



Diseño y escalado de un bioproceso: del artículo de investigación a la planta industrial (PAINN-16-016)

Convocatoria de los Proyectos de Innovación 2016

Sergio Collado Alonso – colladosergio@uniovi.es

Paula Oulego Blanco – oulegopaula@uniovi.es

Palabras clave: ABP; bioproceso; biotecnología; diseño; escalado; industria; ingeniería

1 Resumen / Abstract

Con el fin de reforzar la capacidad de los alumnos de 3º curso de Biotecnología para aplicar los conocimientos adquiridos en la asignatura “Bases de la Ingeniería Bioquímica” y otras fundamentales (Matemáticas, Física, Biología, Química) desde un punto de vista “ingenieril e industrial”, se propuso una nueva estrategia didáctica por la que cada grupo de siete integrantes debe realizar el diseño de un bioproceso completo (upstream, bioreactor y downstream) y su correspondiente escalado a nivel industrial. Para ello, a los alumnos sólo se les suministró un artículo de investigación sobre la capacidad de un determinado microorganismo para generar a nivel de laboratorio algún producto con interés comercial. A partir de este punto, cada grupo dispuso de total libertad para seleccionar y dimensionar las operaciones necesarias para llevar la biotransformación hasta un nivel industrial. Todas las elecciones debían estar convenientemente justificadas. Se valoraron especialmente los diseños más sencillos (sin operaciones redundantes o muy complejas), económicas (empleo de las operaciones más baratas) y respetuosos con el Medioambiente (evitando el empleo de agentes químicos peligrosos y con el menor consumo energético).

Un 59% y un 19% de los alumnos han encontrado este enfoque más o igual de útil que la tradicional entrega y corrección de series, respectivamente. Los alumnos han recibido positivamente la actividad, con una valoración global media de 7.2 ± 1.6 . Señalaron que la actividad se ajusta al programa y al plan de trabajo y, aunque consideran que la dificultad ha sido alta y con un nivel de exigencia elevado, útil. Los alumnos sugirieron que la tarea podría estar mejor organizada. Sin embargo, también indican que los medios utilizados han sido adecuados y que las explicaciones de los profesores han sido suficientes.



2 Objetivo

2.1 Objetivos propuestos

Según la memoria de solicitud (Anexo II), los objetivos específicos propuestos en este proyecto fueron los siguientes:

1. Aprender a identificar los componentes fundamentales de un proceso industrial de tipo biotecnológico y la importancia relativa de cada uno.
2. Conocer las principales restricciones técnicas, económicas, medioambientales y de seguridad a las que están sometidos los procesos industriales biotecnológicos.
3. Ser capaz de hacer elecciones críticas durante las etapas de diseño y escalado de bioprocesos industriales.

2.2 Objetivos alcanzados

Con respecto al primer objetivo (*Aprender a identificar los componentes fundamentales de un proceso industrial de tipo biotecnológico y la importancia relativa de cada uno*), consideramos que los alumnos lo han adquirido satisfactoriamente. Tanto durante las distintas etapas de diseño como durante la presentación del informe final, los alumnos han sabido centrarse en el diseño de los componentes fundamentales: sistemas de bombeo y agitación, sistemas de intercambio de calor, sistemas de aireación y selección de secuencia de operaciones downstream.

Relativo al segundo objetivo (*Conocer las principales restricciones técnicas, económicas, medioambientales y de seguridad a las que están sometidos los procesos industriales biotecnológicos*), los alumnos han demostrado tener muy en cuenta la viabilidad técnica, económica y medioambiental durante el escalado del bioproceso hasta nivel industrial. Este aspecto se reforzó al inicio de la consecución del proyecto, indicando a los alumnos que el empleo de operaciones sencillas, seguras, no redundantes y que no generasen residuos se valoraría muy positivamente durante la evaluación.

Por último, el tercer objetivo (*Ser capaz de hacer elecciones críticas durante las etapas de diseño y escalado de bioprocesos industriales*), creemos que también ha sido conseguido. Aunque los alumnos disponían de total libertad a la hora de realizar el diseño del bioproceso, todas las elecciones fueron justificadas y defendidas en la memoria y durante la presentación.

2.3 Modificaciones al proyecto inicial y justificación de los cambios

N/A

2.4 Tipo de proyecto

Tipo A (PINNA)	X
----------------	---

Tipo B (PINNB)	
----------------	--

En este apartado decir el tipo de proyecto (Tipo A o Tipo B) y únicamente en caso de ser de tipo B, describir las ampliaciones y novedades con respecto a los proyectos anteriores de los cuales es continuación.



3 Memoria del Proyecto

3.1 Interés

La Ingeniería Bioquímica/ Ingeniería Biotecnológica/ Ingeniería de Bioprocesos es la ciencia aplicada que se ocupa de las actividades relacionadas con el desarrollo de las instalaciones industriales que utilizan materias primas biológicas o procesos biológicos de transformación. Su objetivo central es generar productos a los menores costos posibles y de la mejor calidad mediante bioprocesos que rindan la mayor productividad y que sean consistentemente reproducibles lote tras lote. Asimismo, los productos generados deberán ser seguros para el ser humano y el Medio Ambiente.

