

# Introducción de los Conceptos de Sostenibilidad dentro de las Asignaturas del Área de Ingeniería Química

Antonio Sánchez<sup>1</sup>, José María Sánchez<sup>2</sup>

<sup>a</sup>Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Salamanca. Plz. Caídos 1-5. 37008. Salamanca.

## 1. Introducción

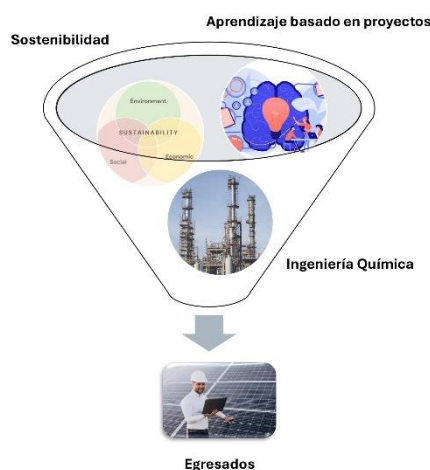
La industria química se ha basado durante las últimas décadas en la utilización de productos derivados del petróleo y el gas natural para la satisfacción de las necesidades de la sociedad buscando un rendimiento económico. Sin embargo, las nuevas inquietudes de la sociedad hacen necesario un cambio significativo en el modelo productivo donde se tengan en cuenta aspectos tales como el respeto hacia el medioambiente, el consumo energético o de agua o los aspectos sociales. Estas nuevas consideraciones quedan recogidas en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) propuestos por las Naciones Unidas siendo algunos de aplicación directa en la industria química tales como agua limpia y saneamiento (ODS 6), energía asequible y no contaminante (ODS 7), industria, innovación e infraestructura (ODS 9) o producción y consumo responsables (ODS 12) (Rivas et al., 2020). En el caso de la Unión Europea, el compromiso medioambiental es claro proponiéndose alcanzar una sociedad neutra en carbono en el año 2050. Es por todo ello, que la evaluación y análisis de los proyectos desde la tradicional perspectiva económica es a día de hoy insuficiente, emergiendo la necesidad de un análisis holístico de los proyectos de la industria química desde la perspectiva de la sostenibilidad (económico, ambiental y social) (Ruggerio, 2021). En la enseñanza superior al igual que en la industria, únicamente los aspectos económicos se consideraron fundamentales en la enseñanza y aprendizaje de las materias de ingeniería química. Los planes de estudio actuales incluyen contenidos relativos a la estimación de los costes, tanto de inversión como de operación, en la industria química, el cálculo de parámetros fundamentales como el tiempo de recuperación o el valor actual neto, incluso la optimización de ciertos problemas mediante la utilización de una función objetivo de tipo económico. Sin embargo, los otros dos aspectos de la sostenibilidad, ambiental y social, no ha sido abordados dentro de los estudios de ingeniería química (Byrne, 2023). Por lo tanto, surge la necesidad de incluir dichos contenidos, de gran importancia en la actualidad, en los estudios de esta rama para capacitar a los estudiantes en estas materias que permitan

---

<sup>1</sup>Email: [antoniosg@usal.es](mailto:antoniosg@usal.es)

<sup>2</sup>Email: [chemasal@usal.es](mailto:chemasal@usal.es)

transformar la industria química y de procesos actual (Fernández-Torres et al., 2020). En el caso del presente proyecto de innovación docente, se planteó esta introducción desde dos perspectivas distintas. Por una parte, mediante la introducción de contenidos dentro del temario de la asignatura de proyectos en ingeniería química. Esta asignatura se localiza en el último semestre (4º cursos, segundo semestre) del grado en ingeniería química de la Universidad de Salamanca con un enfoque claramente integrador de los distintos contenidos del grado. Además, en ella se imparten los conocimientos de diseño de procesos. Es por ello, que se considera altamente propicia para la introducción de estos conceptos de sostenibilidad. En paralelo, y para asentar y permitir la puesta en práctica de estos contenidos, se planteó el uso de la metodología activa de aprendizaje basado en proyectos en la misma asignatura. Esta técnica es muy adecuada para la asignatura seleccionada ya que en ella se aborda el desarrollo de proyectos propios del ámbito de la ingeniería y consideramos además que esta metodología permite poner en práctica los aspectos relativos a la sostenibilidad (Requies Martínez et al., 2018). Ambas perspectivas permitirán a los estudiantes adquirir todas las competencias necesarias en estas materias y en otras relacionadas con la asignatura.



