



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2020/2021

Nº de proyecto: 332

Título del proyecto: Autoaprendizaje a través de Problemas Abiertos

Nombre del responsable del proyecto:

Aurora Santos López

Centro: Facultad de Ciencias

Químicas

Departamento: Ingeniería Química y Materiales

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El principal objetivo del presente proyecto de innovación es desarrollar la autonomía y razonamiento crítico del estudiante a través de problemas que él mismo propondrá (a partir de una búsqueda bibliográfica) y resolverá. Además, se pedirá a los alumnos que planteen soluciones abiertas a los problemas, fomentando su pensamiento crítico y haciendo que se proyecten en situaciones reales.

Los objetivos específicos son:

- Fomentar la capacidad de extraer los conceptos más importantes del tema estudiado (dentro de la asignatura Ingeniería de la Reacción Química, asignatura anual de tercer curso del Grado en Ingeniería Química) y aplicarlos en la selección y resolución de los problemas elegidos.
- Fomentar en el estudiante la competencia de resolver problemas en el área de la ingeniería química con iniciativa, capacidad de decisión y razonamiento crítico.
- Fomentar su capacidad para organizar y planificar entregas, ajustarse a las fechas establecidas, formato indicado, etc.
- Fomentar el uso de fuentes bibliográficas (libros recomendados) y otros materiales y recursos que puedan encontrar on line.
- Fomentar la capacidad para utilizar herramientas y programas informáticos para la resolución de los problemas.
- Aprender de forma autónoma a resolver problemas diferentes a los explicados en clase.
- Trabajar en equipo, coordinándose entre ellos y demostrando capacidad para las relaciones interpersonales, ya que se organizarán grupos de estudiantes para el desarrollo del proyecto
- Mejorar la capacidad de comunicación y argumentación del estudiante, ya que tendrán que exponer los problemas elegidos y justificar su elección y el procedimiento seguido para su resolución

2. Objetivos alcanzados

El desarrollo del proyecto ha sido exitoso ya que pensamos que se han cumplido la mayor parte de los objetivos planteados inicialmente.

A través de la búsqueda y resolución de problemas diferentes a los estudiados en clase, los estudiantes de la asignatura de Ingeniería de la Reacción Química (o al menos, un porcentaje significativo de ellos) han conseguido aumentar su autonomía en la resolución de problemas y han mejorado el razonamiento crítico, que era el objetivo principal del proyecto.

En cuanto a los objetivos individuales, los estudiantes:

- Han afianzado los conceptos vistos en clase, ya que, para seleccionar un problema adecuado en cuanto a temática y dificultad, han tenido que repasar la materia vista en clase. La metodología seleccionada ha servido, por la tanto, como un refuerzo continuado de la asignatura (entregas periódicas).
- Han adquirido soltura en el manejo de diferentes fuentes bibliográficas (bibliografía básica y específica de la asignatura), en lugar de limitarse al estudio del material colgado en el Campus Virtual. La bibliografía más utilizada por los estudiantes para la búsqueda de problemas ha coincidido con la recomendada en la asignatura (ver [Anexo I](#)). Como puede observarse, los libros más empleados han sido: “Chemical Reaction Engineering” de O. Levenspiel y “Essentials of Chemical Reaction Engineering” de H.S. Fogler.
- Han mejorado su destreza con el manejo de algunos softwares, como Excel y Origin (gran parte de las entregas de problemas incluían archivos de estos programas, que han necesitado para la resolución de los problemas seleccionados).
- Han mejorado su capacidad de comunicación, tanto entre ellos, como con los profesores de la asignatura, con los que, como consecuencia de las diferentes entregas y actividades, han tenido un trato bastante cercano.
- Han trabajado en equipo, resolviendo entre todos, las posibles dificultades surgidas durante la realización de las diferentes actividades.
- Han trabajado también de forma individual, enfrentándose a problemas nuevos, con soluciones abiertas, mostrando iniciativa, capacidad de decisión y

razonamiento crítico.

- Han adquirido soltura a la hora de hablar en público, plantear un problema y explicar la forma de resolverlo, contestar preguntas planteadas por otros compañeros y/o profesores.

Otra de las variaciones que se ha implantado este año, junto con el programa de innovación educativa, es la realización de cuatro exámenes escritos: dos en el primer cuatrimestre y dos en el segundo cuatrimestre, en lugar de uno en cada cuatrimestre.

Como resultado cuantificable (y, por tanto, objetivo) se puede concluir que el curso 2020-2021 el porcentaje de estudiantes que ha aprobado la asignatura (Ingeniería de la Reacción Química) por curso, evitando de esta forma tener que realizar el examen final, se ha incrementado notablemente respecto a los cursos anteriores (ver estadísticas [Anexo 2](#), donde se ha representado la evolución del número de estudiantes que han superado la asignatura por curso en los últimos cinco cursos académicos). A pesar de las circunstancias excepcionales del presente curso, debido a la pandemia, la asistencia a clase, y, por tanto, el seguimiento de la asignatura, ha sido muy elevado por parte de los estudiantes. Pensamos que este hecho está relacionado con el proyecto de innovación educativa, con lo que los resultados del mismo son muy positivos.

3. Metodología empleada en el proyecto

Se ha propuesto a los estudiantes de la asignatura de Ingeniería de la Reacción Química (tercer curso del Grado de Ingeniería Química) este proyecto de innovación educativa como parte del trabajo personal evaluable. Según se recoge en la guía docente de la asignatura, el trabajo personal, que incluye el trabajo realizado en las prácticas de laboratorio y la destreza del alumno en la resolución de los problemas y ejercicios propuestos, supone un 30% de la nota total del estudiante.

La metodología empleada para el proyecto de innovación educativa se basa en la evaluación de diferentes entregas realizadas por los estudiantes (divididos en grupos), la exposición en clase de uno de los problemas seleccionados y la entrega voluntaria de problemas abiertos planteados por los profesores en el Campus Virtual.

Los estudiantes de la asignatura (en el curso 2020-2021, un total de 108 estudiantes) se han dividido en grupos reducidos (4-5 estudiantes por grupo, 25 grupos). Cada grupo ha realizado **5 entregas** (la asignatura se divide en 11 temas que se han agrupado en 5 bloques) a través del Campus Virtual (de carácter obligatorio):

En cada entrega, los estudiantes debían seleccionar un problema correspondiente al tema (indicando la fuente bibliográfica), explicar las hipótesis necesarias para la resolución de este, aportar la solución del problema (incluyendo archivos de cálculo y gráficos), justificar la elección del problema y modificar el enunciado de forma que se modifique la resolución.

Una vez finalizada cada entrega, los profesores han evaluado el problema enviado por cada grupo y seleccionado, entre todos los recibidos, los más interesantes (dos por entrega) en base a la idoneidad de los conceptos aplicados, los métodos de resolución utilizados y la dificultad. Los problemas seleccionados han sido propuestos como una **entrega voluntaria** de forma individual. Esta entrega sólo se ha tenido en cuenta para subir la calificación del trabajo personal del estudiante (en ningún caso para bajarla).

Además, se han empleado las **tutorías** del curso (una en el primer cuatrimestre y otra en el segundo) en las que la clase se divide en 4 subgrupos, para hacer un **seguimiento del proyecto** con los estudiantes. En estas sesiones, los grupos seleccionados por los profesores expusieron el problema elegido y discutido con los demás estudiantes diferentes aspectos relativos a la resolución de los problemas y a los posibles cambios que podrían hacerse.