Se dice que la Ingeniería de Bioprocesos es la disciplina que pone a trabajar a la Biotecnología. Es decir, emplea los datos obtenidos a nivel de laboratorio como punto de partida para llevar un bioproceso hasta escala industrial. A la hora de llevar a cabo este diseño, es frecuente dividirlo en tres áreas individuales (aunque están fuertemente interrelacionadas entre ellas)

- Diseño de operaciones de flujo de fluidos (agitación, bombeo...)
- Diseño de operaciones de transmisión de calor (esterilización, control de temperatura...)
- Diseño de operaciones de transmisión de materia (aireación, humidificación...)

Si bien es cierto que los alumnos de 3º curso de Biotecnología tienen una excelente formación en áreas fundamentales básicas (Matemáticas, Física, Biología, Química...), habíamos detectado en cursos anteriores que les resulta complicado aplicar estos conocimientos a la hora de diseñar un bioproceso a nivel industrial. Están acostumbrados a problemas muy “masticados”, en los que reciben todos los datos necesarios para realizar el diseño de la operación unitaria en el enunciado del problema. Sin embargo, cuando se enfrentan a un problema real, los alumnos no tienen experiencia en búsqueda de parámetros de diseño y en el uso de distintas herramientas muy útiles en Ingeniería, y encuentran muy complejo desarrollar criterios de decisión propios y razonados sobre aspectos básicos.

Por lo anterior, en este proyecto se propuso una estrategia didáctica por la que cada grupo de siete integrantes, pertenecientes a la asignatura “Bases de la Ingeniería Bioquímica” (Grado de Biotecnología), debía realizar el diseño de un bioproceso completo (*upstream*, bioreactor y *downstream*) y su correspondiente escalado a nivel industrial. Consideramos que el interés de esta propuesta radica en los siguientes aspectos:

- Permite a los alumnos enfrentarse a una situación que probablemente encuentre en su vida laboral: el diseño de un nuevo bioproceso, disponiendo sólo de la información más básica (tipo de microorganismo, producto de interés, temperaturas y nivel de oxígeno óptimos para el crecimiento).



- Da una visión más transversal de la asignatura, ya que obliga a realizar un diseño en paralelo de las operaciones de flujo, materia y calor.
- Implica que los grupos tengan completa autonomía en ciertos aspectos del diseño que no se suelen tratar en problemas tradicionales, como pueden ser la elección de la cantidad anual de producto deseada, las secuencias de etapas *downstream* o *upstream* o la elección del medio óptimo.
- Permite a los alumnos que trabajen en grupos con una estructura organizativa similar a la que pueden encontrar en una empresa o consultoría.
- Hace que los alumnos sean más conscientes de la importancia de la seguridad y la protección medioambiental desde las etapas iniciales de diseño.

3.2 Situación anterior al proyecto

En cursos anteriores, la asignatura *Bases de Ingeniería Bioquímica* se ha impartido siguiendo el siguiente esquema

- i. Explicación de los fundamentos del flujo de fluidos (CE)
- ii. Explicación del diseño de operaciones basadas en flujo de fluidos (CE)
- iii. Realización de problemas sobre flujo de fluidos (PA)
- iv. Explicación de los fundamentos de transmisión de calor (CE)
- v. Explicación del diseño de operaciones basadas en transmisión de calor (CE)
- vi. Realización de problemas sobre transmisión de calor (PA)
- vii. Explicación de los fundamentos de transferencia de materia (CE)
- viii. Explicación del diseño de operaciones basadas en transferencia de materia (CE)
- ix. Realización de problemas sobre transferencia de materia (PA)

Si bien este planteamiento tiene la ventaja de ser el enfoque, *a priori*, lógico (de hecho, es el utilizado en asignaturas análogas de Grados de Biotecnología de otras universidades), en nuestra opinión presenta ciertas desventajas:

- A los alumnos se les plantean problemas de cada área a resolver muy “masticados”. Es decir, el alumno recibe todos los datos necesarios para realizar el diseño de la operación unitaria en el enunciado del problema. Sin embargo, cuando se enfrenten a un problema “real”, deberán ser ellos quienes seleccionen valores de diseño razonables (caudales a tratar, tiempos de residencia característicos de cada equipo, correlaciones adecuadas para cada caso específico...)
- El esquema planteado no hace el suficiente hincapié en el elevado grado de dependencia entre las tres áreas (flujo de fluido, calor y materia). Por ejemplo, la potencia de una bomba depende la temperatura del fluido impulsado, a la vez que su calentamiento o enfriamiento es función de la velocidad a la que circula. De hecho, a nivel industrial no se hace un diseño “en serie”, como sugiere el esquema seguido hasta ahora, sino “en paralelo”, trabajando en las tres áreas a la vez.



- Un esquema tan segmentado puede provocar que alumnos consideren que los conocimientos adquiridos no les serán útiles en su futura vida laboral.