*Figura 1: Resumen de los principales aspectos del proyecto de innovación docente desarrollado*

## **2. Contenidos teóricos de sostenibilidad en la asignatura de proyectos en ingeniería química**

### **2.1 La sostenibilidad en los proyectos de Ingeniería Química.**

Según se recoge en la memoria del Grado de Ingeniería Química de la Universidad de Salamanca, uno de los principales aspectos es su carácter integrador, al tratarse de la última asignatura del Grado. Hasta el momento, la asignatura se enfocaba a evaluar un proceso o proyecto químico desde un punto de vista meramente económico. Al final, los alumnos sacaban como única conclusión para su posterior TFG que el proceso que eligieran debía ser rentable económicamente para que estuviera bien.

Sin embargo, en la actualidad se habla esencialmente de procesos sostenibles. Para que un proceso sea sostenible debe ser rentable tanto económicamente como social y medioambientalmente. Ante este

cambio en el paradigma en la evaluación de un proceso químico se decidió ampliar los conceptos a fin de que los alumnos comprendieran hacia dónde va el desarrollo industrial.

## 2.-2 Desarrollo teórico de la sostenibilidad

El desarrollo teórico de este estudio se puede desglosar en los siguientes puntos:

- Definición general sostenibilidad. Sostenibilidad económica, medioambiental y social. Tipos de procesos sostenibles: procesos ecoeficientes, socialmente eficientes, ecosociales y sostenibles. En este apartado de una forma breve y razonada se introduce a los alumnos en los conceptos previos de sostenibilidad de procesos químicos. Haciéndoles ver que estos conceptos se pueden extrapolar a otras ramas.
- Descripción de los métodos utilizados para evaluar la sostenibilidad. Una vez afianzados los conceptos de sostenibilidad se describe los distintos métodos para evaluar si un proceso es sostenible o no. Durante el desarrollo de esta parte se describirán distintos métodos como
  - a) Eco-costvalue ratio (EVR). En este método todos los factores ambientales, sociales y económicos se recogen el denominado eco-coste.
  - b) Análisis del ciclo de vida (LCA). Este es el método más usado en los procesos químicos ya que en él se valora los efectos que se generan al producir un bien en el planeta. Tras ello se explicará los distintos tipos de estudios de ciclo de vida con los que se puede encontrar el alumno en su futura carrera profesional.
- Enumeración de las distintas métricas utilizadas en el estudio del ciclo de vida. En este apartado teórico aparte de recoger las distintas métricas económicas, medioambientales y sociales que se suelen evaluar en un estudio de ciclo de vida se pondrá ejemplos, obtenidos en bibliografía para distintos productos analizando los resultados,
- Aunque todas las métricas tienen su importancia, dado que el curso es para futuros ingenieros químicos se prestará principal atención a las métricas medioambientales, en especial, a la huella de carbono. Explicando mediante ejemplos tanto como se determina como los factores que afectan a esta (pool eléctrico, fuente de energía, transporte, emisión de compuestos de efecto invernadero, etc.)
- Normalización y presentación de las métricas. Como parte final de la teoría involucrada en esta parte, se explicará cómo se realiza la normalización de las distintas métricas usadas, así como la presentación de estas para evaluar o no la sostenibilidad del proceso que se esté estudiando.

Estos nuevos conceptos teóricos se introdujeron en el temario de la asignatura y se desarrollaron a partir de clases magistrales y clases de resolución de problemas dentro del marco de la asignatura. Se introdujo dentro de la parte de diseño de procesos químicos, contenido esencial que se debe cubrir en esta materia según en plan de estudios.

### **3. Aprendizaje basado en proyectos incluyendo las métricas de sostenibilidad**

Como complemento a los contenidos teóricos en materia de sostenibilidad introducidos en la asignatura, se propone la realización de un proyecto que permita poner en práctica los conocimientos adquiridos ayudando a asentar dichos conocimientos en el alumnado. Esta parte se basa en la metodología activa de aprendizaje basado en proyectos definida como un conjunto de actividades, organizadas y elaboradas de forma sistemática, que se realizan con el objetivo de resolver un problema determinado desde la consecución de un producto o tarea final. Esta metodología permite afrontar plenamente los requerimientos del espacio europeo de educación superior, introduciendo elementos adicionales de motivación en el alumnado y permitiendo el desarrollo de habilidades transversales.