4. Recursos humanos

Las personas implicadas en el desarrollo de este proyecto han sido principalmente dos de las profesoras que imparten la asignatura de IRQ y dos estudiantes de doctorado:

- Aurora Santos es catedrática de Ingeniería Química, con una larga trayectoria docente. Es, además, coordinadora del Tercer Curso del Grado de Ingeniería Química y conoce bien los problemas y peculiaridades del aprendizaje de los estudiantes. La necesidad de mejorar la autonomía y razonamiento crítico de los estudiantes es algo detectado por todos los profesores. Ha participado en cursos de capacitación docente y congresos de innovación docente.
- Carmen María Domínguez es ingeniera química, Profesor Ayudante Doctor, participa en la asignatura desde hace cinco años, fundamentalmente en la parte de seminarios y problemas. Ha realizado una Estancia de movilidad docente "Erasmus Plus" y ha participado en numerosos cursos del Plan de Formación de profesorado de la UCM y un congreso de innovación docente.
- Raúl García-Cervilla (Ingeniero Químico) está en su tercer año de Tesis doctoral, con una ayuda FPI, bajo la supervisión de Aurora Santos y David Lorenzo, y colabora en tareas docentes en la asignatura de IRQ.
- Alicia Checa-Fernández (Ingeniera Química) está en su segundo año de Tesis Doctoral bajo la supervisión de Carmen Domínguez y Aurora Santos. Ambos participan en diversas actividades de formación, principalmente a través del programa de doctorado de Ingeniería Química o Escuela de Doctorado.

Aurora Santos y Carmen Domínguez se han encargado de coordinar el proyecto, hacer partícipes a los estudiantes, hacer el seguimiento de las entregas, correcciones y evaluación. Raúl García-Cervilla y Alicia Checa-Fernández han participado activamente en la evaluación de las entregas y la selección de problemas propuestos.

Además, han participado también (impartición de tutorías de la asignatura IRQ) otros dos profesores de la asignatura:

- Sergio Rodríguez Vega: Profesor Titular de Universidad
- David Lorenzo Fernández: Profesor Ayudante Doctor

5. Desarrollo de las actividades

Las diferentes actividades planteadas en el proyecto de innovación docente se han realizado con éxito.

1. Entregas realizadas por grupo de estudiantes (obligatorio).

Se trata de la parte fundamental del proyecto de innovación docente. Las entregas han sido realizadas a través del Campus Virtual de la asignatura. Se ha creado una tarea para cada una de estas entregas. El responsable de cada grupo (108 estudiantes, 25 grupos) fue el encargado de subir al Campus Virtual cada entrega. Se han realizado dos entregas en el primer cuatrimestre (Entrega 1 y 2) y tres en el segundo cuatrimestre (Entregas 3, 4 y 5). La participación de los estudiantes de los diferentes grupos en las entregas ha sido cercana al 100%.

En cada entrega, los estudiantes debían seleccionar un problema correspondiente al tema (indicando la fuente bibliográfica), explicar las hipótesis necesarias para la resolución de este, aportar la solución del problema (incluyendo archivos de cálculo y gráficos), justificar la elección del problema y modificar el enunciado de forma que se modifique la resolución.

Los profesores han clasificado los problemas correspondientes a cada entrega atendiendo a los conceptos específicos de cada tema (tipo de reactor, tipo de intercambio de calor, tipo de reacción, etc.), el método de resolución, el nivel de dificultad, la fuente bibliográfica y el planteamiento abierto propuesto por los estudiantes. Con estos datos han hecho un inventario y realizado diferentes estadísticas que han sido de gran utilidad para entender las principales dificultades de los estudiantes, sus preferencias, los puntos o aspectos a mejorar, etc.

A continuación, se hace un resumen de los trabajos correspondientes a las diferentes entregas:

- Entrega 1: Tema 3 (ver información detallada de esta entrega en [Anexo 3](#))
- Entrega 2: Tema 4 (ver información detallada de esta entrega en [Anexo 3](#))
- Entrega 3: Tema 5 (ver información detallada de esta entrega en [Anexo 3](#))
- Entrega 4: Tema 6 (ver información detallada de esta entrega en [Anexo 3](#))
- Entrega 5: Temas 7-11 (ver información detallada de esta entrega en [Anexo 3](#))

2. Exposición en clase de un problema (asistencia obligatoria, horario de tutorías)

El horario asignado a las tutorías de la asignatura de Ingeniería de la Reacción Química (en las que la clase se divide en 4 subgrupos) se ha empleado para el desarrollo y seguimiento del proyecto de innovación docente.

- Tutoría primer cuatrimestre: 10 y 12 de noviembre
- Tutoría segundo cuatrimestre: 8 y 9 de abril

En la primera tutoría se ha explicado a los estudiantes los fundamentos y metodología del proyecto, el sistema de evaluación, las fechas de entregas, etc. Se ha aprovechado para resolver todas las posibles dudas surgidas al respecto, y se ha desarrollado un ejemplo de “problema a entregar”, teniendo en cuenta los diferentes puntos que tienen que tratar los estudiantes.

La segunda tutoría se ha utilizado para hacer un seguimiento de las entregas ya realizadas, advertir a los estudiantes de los aspectos a mejorar de cara a futuras entregas, etc.

Además, en esta tutoría los profesores han seleccionado a algunos grupos de estudiantes (bien porque el problema que entregaron fuera especialmente interesante, bien porque tuviera algún fallo en la resolución) para que expusieran el problema al resto de compañeros, explicaran cómo lo habían resuelto y propusieran algunos cambios en las hipótesis de partida, de forma que se fomentó el diálogo y participación de todos los estudiantes.

3. Entrega individual de problemas abiertos (actividad voluntaria)

Una vez finalizadas las primeras entregas (la última no fue posible debido al poco plazo que había entre la finalización de la entrega y el fin de curso), entre los 25 problemas recibidos, los profesores han seleccionado los dos que han considerado más interesantes en base a la idoneidad de los conceptos aplicados, los métodos de resolución utilizados y la dificultad de los mismos (de cada entrega).

Los problemas seleccionados han sido propuestos como una **entrega voluntaria** de forma individual en el Campus Virtual. Esta entrega sólo se ha tenido en cuenta para subir la calificación del trabajo personal del estudiante (en ningún caso para bajarla). En ella han participado aproximadamente un 33% de los estudiantes.

Anexo 1. Bibliografía empleada por los estudiantes en el Proyecto de Innovación Educativa

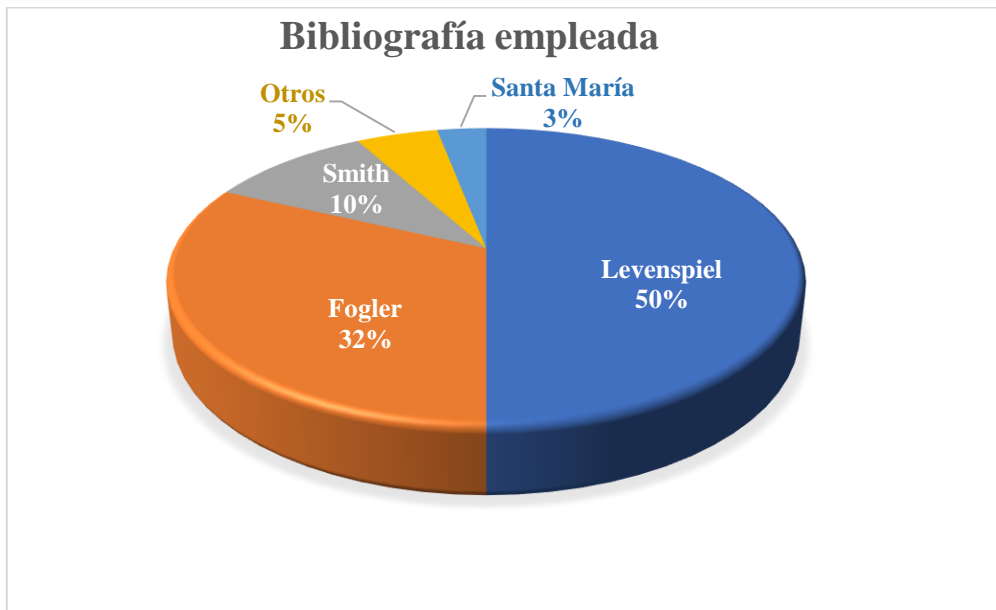


Figura 1. Bibliografía empleada por los estudiantes en los problemas propuestos.