3.3 Descripción del proyecto

Este proyecto plantea una nueva estrategia didáctica que intenta solventar estas limitaciones. La propuesta se basa en el diseño por parte de los alumnos de un bioproceso completo a escala industrial, bajo las siguientes condiciones:

- Los alumnos disponen únicamente de un artículo de investigación descargado de una plataforma electrónica sobre el proceso de biotransformación de un sustrato en un producto con interés comercial a nivel de laboratorio (matraz Erlenmeyer o similar).
- Los alumnos tienen total libertad para seleccionar productividades, secuencias de operaciones, tipo de reactor, sistemas de aireación...), pero las selecciones deben estar convenientemente justificadas.
- Los alumnos forman equipos de siete personas. Dentro de cada grupo, cada integrante tiene un rol definido:
 - 1 Ingeniero de Procesos (I): se encarga de coordinar y dirigir las actividades de los especialistas. Serán el máximo responsable del diseño final y tiene doble voto a la hora de tomar decisiones.
 - 2 Especialistas en operaciones de flujo (F): son los principales responsables del diseño de aspectos como el sistema de bombeo, la agitación mecánica o la red de tuberías. Tienen voto simple a la hora de tomar decisiones.
 - 2 Especialistas en operaciones de transmisión de calor (Q): responden por la parte del diseño de control de temperatura del biorreactor y de sistemas de esterilización de la alimentación. Tienen voto simple a la hora de tomar decisiones.
 - 2 Especialistas en operaciones de transferencia de materia (M): se encarga del diseño del sistema de aireación y de las operaciones de purificación del producto. Tienen voto simple a la hora de tomar decisiones.
- Se valoran especialmente los diseños más sencillos (sin operaciones redundantes o muy complejas), económicos (empleo de las operaciones más baratas siempre que se pueda) y respetuosos con el Medioambiente (evitando el empleo de agentes químicos peligrosos y con el menor consumo energético).

3.4 Metodología

3.4.1 Descripción del material didáctico, de la metodología y justificación

Los materiales didácticos que se requirieron son mínimos. Los únicos materiales necesarios para la tarea son artículos de investigación sobre algún bioproceso innovador que aún esté a escala de laboratorio (cultivo en matraz, placa...). Artículos de este tipo pueden ser encontrados fácilmente en plataformas electrónicas de revistas de investigación. A continuación, se indican los artículos propuestos y los correspondientes enlaces a ellos:



Biokinetics of nitrogen removal at high concentrations by *Rhodobacter sphaeroides* ADZ101

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830515300937>

Biokinetic parameter estimation for degradation of 2,4,6-trinitrotoluene (TNT) with *Pseudomonas putida* KP-T201

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389172302801177>

Benzene biodegradation by indigenous mixed microbial culture: Kinetic modeling and process optimization

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096483051630511X>

Effect of temperature on sugarcane ethanol fermentation: Kinetic modeling and validation under very-high-gravity fermentation conditions

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X16303400>

Optimization and Kinetic Modeling of Ethanol Production from Oil Palm Frond Juice in Batch Fermentation

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215022225>

Evaluation of sawdust hemicellulosic hydrolysate for bioproduction of xylitol by enzyme xylose reductase

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960308515000206>

Batch and continuous synthesis of lactulose from whey lactose by immobilized β -galactosidase

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612013684>

Simultaneous production of lactobionic and gluconic acid in cheese whey/glucose co-fermentation by *Pseudomonas taetrolens*

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415010639>

Cheese whey: A cost-effective alternative for hyaluronic acid production by *Streptococcus zooepidemicus*

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814615302077>

Batch growth kinetic studies for elimination of phenol and cyanide using mixed microbial culture

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714416301660>

Effects of culture conditions on the kinetic behavior of 1,3-propanediol fermentation by *Clostridium butyricum* with a kinetic model

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416305156>

Performance of several *Saccharomyces* strains for the alcoholic fermentation of sugar-sweetened high-strength wastewaters: Comparative analysis and kinetic modelling

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1871678416300280>

Kinetic modeling of batch hydrogen production process by mixed anaerobic cultures

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852405002865>

A batch decolorization and kinetic study of Reactive Black 5 by a bacterial strain *Enterobacter* sp. GY-1

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964830511001053>

Kinetics of d-lactic acid production by *Sporolactobacillus* sp. strain CASD using repeated batch fermentation

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410005468>

Batch kinetics and modeling of gibberellic acid production by *Gibberella fujikuroi*

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141022904003485>



Kinetic modeling of lactic acid production from molasses using *Enterococcus faecalis* RKY1

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X07002628?np=y&npKey=68063aad0a80653c3e5d3e20b5f5827243f0cba0ca663f7acc8399f28fcf846d>

Improving succinic acid production by *Actinobacillus succinogenes* from raw industrial carob pods

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852416309658>

Studies on production of ethanol from cheese whey using *Kluyveromyces marxianus*

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785316303388>

La metodología para llevar a cabo esta propuesta se basó en un aprendizaje basado en problemas, ya que se les plantea un problema poco definido (desarrollar un nuevo bioproceso a escala industrial y rentable), empleando estrategias de *Flipped classroom*, (los alumnos deben buscar sus propias condiciones de diseño a través de artículos científicos disponibles en plataformas electrónicas). El papel de los profesores se centró principalmente en resolver dudas y orientar a los grupos sobre alternativas de diseño.