En este caso, mediante el aprendizaje basado en proyectos nos planteamos fundamentalmente los siguientes objetivos:

- Que los alumnos sean capaces de desarrollar un proceso completo llevando a cabo los balances de materia y energía, dimensionando las distintas unidades, etc.
- Que los alumnos desarrollen un proceso químico sostenible relacionado con la implementación de una nueva industria química verde.
- Que los alumnos plasmen en un escenario real los conocimientos teóricos adquiridos en la asignatura.
- Que los alumnos sean capaces de tomar decisiones basando en indicadores de distinto tipo (económico, ambiental, social).
- Que dispongan de las herramientas necesarias para realizar su trabajo fin de grado (TFG).

Para ellos se propone el desarrollo de un proyecto dividido en las siguientes etapas:

#### **Etapas 1: Presentación y contextualización del problema**

En esta etapa se presenta el problema a resolver y se expone la metodología de trabajo. El tema propuesto en el presente proyecto fue “producción de productos químicos a partir de almidón”. Este tema permite al alumnado conocer y aplicar la utilización de la biomasa como materia prima alternativa para la industria química. Esta alternativa capacita a los alumnos para la implementación de procesos alternativos para materias primas sostenibles dentro de la industria química que es uno de los objetivos buscados mediante el presente proyecto. Esta presentación se llevó a cabo el primer día de la asignatura (5 de febrero de 2024) por parte del profesorado de la misma. Asimismo, se llevó a cabo la organización del proyecto. Se dividieron al total de los alumnos (37) en 10 grupos formados por entre 3 y 4 personas cada uno. Estos grupos se formaron según la voluntad de los alumnos para favorecer grupos de trabajo plenamente compatibles para garantizar los logros del proyecto. En cada uno de los grupos se seleccionó a uno de los integrantes que ejercería como responsable del grupo a efectos de la comunicación con el profesorado de la asignatura.

## **Etapas 2: Desarrollo del proyecto para la solución del problema propuesto**

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo durante el segundo semestre del curso académico 2023-24, donde está encuadrada la asignatura de proyectos en ingeniería química. Se propuso una estructura del proyecto basado en las normas y usos comunes dentro del ámbito de la ingeniería. En concreto, y para facilitar al alumno el desarrollo de su trabajo fin de grado, la estructura seguida es idéntica a la aprobada por la facultad de Ciencias Químicas en su reglamento de trabajos fin de grado en Ingeniería Química. La estructura particularizada para el proyecto de la asignatura se reseña a continuación:

- Memoria. Es un documento del proyecto que resume los principales elementos del mismo de forma que sea comprensible para personal no técnico involucrado en el proyecto. Este documento recogerá un resumen de los principales trabajos desarrollados para la producción de un producto químico determinada a partir de almidón apoyándose en los anejos a la misma que contendrán de forma detallada y precisa los cálculos realizados según se expone a continuación.
- Anejos a la memoria:
  - Viabilidad tecnológica: Descripción de las alternativas disponibles para llevar a cabo la síntesis u obtención del producto deseado. Al final de este anejo, el alumno deberá seleccionar una de las alternativas en base a criterios objetivos y razonados. En este caso, los alumnos evaluarán los distintos productos químicos que se pueden obtener a partir de almidón. Utilizarán distintas herramientas de búsqueda bibliográfica para poder conocer que productos, como llevarlo a cabo de manera simplificada, así como distintos datos que permitan conocer la mayor o menor viabilidad de cada una de las alternativas.
  - Ingeniería de proceso: tras la etapa inicial que es común a todos los grupos, a partir de este anexo los distintos grupos realizarán el diseño del proceso orientado a la síntesis de un producto químico en particular. Esta selección se realiza por parte del profesorado de la asignatura teniendo en cuenta los trabajos presentados en el anexo anterior. En este anejo deberán realizar un análisis detallado del proceso propuesto para la producción de un determinado producto químico incluyendo tanto las etapas de acondicionamiento, la reacción química y la posterior separación. Se tendrán en cuenta las materias primas disponibles, el producto a fabricar y las características deseadas, así como los distintos servicios auxiliares que sean necesarios para el proceso propuesto. En este caso los productos a desarrollar por cada uno de los grupos se encuentran recogidos en la tabla siguiente:

Tabla 1: Productos seleccionados a ser producidos a partir de almidón

| <u>Grupo</u> | <u>Producto</u>             |
|--------------|-----------------------------|
| 1            | Polihidroxialcanoatos (PHA) |
| 2            | Hidrogeno                   |
| 3            | Jarabe de glucosa           |
| 4            | Hidroximetilfurfural (HMF)  |
| 5            | Ácido adípico               |
| 6            | Ácido glucónico             |
| 7            | Ácido succínico             |
| 8            | Sorbitol                    |
| 9            | Dextrinas                   |
| 10           | Ácido láctico               |

- Balances de materia y energía: Se realizan los balances de materia y energía a todos los equipos involucrados en el proceso propuesto. En este anexo, los estudiantes también incluyen las propiedades fisicoquímicas necesarias para la realización de los mismos tales como entalpia de vaporización, entalpia de reacción, capacidades caloríficas, etc. Al final de este anejo, se debe incluir una evaluación simplificada del impacto ambiental donde los resultados de los balances de materia y energía serán determinantes. Esta evaluación ambiental se basa fundamentalmente en la intensidad energética y en la huella de carbono. Estos conceptos son introducidos durante el presente proyecto de innovación docente dentro de la asignatura de proyectos en ingeniería química. Estos conocimientos son esenciales para evaluar los procesos químicos diseñados a partir de un análisis global de sostenibilidad y no en una mera estimación económica.
- Diseño de equipos: Se diseñan varios equipos dentro del proceso seleccionado con una entidad suficiente dentro del ámbito de conocimiento de la ingeniería química. Se incluirá la hoja de especificaciones de los equipos diseñados. En este anexo, se incorpora además una concepción preliminar del sistema de control a los equipos seleccionados. Se entenderá como equipo de entidad a unidades con reacción química (diseñados a partir de datos cinéticos) y a operaciones unitarias que involucren transferencia de masa y/o calor (destilación, extracción, absorción, etc.). Quedan excluidos, a los efectos del presente anejo, equipos como intercambiadores de calor, compresores, bombas, mezcladores, depósitos u análogos. En el caso del proyecto propuesto y para garantizar la equidad de todos los grupos a pesar del diferente número de integrantes, el número de equipos a diseñar será igual al número de

miembros que integran cada uno de los grupos. En el caso de la producción de productos químicos a partir de almidón, los equipos más recurrentes entre los distintos grupos se corresponden con reactores de hidrólisis, fermentadores, membranas, equipos de extracción, etc.

- Evaluación económica: cálculo del capital necesario. Se realizará el cálculo del capital a invertir en el proceso propuesto, tanto fijo como circulante. Se estimarán también los costes del proceso incluyendo tanto costes fijos como variables. Finalmente, se incluirán distintas métricas de rentabilidad para determinar el rendimiento económico del proceso. Las estimaciones económicas recogidas en este anexo se han explicado de forma pormenorizada dentro del temario de la asignatura y se realizarán en base a los anejos de balances de materia y energía y al de diseño de equipos.
- Planos: se deberán incluir dos tipos de planos, el diagrama de proceso y un diagrama simplificado de cada uno de los equipos diseñados. El diagrama de proceso incluirá el proceso propuesto incluyendo la numeración de las distintas corrientes y equipos, los flujos de materia y energía involucrados, así como, las principales condiciones de las distintas corrientes (temperatura, fase, presión, etc.). En el caso del diagrama simplificado de los equipos diseñados, estos incluirán el dimensionado de los distintos equipos con las vistas necesarias. El diagrama de proceso se entregará junto con el anejo de balances de materia y energía y los diagramas simplificados junto con el anejo de diseño de equipos.
- Presupuesto simplificado. Debido a que no es posible realizar un proyecto completo, es necesario realizar un presupuesto más breve en base a las estimaciones propuestas durante el temario de la asignatura. El presupuesto se entrega junto con el anejo de evaluación económica.