- Levenspiel, O. Chemical Reaction Engineering. Reverté. (En sus distintas ediciones).
- Fogler, H. S. Essentials of Chemical Reaction Engineering. Pearson Education. (En sus distintas ediciones).
- Smith J.M. Chemical engineering kinetics. McGraw-Hill. (En sus distintas ediciones).
- Santamaría, J. M., Herguido, J., Menéndez, M. A., & Monzón, A. (1999). Ingeniería de reactores. Editorial Síntesis.
- Otros:
 - Ronald, W. M., Charles, A. M., & Bradley, A. S. (1999). Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics. John Wiley & Sons.
 - Metcalfe I. S. (1997). Chemical Reaction Engineering: A First Course. Oxford Chemistry Primers.
 - Calleja Pardo, G. (1999). Nueva introducción a la ingeniería química. Ciencias químicas: Ingeniería Química.

Anexo 2. Porcentaje de estudiantes que han superado la asignatura por curso



Porcentaje de estudiantes que han aprobado la asignatura de Ingeniería de la Reacción Química por curso (sin realizar el examen final) en los últimos cinco cursos académicos (periodo 2016-2021).

Anexo 3. Entregas realizadas por los estudiantes

Entrega 1

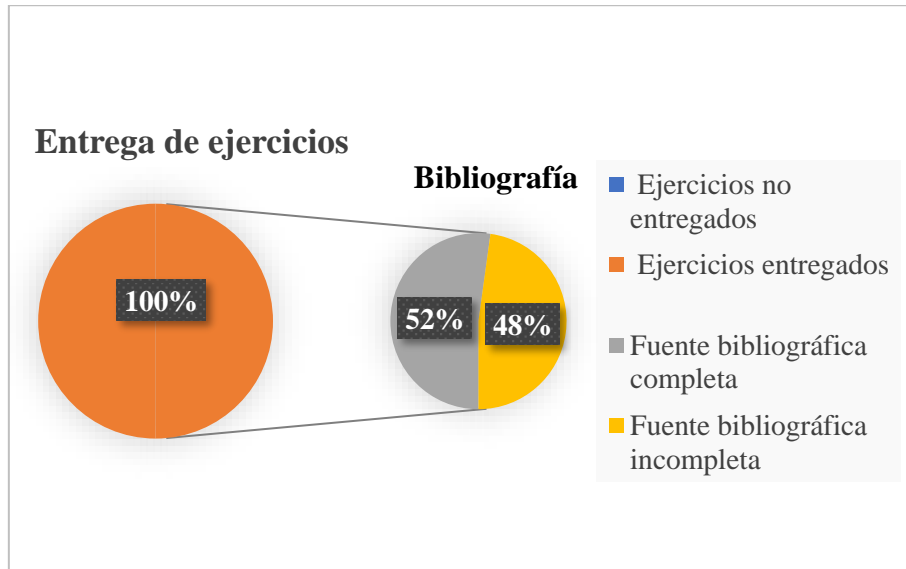


Figura 2. Distribución de la entrega de ejercicios y la adecuación de la fuente bibliográfica proporcionada en la entrega 1.

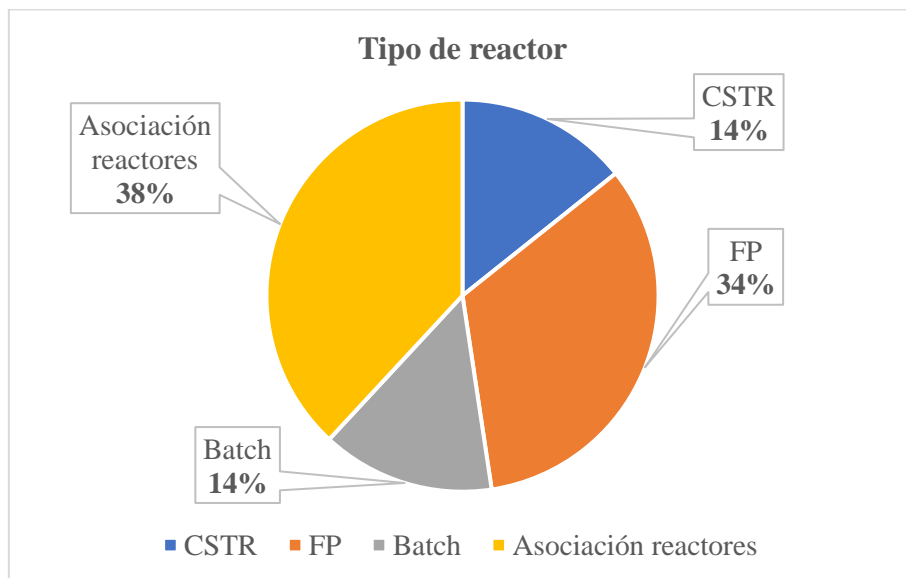


Figura 3. Distribución del tipo de reactor estudiado en la entrega 1. CSTR= Reactor tanque agitado, FP= reactor flujo pistón, Batch=discontinuo.

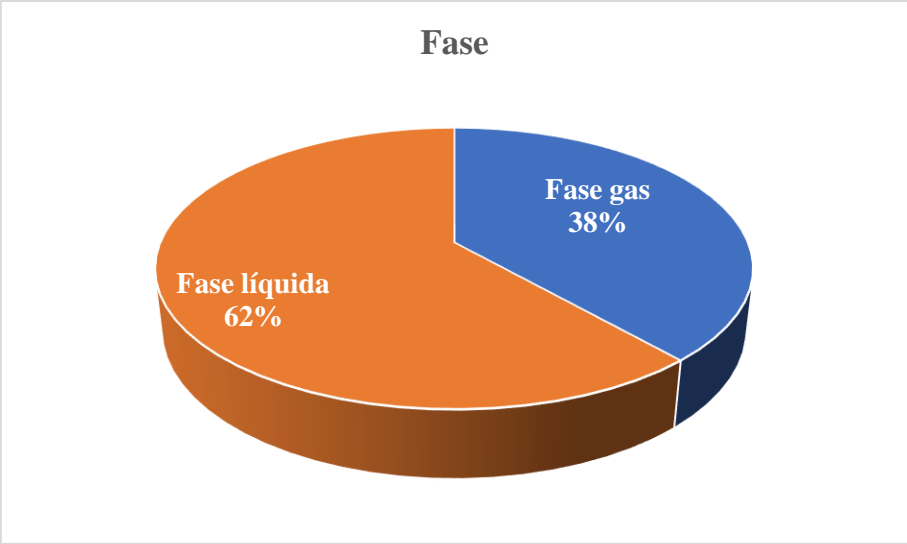


Figura 4. Distribución del tipo de fase estudiada en la entrega 1.

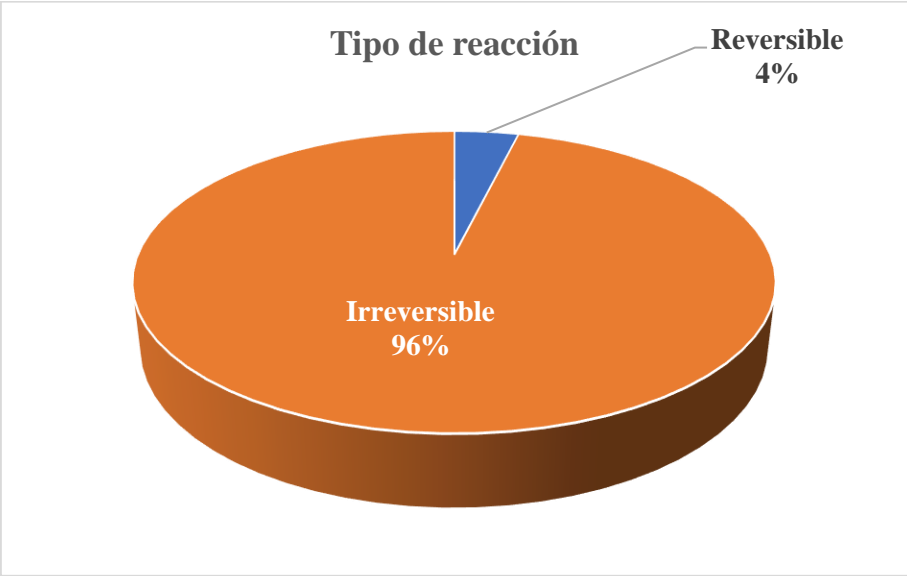


Figura 5. Distribución del tipo de reacción estudiada en la entrega 1.

