este proyecto es obtener los elementos presentes en el efluente residual, en particular, el antimonio y el bismuto. Estos dos elementos son considerados materias primas fundamentales por la Unión Europea debido a su relevancia económica y a la probabilidad de su agotamiento. Todo ello destaca la importancia de transformar efluentes residuales en fuentes secundarias.

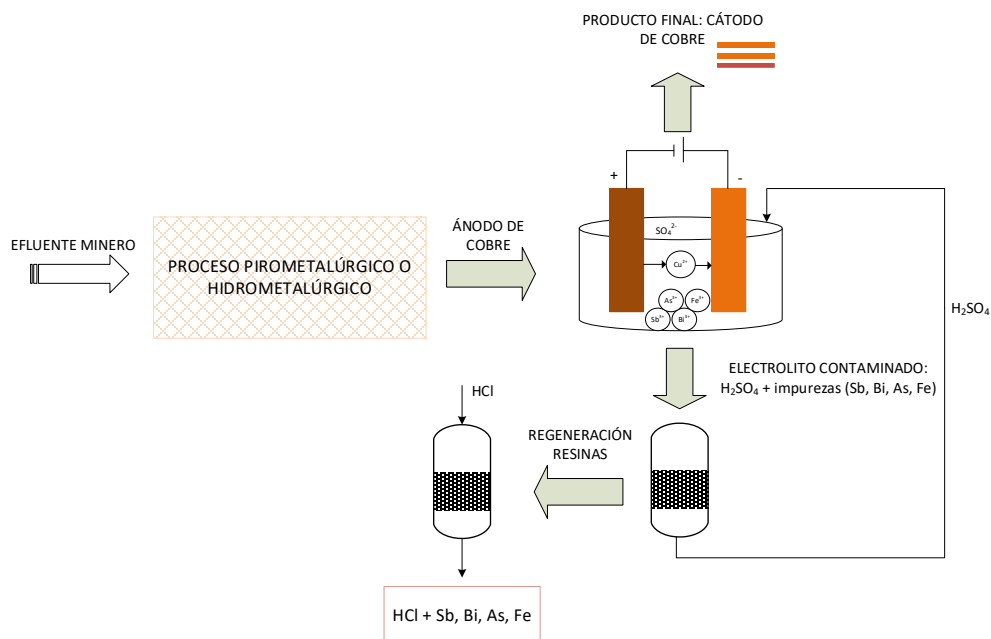


Fig. 1 Diagrama del proceso de producción de cobre

## 4. Resultados

### 4.1. Proyecto real

El proyecto a desarrollar por los estudiantes va a basarse en el caso real presentado, cuyo principal objetivo es la recuperación de dos de los elementos presentes en forma de impurezas en la industria del cobre mediante la aplicación de técnicas electroquímicas. Para lograr el objetivo final del proyecto, los estudiantes tendrán que hacer uso de los conceptos impartidos durante el desarrollo de la asignatura. Más concretamente, el objetivo es la separación del antimonio y bismuto del efluente de ácido clorhídrico para la recuperación de los elementos y la reutilización del ácido en el proceso de regeneración de resinas. Para ello, se realizará la caracterización electroquímica del efluente mediante voltametría cíclica y la posterior separación de los elementos y el ácido mediante electrodeposición (Fig. 2).

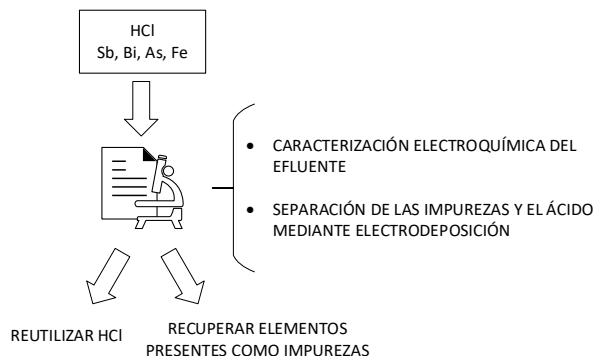


Fig. 2 Esquema del proyecto a desarrollar

Las diferentes fases en las que se va a dividir el desarrollo del proyecto son las siguientes:

- Fase inicial: se presentará el proyecto a los alumnos. Se les introduce a los alumnos la problemática y se presenta el proceso del que se obtiene el efluente a tratar para la recuperación del elemento. También se facilita a los alumnos las características del efluente. Cada grupo trabajará con una concentración de los elementos en la disolución diferente.
- Fase de desarrollo: los alumnos realizarán una búsqueda bibliográfica del proceso del que se obtiene el efluente problema, es decir, de la metalurgia del cobre, y de las concentraciones de los baños y los elementos a recuperar mediante electrodeposición. Durante las sesiones prácticas realizarán ensayos electroquímicos con el efluente problema. El laboratorio cuenta con distintos tipos de tecnologías electroquímicas aplicables a pequeña escala.
- Fase final: cada equipo elaborará una presentación oral con los resultados y conclusiones obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto.

## **4.2. Metodología**

### *4.2.1. Grupos de trabajo*

Para la realización del proyecto, los alumnos se distribuirán en grupos de trabajo de 3-4 alumnos. Los alumnos deberán planificarse para trabajar fuera del aula de forma conjunta.

### *4.2.2. Actividades a realizar para el desarrollo del proyecto*

Tal y como se ha comentado anteriormente, durante las clases de teoría en el aula se presentarán los conceptos teóricos necesarios para el progreso de los alumnos en cada una de las actividades que se presentan a continuación. Con el objetivo de que los alumnos se planifiquen y realicen el trabajo progresivamente, se realizarán dos entregas durante el proceso. El profesor corregirá los entregables y proporcionará un *feedback* de cada uno de ellos para que los alumnos puedan rectificar y avanzar en la realización de la actividad correctamente.

A lo largo del desarrollo del proyecto, cada grupo deberá realizar las siguientes actividades:

- **Búsqueda bibliográfica.** Los alumnos deberán hacer uso de las tecnologías disponibles para recopilar información acerca de la metalurgia del cobre, y del proceso generador del efluente problema del proyecto presentado. Además, se ha de realizar un estudio bibliográfico de las características del efluente residual a tratar, concentración de los baños y de los elementos a recuperar.
- **Caracterización electroquímica del efluente.** Durante la realización de la Práctica 1: Electrodo de disco rotatorio (Fig. 3), los alumnos deberán realizar los ensayos correspondientes para la caracterización del efluente. Los datos obtenidos durante la práctica han de ser corroborados posteriormente con las referencias bibliográficas encontradas. Como resultado de esta actividad, los alumnos han de elaborar el Entregable 1. Previamente a la realización de la siguiente actividad, el profesor proporcionará un *feedback* sobre el Entregable 1 a cada grupo con el objetivo de que puedan corregir o mejorar los resultados obtenidos y no incurran en errores en la realización de la siguiente actividad.
- **Ensayos con reactor electroquímico.** Durante la realización de la Práctica 4: Eliminación de metales pesados mediante un reactor provisto de un electrodo tridimensional, los alumnos

realizarán ensayos electroquímicos para la recuperación del elemento problema. Los parámetros a aplicar durante la realización de estos experimentos serán los obtenidos en la actividad anterior y presentados en el Entregable 1. Los resultados de esta actividad serán plasmados en el Entregable 2. Al igual que con el Entregable 1, previamente a la realización de la siguiente actividad, el profesor proporcionará el *feedback* pertinente.

- **Presentación final del proyecto.** Cada grupo elaborará un informe que englobe todas las actividades realizadas, los resultados y las conclusiones obtenidas. A partir de este informe elaborarán una presentación. Un portavoz de cada uno de los grupos expondrá la presentación de manera oral en el aula. Tras cada presentación se realizarán preguntas y sugerencias tanto por el resto de grupos como por el profesor.