Las distintas partes del proyecto se han ido entregando de forma escalonada durante el semestre de trabajo. Posteriormente a la entrega, de forma aleatoria, dos de los grupos presentaron el anejo realizado por un periodo aproximado de 15 min cada uno de ellos seguido de un tiempo similar de discusión y debate entre el profesorado y alumnado de la asignatura. El profesorado involucrado ha realizado la corrección previa del anejo escrito presentando, por lo que distintos puntos de mejora son propuestos. Estos servirán tanto para mejorar los anejos del presente proyecto, así como, para tener una mayor información de cómo realizar los mismos de cara al TFG. En particular, la siguiente tabla recoge la fecha de entrega de las distintas partes para la producción de los distintos productos químicos a partir de almidón:

Tabla 2: Entregables y fechas para el proyecto desarrollado

| <u>Entregable</u>             | <u>Fecha de entrega</u> | <u>Fecha de exposición</u> |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| Anejo 1                       | 20 de febrero de 2024   | 22 de febrero de 2024      |
| Anejo 2                       | 5 de marzo de 2024      | 7 de marzo de 2024         |
| Anejo 3 + Diagrama de proceso | 19 de marzo de 2024     | 21 de marzo de 2024        |
| Anejo 4 + Planos equipos      | 16 de abril de 2024     | 18 de abril de 2024        |
| Anejo 5 + Presupuesto         | 30 de abril de 2024     | 2 de mayo de 2024          |
| Memoria                       | 14 de mayo de 2024      | 16 de mayo de 2024         |

Asimismo, una semana antes del examen, se requiere a los estudiantes que suban a la plataforma el proyecto completo con todas las modificaciones y mejoras realizadas desde la respectiva entrega de los distintos anejos. Así se obtiene una versión consolidada de todo el proyecto realizado que puede encontrarse dentro de la siguiente carpeta compartida de Google drive.

<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1lXYHooy0z76nc--B55hGaJxj5XchG24B>

### **Etapas 3: Resultados finales, presentación y evaluación del proyecto**

Tras finalizar todos los cálculos necesarios en el proyecto, la etapa final consiste en realizar la memoria del proyecto. Junto a ella, se propone la realización de una exposición final donde cada uno de los grupos exponga los principales resultados alcanzados dentro de la elaboración del proyecto. Esta presentación permite comparar los procesos para producir distintos productos químicos a partir de una misma materia prima (almidón) y una misma cantidad (10000 t/año). Esto permite aumentar el desarrollo de una mentalidad crítica entre los estudiantes, evaluando las distintas alternativas desde un punto de vista económico, social y ambiental. Las exposiciones fueron breves, de en torno a 5 min, con una posterior discusión final. Para garantizar que los resultados presentados fueran homogéneos y realizar una comparativa justa entre las distintas alternativas, el profesorado de la asignatura propuso una serie de indicadores que debían presentarse para todos los procesos. Estos eran:

- Coste total de Operación (TCOP) en €/kg de materia prima
- Beneficio neto en €/kg de materia prima
- Electricidad consumida en MJ/ kg de materia prima
- Calor consumido en MJ/kg de materia prima
- GWP en kg CO<sub>2</sub> eq/kg de materia prima
- Agua consumida en kg H<sub>2</sub>O/kg de materia prima
- Rendimiento en kg de producto/kg de materia prima
- Impacto social en € mano de obra generada/kg de materia prima



ID2023/048: Introducción de los Conceptos de Sostenibilidad dentro de las Asignaturas del Área de Ingeniería Química

De manera resumida los resultados de los distintos grupos de proyecto para la producción de distintos productos químicos a partir de almidón quedan resumidas en los siguientes diagramas:

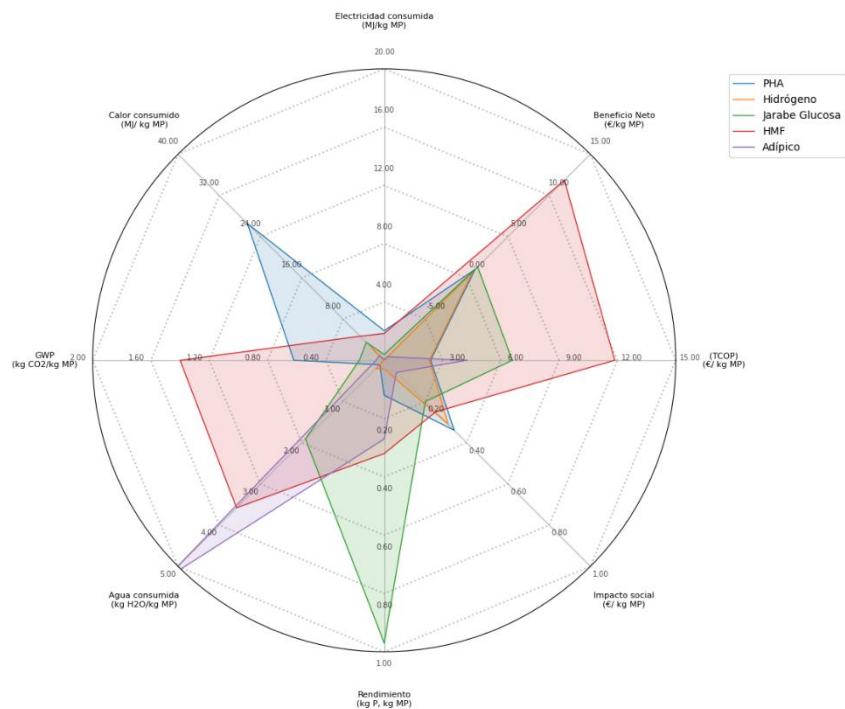


Figura 2: Principales indicadores para los 5 primeros productos químicos a partir de almidón

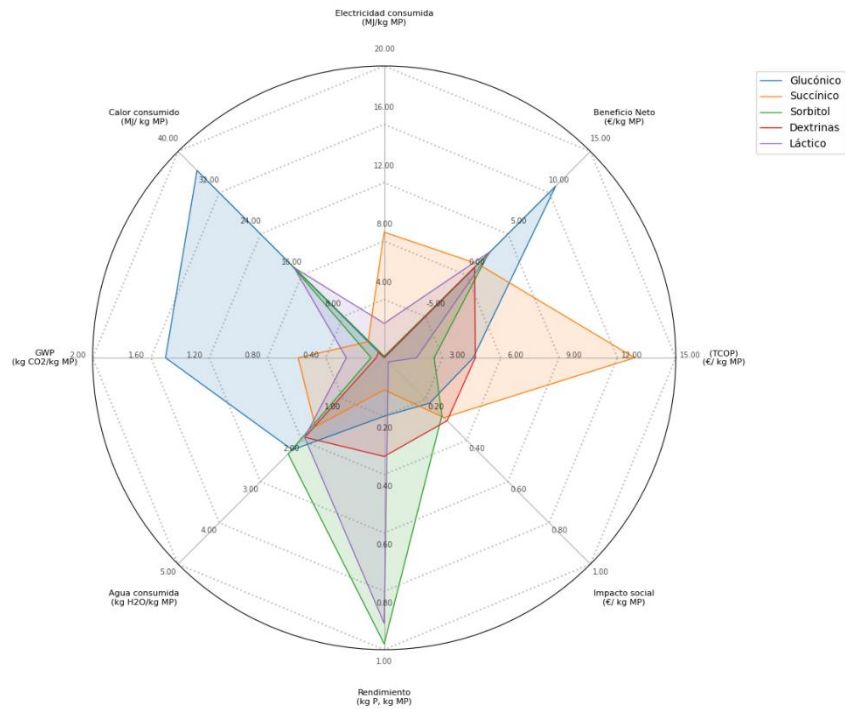


Figura 3: Principales indicadores para los 5 últimos productos químicos a partir de almidón

Asimismo, pasados unos días tras esta exposición, se sometió a los alumnos de la asignatura a una encuesta para conocer si los objetivos que nos proponíamos alcanzar con este aprendizaje basado en proyectos se habían alcanzado. Las preguntas realizadas fueron las siguientes a valorar entre 1 y 5 siendo 1 baja utilidad y 5 alta utilidad:

- P1 - Valore la utilidad del proyecto desarrollado a efectos de analizar un proceso completo (ver las distintas alternativas, llevar a cabo los balances al proceso completo, etc.) (1 – escasa utilidad; 5 – alta utilidad).
- P2 - Valore la utilidad del proyecto desarrollado para conocer y analizar procesos novedosos relacionados con la nueva industria química verde (nuevas materias primas, nuevos productos, alternativas novedosas, etc.) (1 – escasa utilidad; 5 – alta utilidad).
- P3 - Valore la utilidad del proyecto desarrollado para plasmar los conceptos teóricos explicados en la asignatura de proyectos en ingeniería química (documentos de un proyecto, evaluación económica, métricas ambientales, etc.) (1 – escasa utilidad; 5 – alta utilidad).
- P4 - Valore la utilidad del proyecto desarrollado para alcanzar un análisis crítico de un proceso siendo analizado desde distintas perspectivas (económica, social, ambiental, etc.) (1 – escasa utilidad; 5 – alta utilidad).
- P5 - Valore la utilidad del proyecto desarrollado para adquirir destrezas que permitan realizar mejor el trabajo fin de grado (TFG) elegido (1 – escasa utilidad; 5 – alta utilidad).