3.4.2 Recursos materiales disponibles y adecuación al proyecto

Los únicos materiales necesarios para la tarea fueron artículos de investigación sobre algún bioproceso innovador que aún esté a escala de laboratorio (cultivo en matraz, placa...), los cuales pueden ser encontrados fácilmente en plataformas electrónicas de revistas de investigación.

Obviamente, otro recurso necesario fue disponer de un aula en la Facultad de Biología, lo suficientemente grande y con mesas no fijadas al suelo, para permitir que los alumnos puedan formar las distintas reuniones entre integrantes del grupo o entre responsables de distintas áreas.

Para la sesión VI o de evaluación, se requirió de un aula con proyector y ordenador, la cual tampoco fue difícil de conseguir.

Todos los recursos materiales necesarios (artículos, aulas en la Facultad de Biología, proyectores) estaban disponibles, eran fácilmente accesibles y fueron los adecuados para la consecución del proyecto.

3.4.3 Indicadores y modo de evaluación

Se emplearon los siguientes indicadores para llevar a cabo la evaluación:

- **(6 ptos)** → Cada grupo debía entregar un documento Word o pdf con los cálculos realizados para el diseño, así como la justificación de la elección de cada una de las opciones de diseño. A cada miembro del grupo se le evaluaba por la parte de la que era máximo responsable (bombeo y agitación, esterilización y control de temperatura del biorreactor y aireación y métodos de separación).

Indicadores a evaluar:

- Contenido del trabajo (trabajo completo, objetivos bien formulados, contenidos apropiados, bien formulado...) (3.5 ptos)



- Referencias bibliográficas (citas adecuadas y bien referenciadas) (0.5 ptos)
- Presentación (apartados equilibrados, gráficos y tablas ilustrativas...) (2.0 ptos)
- **(4 ptos)** → Asimismo, cada grupo debía defender frente al resto de grupos, empleando powerpoint o similar, el diagrama de flujo de todo el bioproceso, así como los parámetros de diseño principales durante la última sesión planificada.

Indicadores a evaluar:

- Organización de la presentación (bien estructurada, apartados adecuados...) (0.5 ptos)
- Claridad de la presentación (fácil de seguir, lenguaje adecuado...) (1.0 ptos)
- Ritmo y duración (ajuste a tiempo disponible, velocidad...) (0.5 ptos)
- Audiovisuales (ppt atractivo, formato, claridad...) (0.5 ptos)
- Defensa (respuestas a preguntas finales) (1 ptos)

Una vez obtenidas las notas, a cada grupo se le dieron dos opciones:

1. Puntuar a todos los con la misma nota, obtenida como la media de las notas de cada una de las partes del diseño (bombeo, calor y transferencia de materia).
2. Puntuar individualmente a cada integrante del grupo por la parte de la que es responsable y al jefe del proyecto con un punto más de la media de las notas del resto de integrantes.

El 80 por ciento de los grupos escogieron la primera opción

4 Desarrollo del proyecto

4.1 Organización del trabajo y calendario de ejecución

Se establecieron 6 sesiones espaciadas a lo largo del curso. A continuación se muestra el cronograma seguido:

Tabla 1. Cronograma y planificación del proyecto

Sesión	Duración	Actividad	Trabajo propuesto (autónomo)	Resp. (*)	Clase
I	1 h	Presentación y criterios de evaluación Entrega y discusión de artículos.	Propuesta de producción y resolución de balances.	S.C. P.O.	CE
II	1 h	Resolución dudas de sesión I Discusión criterios de selección de sistema de bombeo y agitación	Diseño de bombas y del sistema de agitación del biorreactor	S.C.	TG
III	1 h	Resolución dudas de sesión II Discusión criterios de selección de cambiadores de calor	Diseño del sistema de control de temperatura del biorreactor	S.C.	TG
IV	1 h	Resolución dudas de sesión III Discusión criterios de selección de sistemas de aireación	Diseño del sistema de aireación del biorreactor	S.C.	TG
V	1 h	Resolución dudas de sesión IV	Propuesta de una secuencia <i>down-</i>	S.C.	TG



		Discusión criterios de selección post-tratamientos	<i>stream</i>		
VI	2 h	Defensa de los diseños realizados.	---	S.C. P.O.	PA

(*) S.C.: Sergio Collado, P.O.: Paula Oulego

4.2 Planificación real del proyecto

El calendario de ejecución se ajustó bastante bien al propuesto en la solicitud inicial.

Como estaba planificado, en la primera sesión se informó a los alumnos del contenido del trabajo y de los criterios de evaluación. Asimismo, se pusieron a su disposición 19 artículos de investigación, para que seleccionaran uno. Se discutió la principal información útil para el diseño que se puede extraer del artículo. Se les indicó también las distintas fuentes para obtener la información necesaria para el diseño y se les explicó cómo seleccionar una productividad adecuada y, a partir de ella, estimar el tamaño del biorreactor. Los propios alumnos crearon los grupos y repartieron los distintos roles dentro de ellos (jefe de proyecto y especialistas en fluidos, calor o materia).