Fig. 3 Montaje experimental de la Práctica 1: Electrodo de disco rotatorio

#### 4.2.3. Cronograma

El cuatrimestre se desarrolla en doce semanas lectivas más los períodos de exámenes. La Fig.4 muestra el cronograma por semanas de las actividades a realizar durante el desarrollo del proyecto. Como se ha comentado en el apartado anterior, entre la fecha límite para cada entregable y la siguiente actividad se establece un periodo de tiempo determinado para que el profesor proporcione las correcciones a cada grupo y se realicen las modificaciones correspondientes.

## Desarrollo de una metodología para la introducción del Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura de Ingeniería Electroquímica

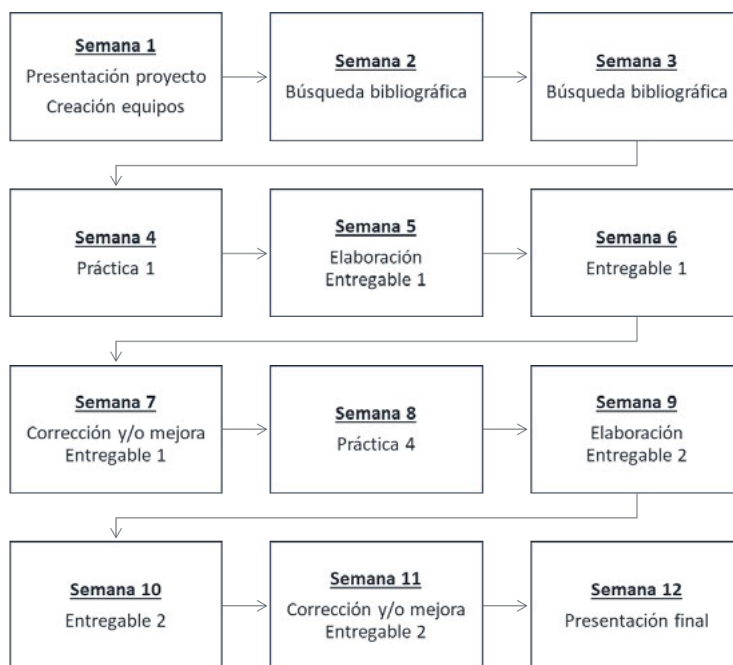


Fig. 4 Cronograma del proyecto

### 4.2.4. Evaluación

La actividad tendrá un peso total del 20% en la calificación final de la asignatura. Cada entregable supondrá un 25% de la calificación de la actividad y la presentación final el 50%, pues se evalúa tanto los resultados y conclusiones obtenidos como la comprensión de los conceptos teóricos que engloba el proyecto.

Con la introducción de esta actividad, la evaluación de la asignatura se reestructurará de la siguiente manera:

- Dos pruebas escritas de respuesta abierta, con un peso individual de 35% sobre la nota final.
- Dos trabajos académicos, correspondientes a los informes derivados de las prácticas de laboratorio 2 y 3, con un peso total de 10% sobre la nota final.
- Proyecto, con un peso del 20% sobre la nota final. Incluirá dos trabajos académicos, correspondientes a las prácticas de laboratorio 1 y 2, y una presentación final.

### 4.3. Competencias

Con la introducción de la metodología del ABP en la asignatura de Ingeniería Electroquímica se pretende fomentar diferentes competencias; en primer lugar, las competencias generales y específicas propias de la titulación y de la materia y, asimismo, diferentes competencias transversales. Además de la competencia transversal ya asignada a la asignatura, Análisis y resolución de problemas, con el ABP se impulsará a los alumnos para la adquisición de las siguientes:

- **Comprensión e integración.** Los alumnos han de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos a la ejecución del proyecto demostrando que los conocimientos han sido comprendidos. En la elaboración de las conclusiones finales los alumnos han de justificar los resultados obtenidos con la teoría.