Entrega 2

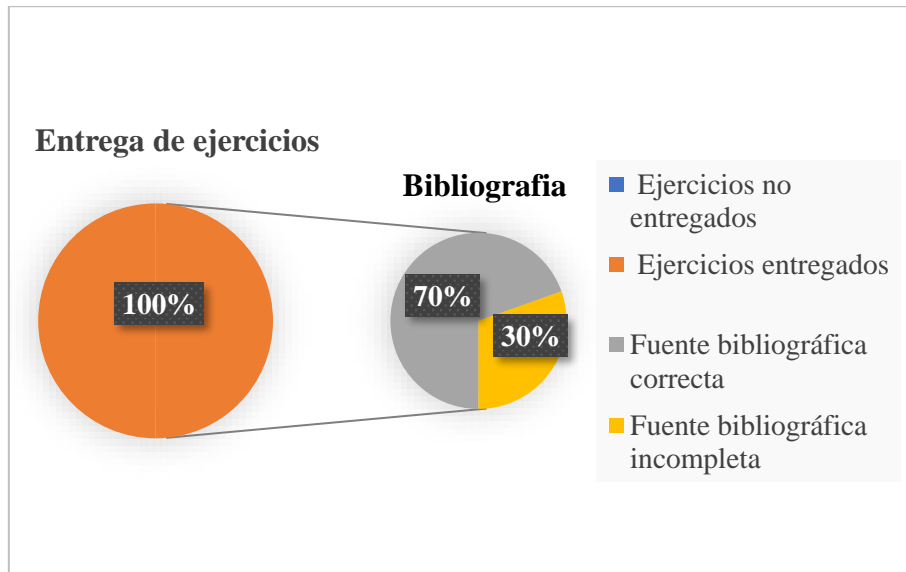


Figura 6. Distribución de la entrega de ejercicios y la adecuación de la fuente bibliográfica proporcionada en la entrega 2.

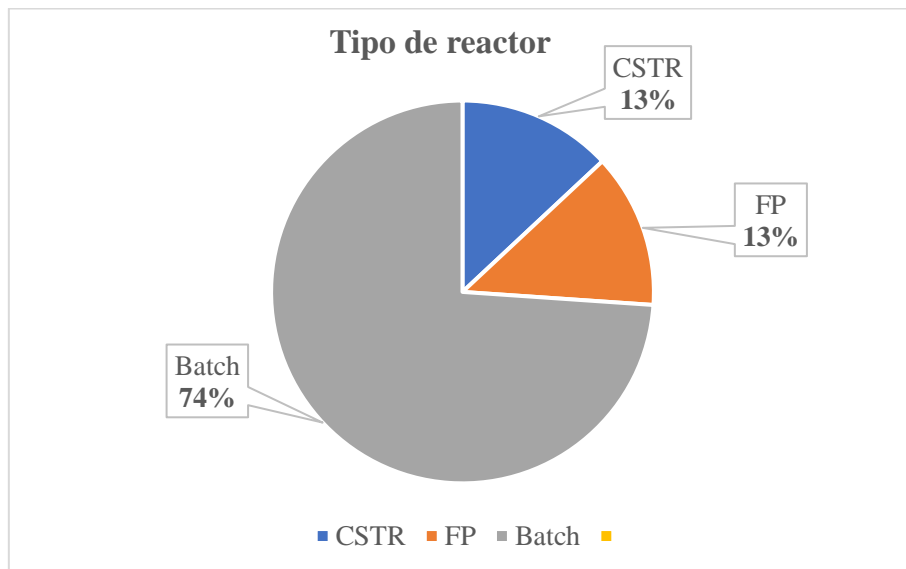


Figura 7. Distribución del tipo de reactor estudiado en la entrega 2. CSTR= Reactor tanque agitado, FP= reactor flujo pistón, Batch=discontinuo.

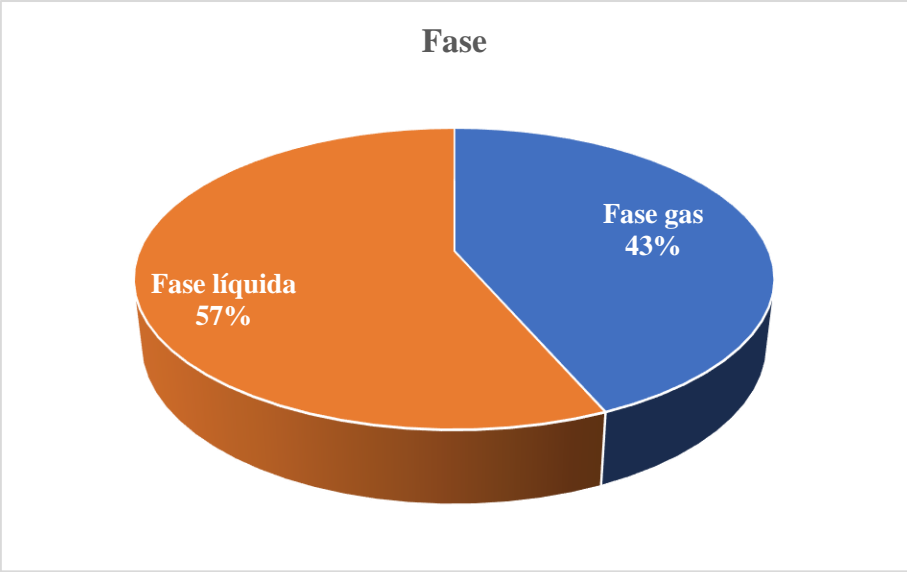


Figura 8. Distribución del tipo de fase estudiada en la entrega 2.

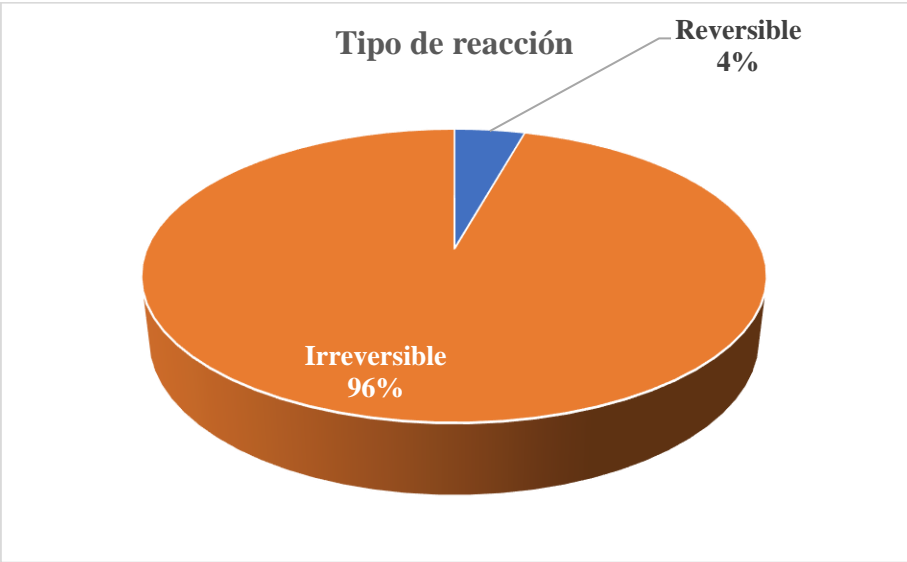


Figura 9. Distribución del tipo de reacción estudiada en la entrega 2.