Además, se introdujeron dos preguntas de respuesta abierta:

- Indique posibles elementos de mejora para los próximos años:
- Otros comentarios:

Los resultados obtenidos se resumen en la figura siguiente:

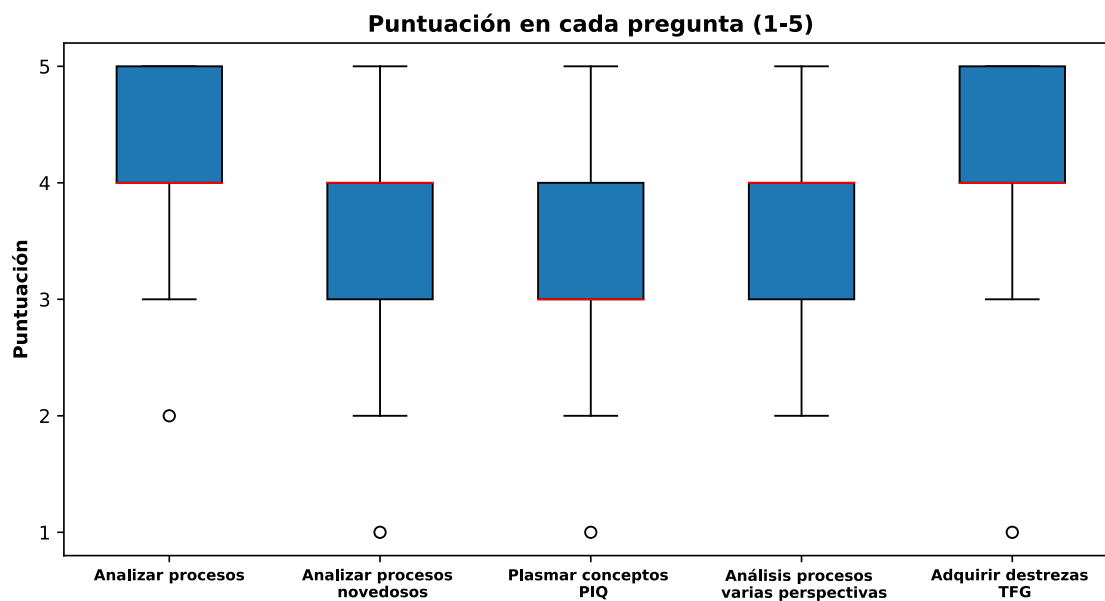


Figura 4: Resultados de la encuesta al alumnado

Se observa que la satisfacción general con los distintos apartados es alta con medias del entorno a 4 sobre 5. Si analizamos cada una de ellas, vemos que los alumnos valoran especialmente lo relativo al análisis de los procesos en su totalidad (P1) junto con las habilidades necesarias para la realización del trabajo fin de grado (P5). La media de estas preguntas se sitúa en torno a 4,1 sobre 5. En un segundo nivel encontramos al resto de preguntas (P2-P4) con puntuaciones medias en torno a 3,6 sobre 5. A pesar de que son puntuaciones moderadamente buenas nos permiten identificar ámbitos de mejora. En la pregunta relativa al desarrollo de procesos de una industria química sostenible, la media de las respuestas es 3,6. Se intentará avanzar en este indicador buscando temas sobre la industria química sostenible que resulten más atractivos para el alumnado. Debemos comentar en este punto que este tipo de proyectos también supone un reto añadido para los estudiantes ya que no existe una gran tradición industrial en estos procesos y la disponibilidad de información es más limitada. Esto puede hacer que lo vean como una dificultad añadida y reduzcan la puntuación en esa pregunta. En cuanto a los comentarios finales que los estudiantes podían añadir debemos destacar algunos por la frecuencia con la que tuvieron lugar. Uno de los comentarios más recurrentes es sobre la necesidad de aumentar el porcentaje de calificación del proyecto realizado en la nota final frente al examen final. En la actualidad, el porcentaje de evaluación continua de la asignatura corresponde al 30% frente a un 70% correspondiente al examen final. Desde el punto de vista del profesorado, el aumento del porcentaje puede resultar complejo fundamentalmente en lo relativo a la individualización de la calificación. En el caso del proyecto, la nota es igual para cada grupo a excepción de que se detecten diferencias apreciables. Esto no permite juzgar de forma individualizada el rendimiento de los alumnos. Sin embargo, la nota de la prueba final es única para cada uno de los alumnos. Por lo tanto, esta nos permite un tratamiento individual de los resultados de cada uno de los integrantes de los distintos grupos. Algunas otras sugerencias que surgen de las encuestas realizadas son las relativas a dar más información de la corrección sobre todo de cara a la