En las sesiones II a V, se resolvieron dudas sobre distintos aspectos del diseño. La dinámica para ello es que toda la hora de la sesión se empleaba en responder dudas que hubiesen surgido durante el diseño y en discutir las correspondientes soluciones adoptadas por cada grupo. Asimismo, los alumnos dispusieron del horario de tutorías para realizar consultas individualmente, fuera de las sesiones.

Por último, en las dos horas de la sesión VI, que correspondieron a las dos últimas clases expositivas de la asignatura (CE), cada grupo defendió frente al resto de grupos, empleando powerpoint o similar, el diagrama de flujo de todo el bioproceso, así como los parámetros de diseño principales. La presentación incorporó además una justificación razonada de las soluciones adoptadas para cada uno de los subsistemas (aireación, bombeo, separación...). Dispusieron de 10 minutos de presentación y 5 minutos para responder a preguntas de los otros grupos.

4.3 Justificación de la planificación realizada

Como se ha comentado en el apartado anterior, la planificación realizada fue muy similar a la propuesta en la solicitud del proyecto, por lo que consideramos que ha sido correcta y no requiere mayor justificación. Lo que sí hemos observado, es que sería conveniente disponer de al menos otra sesión para consultas próxima a la fecha de entrega de la memoria, ya que ésta ha tenido que ser suplida con respuestas vía email o en el despacho, dentro y fuera de horas de tutorías.

5 Resumen de la experiencia

5.1 Evaluación de los indicadores propuestos

Indicador 1: Número de aprobados: porcentaje de alumnos que superan la puntuación de 5 en la defensa del proyecto en la sesión VI



La siguiente figura la frecuencia acumulada de la puntuación (porcentaje de alumnos con una nota inferior a la indicada en el eje x) obtenida en los apartados de memoria (60% de la nota total), presentación (40% de la nota final) y nota final.

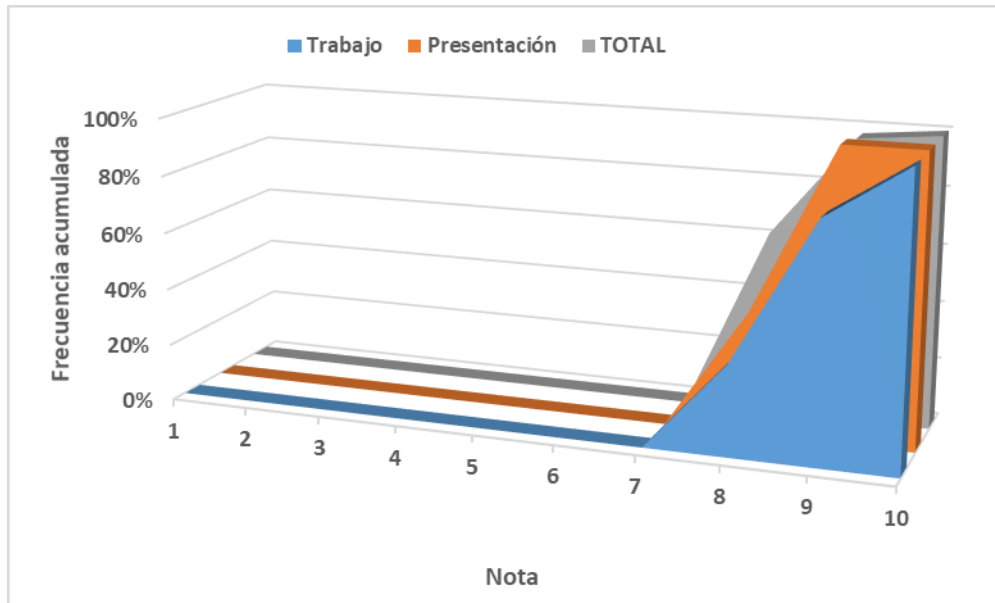


Figura 1. Frecuencia acumulada de la puntuación (porcentaje de alumnos con una nota inferior a la indicada en el eje x) obtenida en los apartados de memoria (60% de la nota total), presentación (40% de la nota final) y nota final.

Como se puede observar, todos los alumnos aprobaron la actividad. La nota final media obtenida fue 8.0 ± 0.5 . Según los rangos propuestos para este indicador:

- Entre 0.0% y 30,0% → Bajo
- Entre 30.0% y 70.0% → Aceptable
- Por encima de 70.0% → Bueno

Indicador 2: Número de aprobados. Porcentaje de aprobados que superen la puntuación de 5 en el examen de la asignatura

A continuación, se muestra la gráfica de frecuencias acumuladas de calificaciones correspondientes a la parte de problemas de la asignatura para dos cursos, 2015-2016 (alumnos que hicieron el diseño del bioproceso) y 2014-2015 (alumnos del curso anterior, que no realizaron esta actividad)