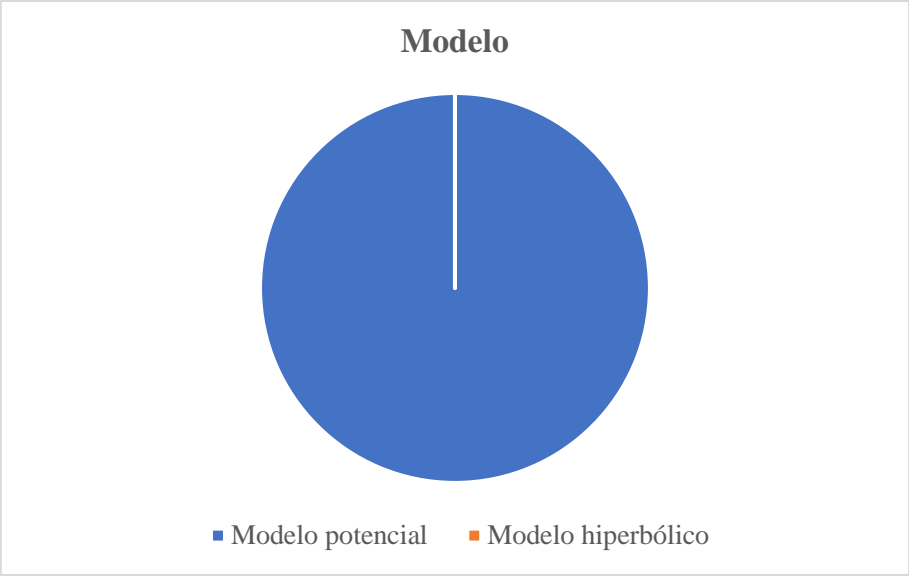


Figura 10. Distribución del tipo de modelo aplicado en la entrega 2.

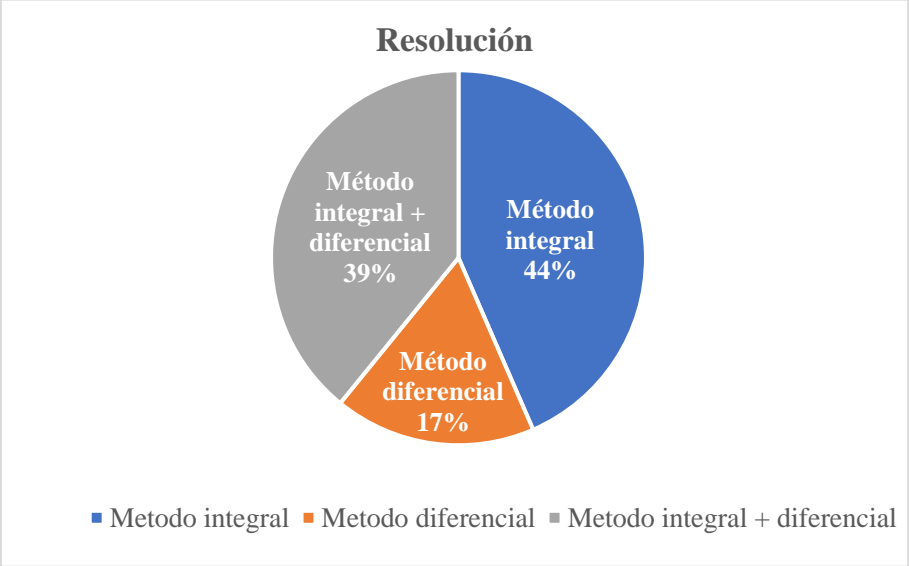


Figura 11. Distribución del tipo de resolución aplicada en la entrega 2.

Entrega 3

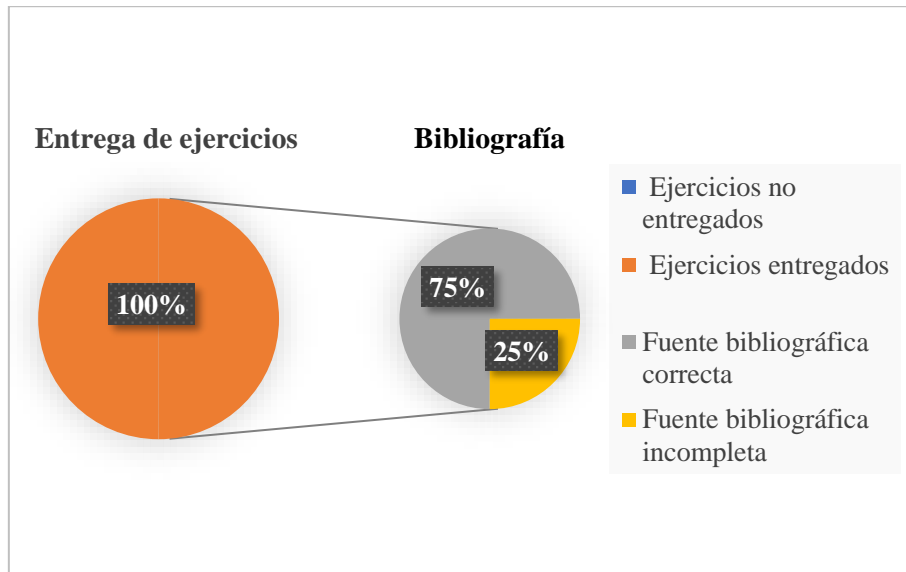


Figura 12. Distribución de la entrega de ejercicios y la adecuación de la fuente bibliográfica proporcionada en la entrega 3.

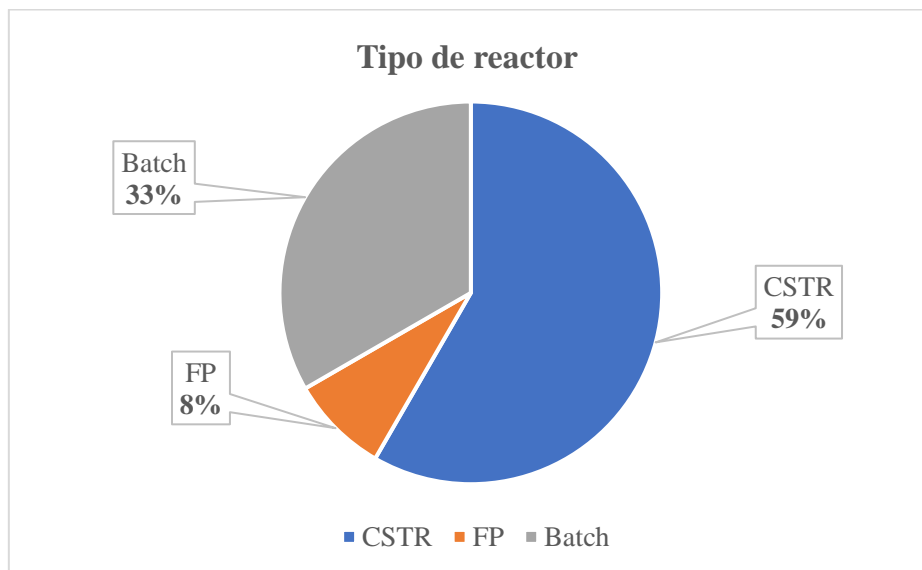


Figura 13. Distribución del tipo de reactor estudiado en la entrega 3. CSTR= Reactor tanque agitado, FP= reactor flujo pistón, Batch=discontinuo.