realización del trabajo fin de grado o el mayor acoplamiento temporal de algunos aspectos a lo largo del proyecto.

#### **4. Conclusiones**

Con el presente proyecto docente, se ha abordado la introducción de la sostenibilidad dentro del temario de las asignaturas de ingeniería química, en particular, dentro de la asignatura de proyectos en ingeniería química del cuarto curso del grado. En concreto, se han aplicado dos tipos de metodologías docentes. Por una parte, se han incluido algunos aspectos de sostenibilidad dentro del temario de la asignatura siendo expuestos mediante clases magistrales y de resolución de problemas. Asimismo, hemos planteado el uso de la metodología activa de aprendizaje basado en proyectos para conseguir plasmar estos de manera genuina dentro de un caso práctico real relacionado con la ingeniería química. En concreto, se propuso a los estudiantes la producción de productos químicos a partir de almidón. Esto permitirá a los estudiantes conocer y afrontar el reto de una industria química verde, en este caso, donde la biomasa sea la materia prima. El trabajo se organizó de forma grupal, realizando el análisis de la producción de diversos productos químicos a partir de almidón (PHAs, hidrogeno, ácido láctico, etc.). La estructura del mismo se basa en los requerimientos de un proyecto técnico, tomando la estructura del TFG propuesto para el grado en ingeniería química de la Universidad de Salamanca. El desarrollo del mismo incluyó tanto un trabajo grupal para la preparación de los diferentes anejos como una parte de exposición y debate entre el alumnado y el profesorado de la asignatura. Los estudiantes han valorado de forma positiva el presente proyecto con calificaciones medias de en torno a 4 sobre 5. Destacan particularmente dos aspectos, el análisis de un proceso en su integralidad y la preparación para el desarrollo del TFG. En base a estos resultados, se espera seguir realizando esta actividad en cursos sucesivos mejorando en aquellos aspectos que han sido expuestos por los alumnos y en aquellos puntos de mejora detectados por el profesorado. Con ello, pretendemos capacitar a los estudiantes para un futuro profesional en la industria química o en otras áreas afines donde la sostenibilidad será un aspecto fundamental. Esto permitirá afrontar desde la ingeniería los ODS propuestos por Naciones Unidas, así como tener las herramientas necesarias para construir una industria descarbonizada de acuerdo con los objetivos de neutralidad climática.

#### **Bibliografía**

Byrne, E. P. (2023). The evolving engineer; professional accreditation sustainability criteria and societal imperatives and norms. *Education for Chemical Engineers*, 43, 23-30.

Fernández-Torres, M. J., Hildebrandt, D., Sempuga, B. C., & Caballero, J. A. (2020). Integrating environmental concerns into the teaching of mathematical optimization. *Education for Chemical Engineers*, 32, 40-49.

Rivas, D. F., Boffito, D. C., Faria-Albanese, J., Glassey, J., Afraz, N., Akse, H., ... & Weber, R. S. (2020).

Process intensification education contributes to sustainable development goals. Part 1. Education for Chemical Engineers, 32, 1-14.

Requies Martínez, J. M., Agirre Arisketa, I., Barrio Cagigal, V. L., & Graells Sobré, M. (2018). Evolution of project-based learning in small groups in environmental engineering courses. Journal of Technology and Science Education, 8(1), 45-56.

Ruggerio, C. A. (2021). Sustainability and sustainable development: A review of principles and definitions. Science of the Total Environment, 786, 147481.