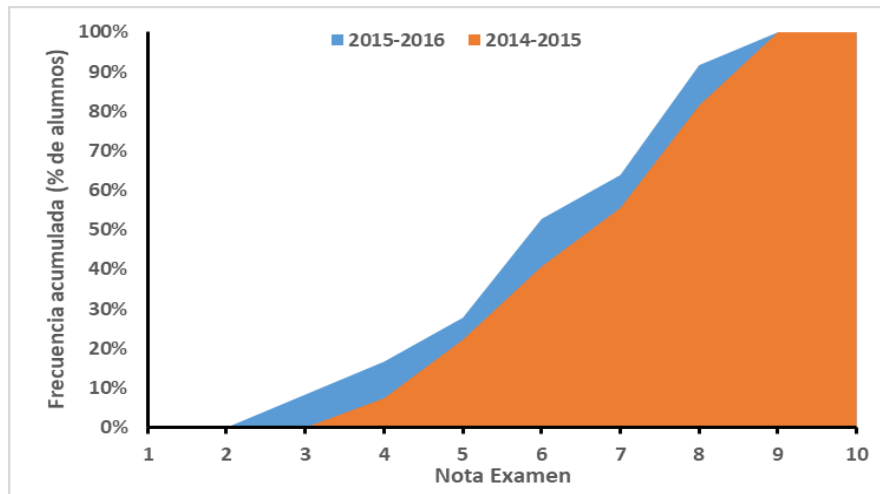


Figura 2. Frecuencia acumulada de la puntuación (porcentaje de alumnos con una nota inferior a la indicada en el eje x) obtenida en los cursos 2014-2015 (sin la actividad de diseño) y 2015-2016 (con la actividad de diseño).

A primera vista, parece que la implantación de la actividad de diseño de un bioproceso no ha tenido un efecto positivo acusado en las calificaciones de la parte de problemas del examen final. Sin embargo, hay que señalar que las notas para el curso 2015-2016 corresponden al examen en primera convocatoria (Mayo), mientras que en el caso del curso 2014-2015, también se incluyen las calificaciones de alumnos en segunda convocatoria (Mayo y Junio).


La nota media de la parte de problemas del examen final tras la realización previa del diseño de un bioproceso ha sido 5.8 ± 1.8 . Un 72% de los alumnos ha superado el examen práctico (ver figura 2). Según los rangos establecidos para este indicador:

- Entre 0.0% y 30.0% → Bajo
- Entre 30.0% y 70.0% → Aceptable
- Por encima de 70.0% → Bueno

Indicador 3: Nivel de satisfacción de los alumnos

Los alumnos realizaron una encuesta anónima tras la presentación del diseño del bioproceso correspondiente. El formato de la encuesta se muestra a continuación.



 Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente <small>Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente Department of Chemical and Environmental Engineering</small>	Universidad de Oviedo Universidá d'Uviéu University of Oviedo <small>Universidad de Oviedo Universidá d'Uviéu University of Oviedo</small>	Bases de la Ingeniería Bioquímica PAINN-16-016										
Jefe de proyecto	Esp. Flujo de fluidos	Esp. Trans. calor	Esp. Tran. materia									
Pregunta		Poco → Mucho										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valora el grado de dificultad de la tarea												
¿La tarea te ha resultado útil?												
¿La tarea ha estado bien organizada?												
¿El lugar y los medios utilizados para el desarrollo de la asignatura han sido adecuados?												
¿Ha respondido la tarea a tus expectativas?												
¿Crees que la formación y habilidades adquiridas en la asignatura son suficientes para acometer la tarea?												
¿El nivel de exigencia ha sido adecuado?												
¿Las explicaciones por parte del profesor han sido suficientes?												
¿Crees que has mejorado tus habilidades y capacidades comunicativas?												
¿Has adquirido conocimientos útiles para tu futuro profesional con esta actividad?												
¿Has adquirido habilidades prácticas para tu futuro profesional con esta asignatura?												
Mi grado de interés por la asignatura al inicio del curso												
Mi grado de interés por la asignatura al final del curso												
Creo que el número óptimo de alumnos por grupo es												
Valoración global de la actividad												


 Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente <small>Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente Department of Chemical and Environmental Engineering</small>	Universidad de Oviedo Universidá d'Uviéu University of Oviedo <small>Universidad de Oviedo Universidá d'Uviéu University of Oviedo</small>	Bases de la Ingeniería Bioquímica PAINN-16-016
Nº medio de horas semanales dedicadas a la tarea		
Señala los puntos en los que has encontrado mayor y menor dificultad		
Sugerencias y posibles modificaciones:		
¿Crees que has aprendido más con la tarea que con la entrega y corrección de series de problemas?		