- **Trabajo en equipo y liderazgo.** El alumnado se organiza en grupos de trabajo donde han de trabajar de forma conjunta. Deben organizarse, repartir tareas y compartir conocimientos.
- **Comunicación efectiva.** Los alumnos han de crear una presentación final que será presentada de manera oral donde han de sintetizar y transmitir los resultados y conclusiones alcanzados durante todo el proceso.
- **Conocimiento de los problemas contemporáneos.** El proyecto tiene como objetivo la solución o mitigación de un problema actual como es la escasez de materia prima y la reducción de residuos.

## 5. Conclusiones

En el presente trabajo se plantea la introducción de la metodología ABP en la asignatura de Ingeniería electroquímica, que se imparte en el segundo curso del Máster en Ingeniería Química. En primer lugar, la problemática del proyecto se presenta como un reto interesante para despertar la motivación de los estudiantes. La puesta en contacto de los estudiantes con un caso real que abarca varios problemas, como son la generación de efluentes residuales y la necesidad de recuperar los elementos presentes en ellos como impurezas, pretende despertar en el alumnado la necesidad de adquirir conocimientos que fomenten el desarrollo sostenible, apoyando la consecución de la meta 4.7 del Objetivo de Desarrollo Sostenible 4. Además, la metodología planteada favorece el aprendizaje profundo de los alumnos, debido a que han de aplicar los conocimientos teóricos para desarrollar un proyecto de aplicación real. Con esta metodología activa también se favorece la comunicación entre alumno-profesor, ya que durante el desarrollo del proyecto el profesor ha de actuar como guía y proporcionar la retroalimentación pertinente para que los alumnos lleven a cabo las tareas de manera correcta. Otro de los beneficios que introduciría la aplicación de esta metodología es que los alumnos reforzarían las diferentes competencias trabajadas a lo largo de la titulación, tanto específicas y generales de la titulación como las competencias transversales. Cabe destacar la importancia de reforzar estas últimas antes de que el alumno se enfrente a su futuro laboral, ya que se encuentran en el curso final de la titulación.

## 6. Referencias

Comisión Europea: Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Resiliencia de las materias primas fundamentales: trazando el camino hacia un mayor grado de seguridad y sostenibilidad. <<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/42849>> [Consulta: 14 de marzo de 2022]

Fernández-Cabezas, M. (2017). Aprendizaje basado en proyectos en el ámbito universitario: una experiencia de innovación metodológica en educación. *International Journal of Development and Educational Psychology*, vol. 2, núm. 1, p. 269-278.

García Gómez, G. J., Bertomeu Motos, A., Blanes Payá, M. J., Jara Bravo, C. A., Mira Martínez, D., Paez Ubieta, I., Pérez Alepuz, J., Sánchez Martínez, D. (2021). Aprendizaje basado en proyectos en robótica del Máster Universitario en Automática y Robótica. Satorre Cuerda, R., Menargues Marcillas, A., Díez Ros, R., Pellin Buades, N. Memorias del Programa de Redes-I3CE de calidad, innovación e investigación en docencia universitaria. Alicante: Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la Universidad de Alicante.

Maldonado Pérez, M. (2008). Aprendizaje basado en proyectos colaborativos. Una experiencia en educación superior. *Laurus*, vol. 14, núm. 28, p. 158-180.

*Desarrollo de una metodología para la introducción del Aprendizaje Basado en Proyectos en la asignatura de Ingeniería Electroquímica*

Morales Torres, M.J., Cárdenas Zea, M.P., Reyes Pérez, J. J., Méndez Martínez, Y. (2022). Aprendizaje basado en proyectos como tendencia de enseñanza en la Educación Superior. *Revista Universidad y Sociedad*, vol. 14, S1, p. 53-58.

Toledo Morales, P., Sánchez García, J.M. (2018). Aprendizaje basado en proyectos : una experiencia universitaria. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, vol. 22, núm. 2, p. 471-491.

Zambrano Briones, M. A., Hernández Díaz, A., Mendoza Bravo, K. L. (2022). El aprendizaje basado en proyectos como estrategia didáctica. *Conrado*, vol. 18, núm. 84.