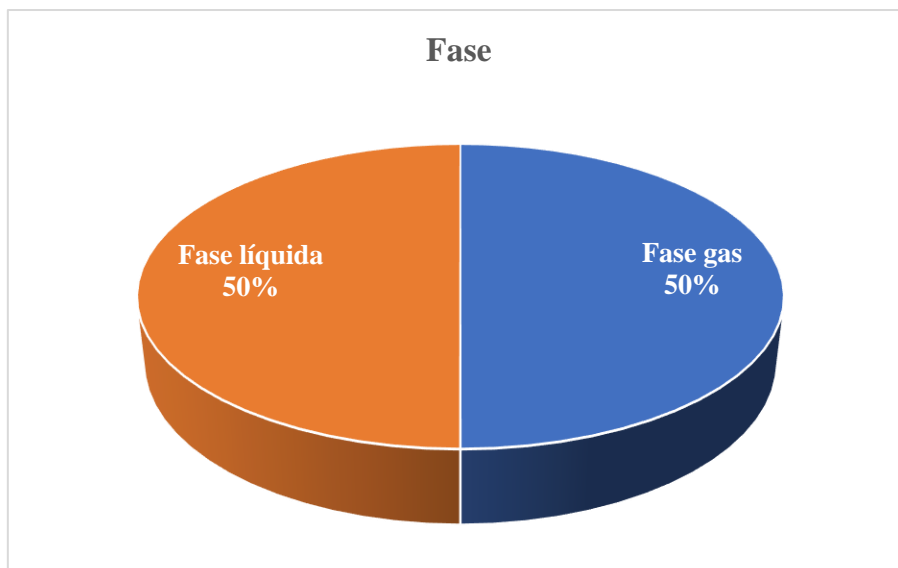


Figura 14. Distribución del tipo de fase estudiada en la entrega 3.

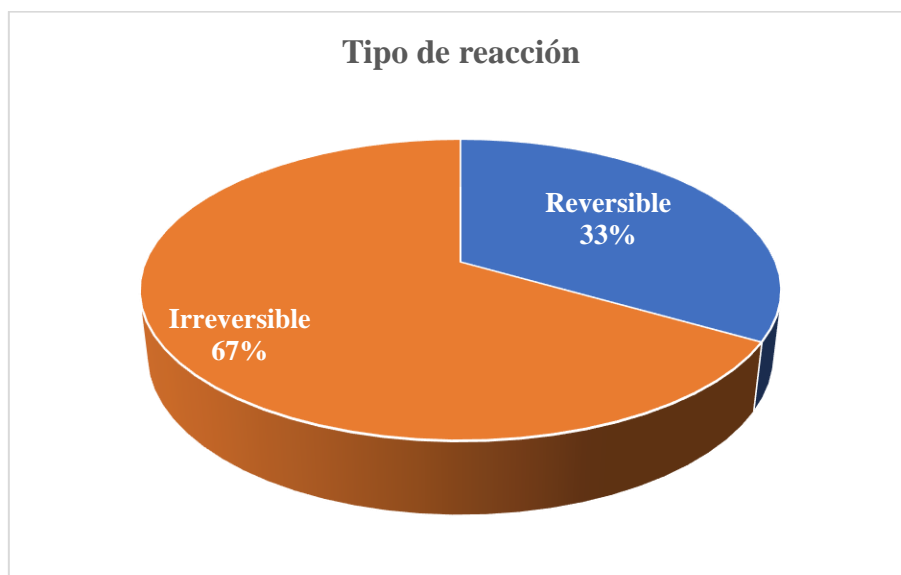


Figura 15. Distribución del tipo de reacción (reversible/irreversible) estudiada en la entrega 3.

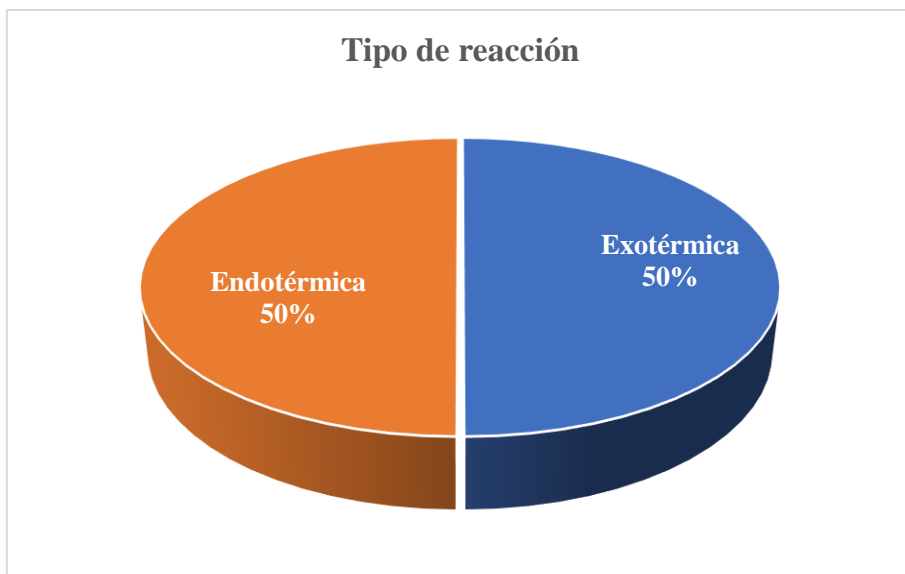


Figura 16. Distribución del tipo de reacción (endotérmica/exotérmica) estudiada en la entrega 3.

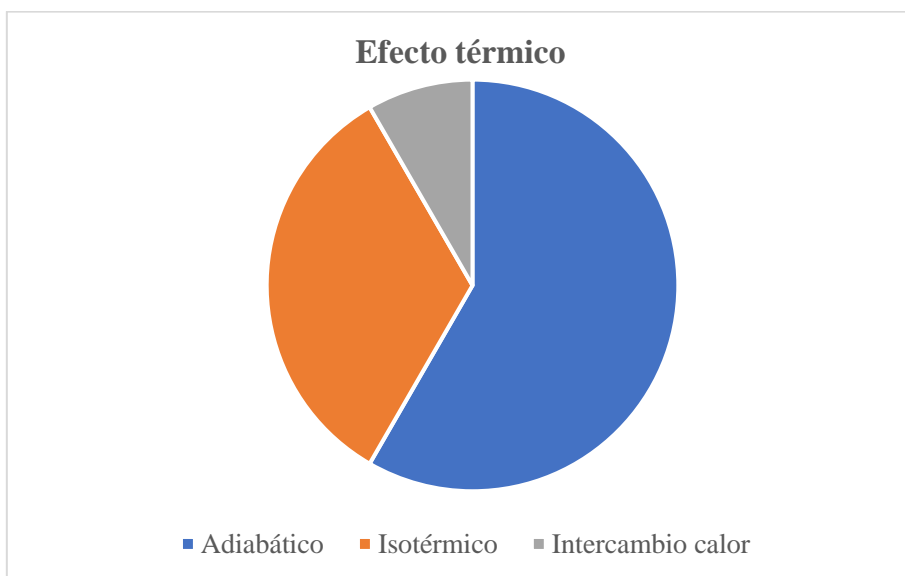


Figura 17. Distribución del concepto de efecto térmico aplicado en la entrega 3.