Figura 3. Encuesta a rellenar por los alumnos de forma anónima a la finalización de la actividad (tras la sesión VI)

La siguiente tabla muestra los valores medios obtenidos en el cuestionario inicial:



Tabla 2. Valores medios y desviaciones estándar obtenidas de las valoraciones de los alumnos para las distintas preguntas de la encuesta final

PREGUNTA	Promedio	Desv. Est.
Los contenidos de la tarea se han ajustado al programa y plan de trabajo	8.37	1.40
Valora el grado de dificultad de la tarea	7.97	1.54
¿La tarea te ha resultado útil?	8.22	1.34
¿La tarea ha estado bien organizada?	6.76	1.79
¿El lugar y los medios utilizados para el desarrollo de la asignatura han sido adecuadas?	7.42	1.30
¿Ha respondido la tarea a tus expectativas?	7.27	1.22
¿Crees que la formación y habilidades adquiridas en la asignatura son suficientes para acometer la tarea?	7.16	1.54
¿El nivel de exigencia ha sido adecuado?	6.23	2.04
¿Las explicaciones por parte del profesor han sido suficientes?	8.32	1.36
¿Crees que has mejorado tus habilidades y capacidades comunicativas?	6.24	2.27
¿Has adquirido conocimientos útiles para tu futuro profesional con esta actividad?	7.33	1.64
¿Has adquirido habilidades prácticas para tu futuro profesional con esta asignatura?	6.86	1.86
Mi grado de interés por la asignatura al inicio del curso	6.35	2.56
Mi grado de interés por la asignatura al final del curso	8.00	1.53
Creo que el número óptimo de alumnos por grupo es	6.17	1.70
Valoración global de la actividad	7.22	1.57

Como se puede observar en la tabla 2, los alumnos han valorado positivamente la actividad, con una nota media de 7.2 ± 1.6 . Los alumnos consideran que la actividad se ajusta al programa y al plan de trabajo (8.4 ± 1.4) y, aunque consideran que la dificultad ha sido alta (8.0 ± 1.5) con un nivel de exigencia elevado (6.2 ± 2.0), les ha resultado útil (8.2 ± 1.3). Los alumnos señalan que la tarea podría estar mejor organizada (6.7 ± 1.8). Sin embargo, también indican que los medios utilizados han sido adecuados (7.4 ± 1.3) y que las explicaciones de los profesores han sido suficientes.

Los alumnos consideran que la actividad ha mejorado moderadamente sus habilidades y capacidades comunicativas (6.2 ± 2.3) y que han adquirido conocimientos (7.3 ± 1.6) y habilidades prácticas (6.9 ± 1.9) útiles en su futuro laboral. Por último, el grado de interés por la asignatura aumentó dos puntos desde el inicio hasta el final del curso. Dado que la valoración global de la asignatura es 7.22, y los rangos propuestos:

Por debajo de 5.0 → Bajo
Entre 5.0 y 7.0 → Aceptable
Entre 7.0 y 10.0 → Bueno

Indicador 4: Número de comunicaciones a congresos derivados del proyecto



Los resultados de este proyecto se han enviado como dos comunicaciones (un oral y póster) al IV Congreso de Innovación Docente en Ingeniería Química (CIDIQ) (Cantabria, 23 de enero 2018) (<http://www.coddiq.es/cidiq/>). Estamos a la espera de su aceptación por parte del comité científico del congreso. Los rangos definidos para este indicador son:

0 → *Bajo*

≥ 1 → *Bueno*

5.2 Grado de acercamiento a los objetivos planteados frente a los obtenidos

Según los objetivos generales señalados en el apartado 2.1. del Anexo II de la solicitud:

Tabla 3. Objetivos propuestos en la solicitud del proyecto y grado de acercamiento a cada uno de ellos tras la consecución del proyecto

Objetivos		% Adecuación	Grado de acercamiento	Comentarios
2.1.a)	<i>Innovación en el ámbito de la metodología docente</i>	60	100%	Se ha probado una nueva metodología ABP enfocada a Ingeniería de Bioprocesos y los resultados han sido positivos
2.1.b)	<i>Promocionar proyectos orientados al futuro mundo laboral de los estudiantes</i>	40	100%	El enfoque del proyecto hace hincapié en colocar al estudiante en una situación similar a la que puede encontrar en su vida laboral (búsqueda y análisis de información, toma de decisiones en base a criterios técnicos, económicos, de seguridad y medioambientales)

5.3 Experiencia adquirida

La adquisición de experiencia con la consecución de este proyecto ha sido dual.

Por el lado de los estudiantes, éstos han tenido una visión más integradora de la asignatura, entendiendo que la Ingeniería de Bioprocesos no es simplemente una asignatura que tienen que aprobar, sino que les dota de los conocimientos para ganar dinero a partir de un proceso biológico y que va a ser una parte fundamental de su vida laboral. Además, han comprendido que son capaces de buscarse la vida para realizar un diseño que, a priori, les parecía imposible. Durante el desarrollo de la tarea, el grado de implicación y la confianza de los alumnos en sus decisiones fueron en aumento, llegando a proponer soluciones de diseño particularmente ingeniosas. Hay que destacar la participación de los alumnos, que se implicaron activamente en la resolución de dudas, tanto de su grupo como de otros, y en la discusión y defensa de los diseños presentados.



Al mismo tiempo, los responsables del proyecto (Sergio Collado y Paula Oulego) también hemos obtenido experiencia en varios aspectos. Por un lado, las dudas planteadas durante el diseño nos han permitido identificar aquellos aspectos presentados en las clases expositivas que requerían una mayor profundización o que no habían quedado suficientemente claros. También hemos conseguido una mayor experiencia a la hora de orientar a los alumnos en la toma de decisiones, en lugar de decirles directamente lo que tienen que hacer. Por último, la actividad ha mejorado mucho nuestras capacidades organizativas.