Entrega 4

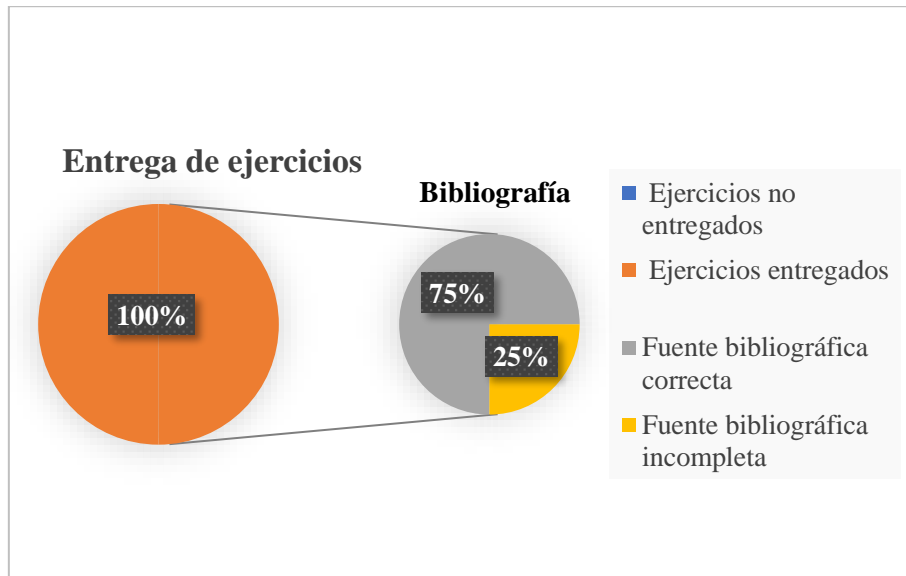


Figura 18. Distribución de la entrega de ejercicios y la adecuación de la fuente bibliográfica proporcionada en la entrega 4.

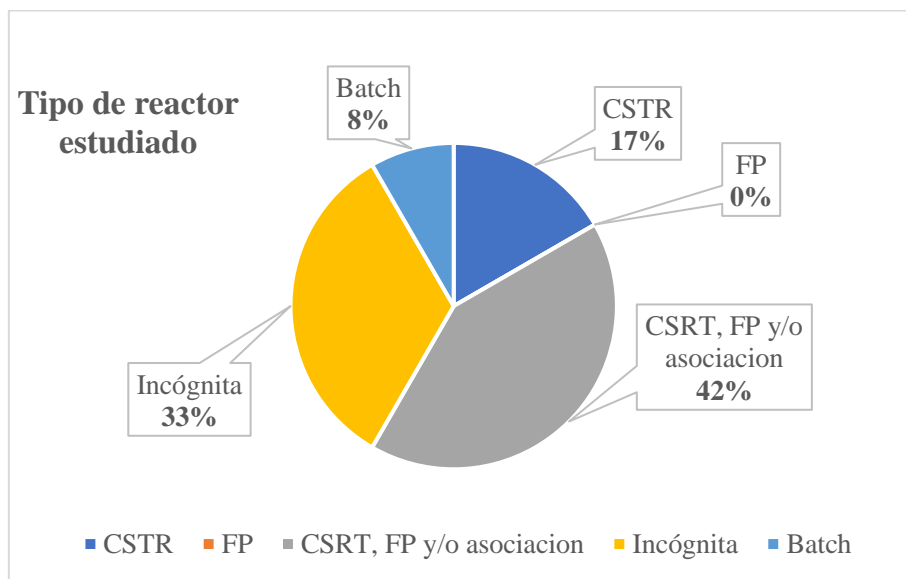


Figura 19. Distribución del tipo de reactor estudiado en la entrega 4. CSTR= Reactor tanque agitado, FP= reactor flujo pistón, Batch=discontinuo.

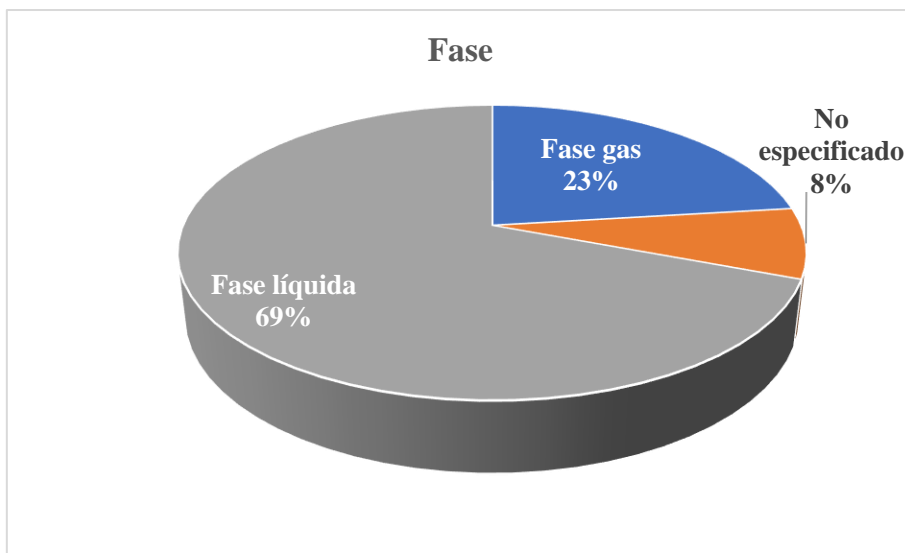


Figura 20. Distribución del tipo de fase estudiada en la entrega 4.

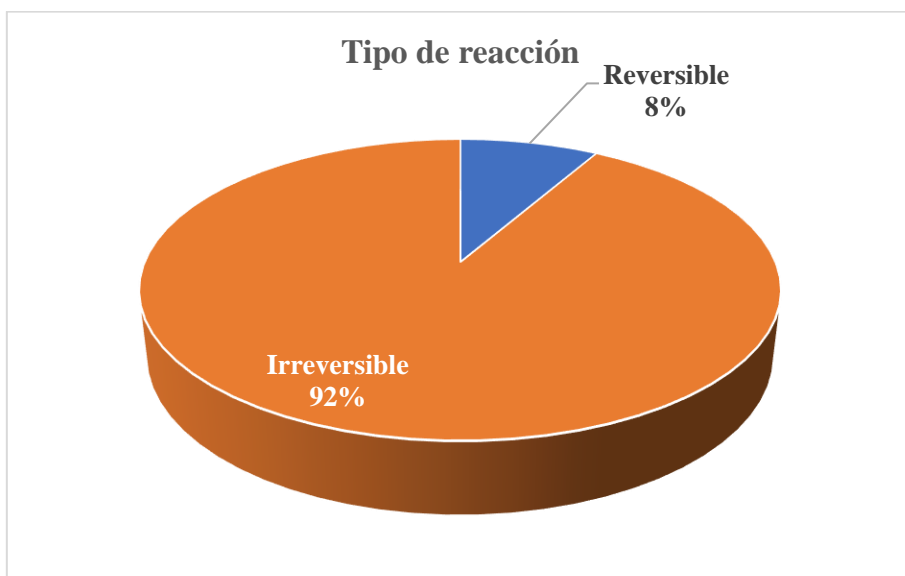


Figura 21. Distribución del tipo de reacción (reversible/irreversible) estudiada en la entrega 4.

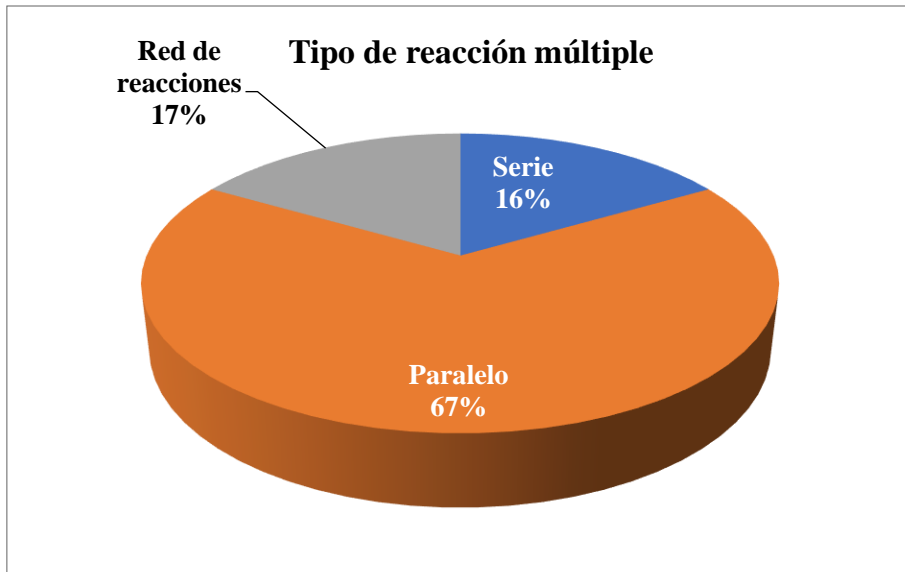


Figura 22. Distribución del tipo de reacción múltiple (serie, paralelo, red de reacciones serie/paralelo) estudiada en la entrega 4.