6 Conclusiones

Los resultados parecen demostrar que la realización del diseño de un bioproceso a partir sólo de un artículo dota de mayor conocimiento crítico a los alumnos que la tradicional entrega de series de problemas. Hemos observado que con este enfoque, el alumno es capaz de “buscarse la vida” y realizar diseños para los que inicialmente se veían incapacitado. Un 59% de los alumnos manifestaron en la encuesta que han aprendido más con la tarea del diseño que con la corrección de series de problemas en clase, y un 19% ven las dos actividades igual de valiosas. Según la encuesta, el tiempo individual medio semanal dedicado a la tarea por parte del alumno fue de 3.6 h, que es aproximadamente el tiempo que se necesitaría para resolver una serie de problemas.

La experiencia ha sido totalmente positiva y vamos a aplicarla de nuevo a los alumnos de este curso. Sin embargo, los alumnos nos han indicado varias sugerencias y modificaciones. La primera es una mayor ayuda en las primeras etapas del diseño, ya que son las más difíciles. Algunos alumnos también han señalado que preferiría tener una evaluación intermedia, más pautas a la hora del diseño y/o un guion inicial más concreto.

En definitiva, consideramos que este proyecto abre una nueva vía para que los alumnos afiancen sus conocimientos y capacidades en Ingeniería de Bioprocesos. Esta vía, aunque aún requiere ser mejorada, resulta muy atractiva, dado su carácter aplicado y de toma de decisiones por el alumno.

7 ANEXO I. Lista de objetivos

7.1 Objetivos Generales

Objetivos	% Adecuación
a) Innovación en el ámbito de la metodología docente	60
b) Innovación en el ámbito de la orientación de los y las estudiantes hacia su futuro laboral.	40
c) Innovación en el ámbito de la coordinación docente y de la vinculación con entidades externas	0
d) Innovación para la mejora de competencias transversales en los estudios universitarios	0
e) Innovación en metodologías y actividades relacionadas los Trabajos de Fin de Grado (TFG) y de Fin de Máster (TFM)	0



Objetivos		% Adecuación
f)	Continuidad de proyectos anteriores y fomento de su relación con otros proyectos	0

7.2 Objetivos Adicionales

Objetivos		% Adecuación
i)	N/A	
j)		
k)		
l)		

8 ANEXO II. Indicadores

Nº	Indicador	Modo de evaluación	Rangos
1	Número de aprobados: porcentaje de alumnos que superan la puntuación de 5 en la defensa del proyecto en la sesión VI	Se tomará como indicador las notas obtenidas en la defensa grupal del diseño del bioproceso en la sesión VI	Entre 0.0% y 30,0% → Bajo Entre 30.0% y 70.0% → Aceptable Por encima de 70.0% → Bueno
2	Número de aprobados. Porcentaje de aprobados que superen la puntuación de 5 en el examen de la asignatura	Se tomará como indicador las notas obtenidas en el examen final de la asignatura	Entre 0.0% y 30,0% → Bajo Entre 30.0% y 70.0% → Aceptable Por encima de 70.0% → Bueno
3	Nivel de satisfacción de los alumnos	Se tomará como indicador las respuestas de los alumnos a una encuesta de satisfacción anónima en el campus virtual al final de la asignatura	Por debajo de 5.0 → Bajo Entre 5.0 y 7.0 → Aceptable Entre 7.0 y 10.0 → Bueno
4	Número de comunicaciones a congresos derivados del proyecto	Se tomará como indicador el número de comunicaciones a congresos docentes derivadas de los resultados obtenidos en el proyecto	0 → Bajo ≥ 1 → Bueno

9 ANEXO III. Adecuación a los Planes Estratégicos

OBJETIVO 7

Mejorar los indicadores de eficiencia académica de los graduados y aumentar el nivel de internacionalización de los estudiantes de todos los niveles educativos



1	Actuaciones que tienen como objeto la mejora e innovación docente, la incorporación integral de las TICs en la oferta formativa	100
2	Mayor colaboración con las enseñanzas medias	0
3	Mejorar las competencias lingüísticas de los estudiantes	0
4	Interculturalidad	0
5	Mejora de la movilidad	0
6	Participación en titulaciones dobles y conjuntas con universidades extranjeras	0
7	Mayor internacionalización del profesorado y los investigadores	0
OBJETIVO 8 Aumentar el grado de internacionalización de estudiantes, investigadores, profesores y profesionales de apoyo a la actividad académica		
8	Colaboración con la Casa de las Lenguas, con el Centro Internacional de Postgrado, etc.	0
9	Impartición de un mayor número de asignaturas de grado en inglés	0
10	Promoción de la movilidad internacional	0
OBJETIVO 9 Promover políticas de empleo dirigidas a compaginar estudio y trabajo dentro de las actividades de los campus universitarios		
11	Incremento de las prácticas que realizan los estudiantes, tanto las relacionadas con su carrera como en proyectos de cooperación sobre el terreno para reforzar su dimensión solidaria	0
12	Potenciación de la enseñanza semipresencial y no presencial	0