Entrega 5

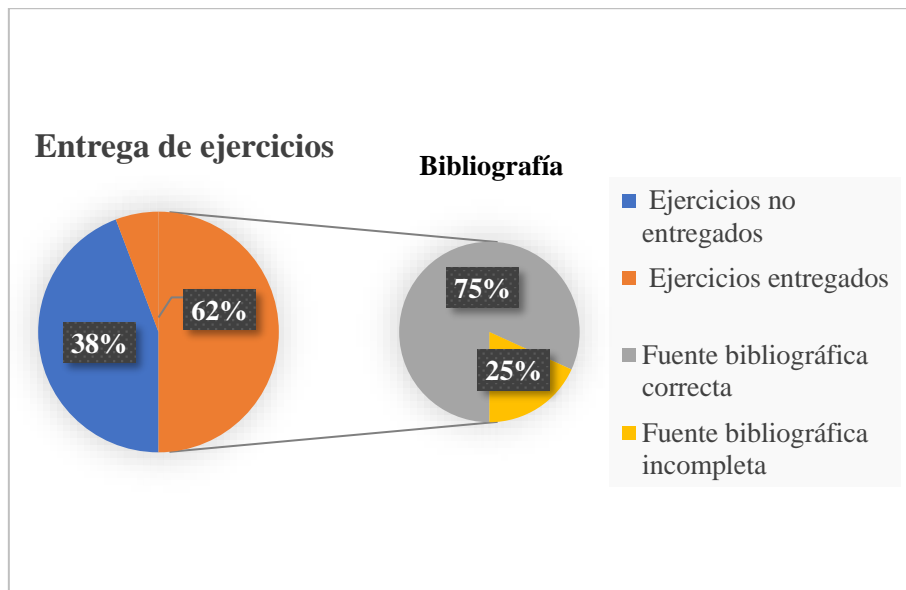


Figura 23. Distribución de la entrega de ejercicios y la adecuación de la fuente bibliográfica proporcionada en la entrega 5.

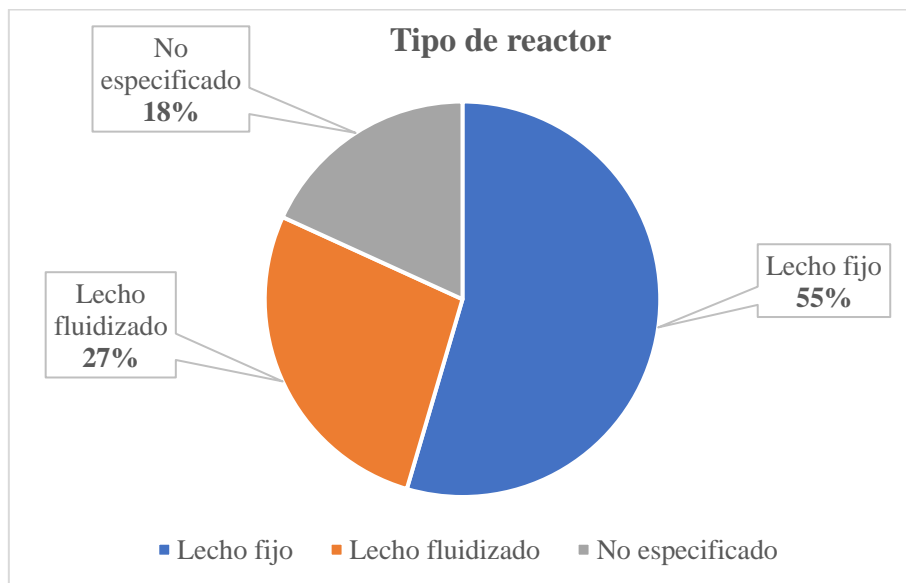


Figura 24. Distribución del tipo de reactor estudiado en la entrega 5.

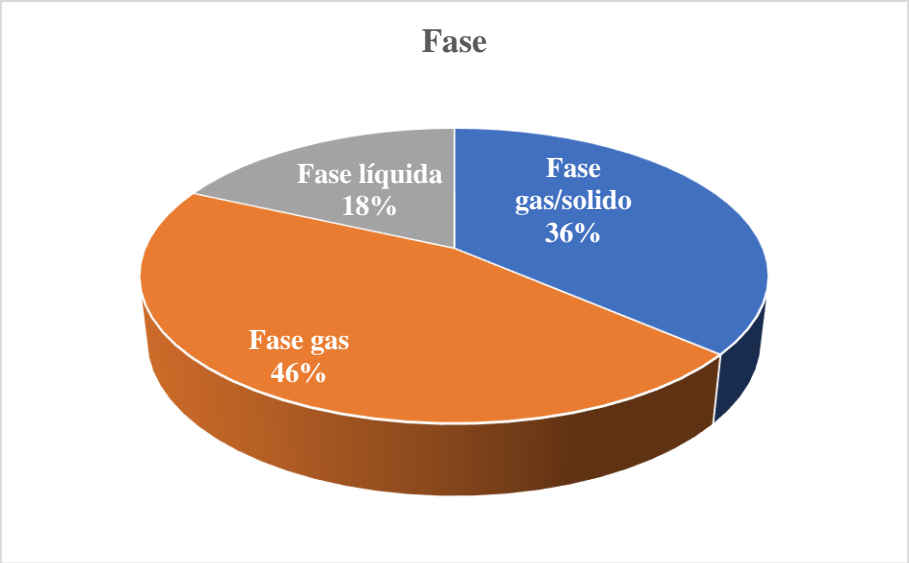


Figura 25. Distribución del tipo de fase estudiada en la entrega 5.

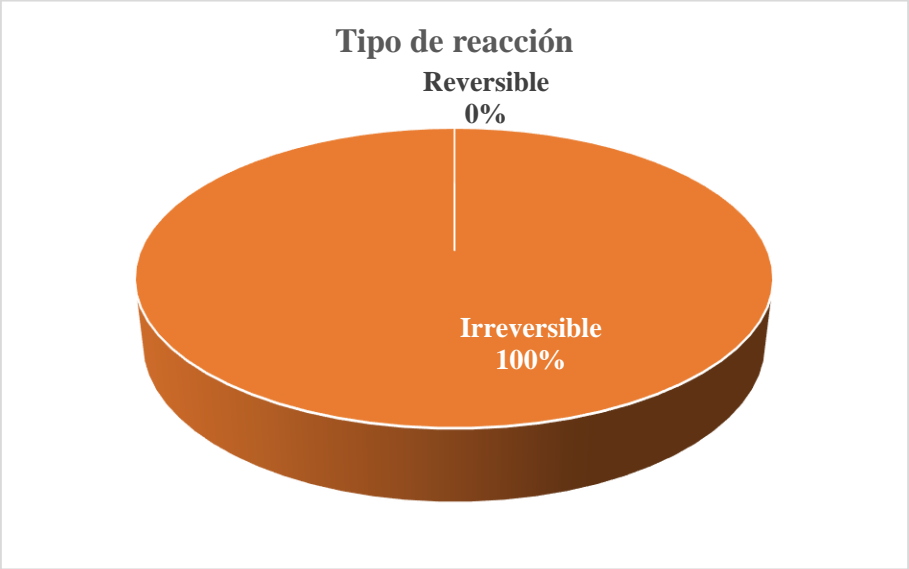


Figura 26. Distribución del tipo de reacción (reversible/irreversible) estudiada en la entrega 5.