



Guía Docente

INGENIERÍA DE LA REACCIÓN QUÍMICA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2022-2023



ESCENARIO 1- PRESENCIAL

I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Ingeniería de la Reacción Química
NÚMERO DE CRÉDITOS: 12
CARÁCTER: Obligatoria
MATERIA: Ingeniería de la Producción Química
MÓDULO: Tecnología Química
TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE: Anual (tercer curso)
DEPARTAMENTO/S: Ingeniería Química y de Materiales

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo A	
Teoría Seminario Laboratorio Tutoría	Profesora: AURORA SANTOS LÓPEZ Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B57A e-mail: aursan@quim.ucm.es
	Profesor: SERGIO RODRÍGUEZ VEGA * Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B71B e-mail: srvega@quim.ucm.es
	Profesor: CARMEN MARIA DOMINGUEZ TORRE Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B57B e-mail: carmdomi@ucm.es
	Profesor: DAVID LORENZO FERNANDEZ Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B69 e-mail: dlorenzo@ucm.es
	Profesor: SALVADOR COTILLAS SORIANO Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B57B e-mail: salvacot@ucm.es
Prácticas de Laboratorio	Coordinador: SERGIO RODRÍGUEZ VEGA * Departamento: Ingeniería Química y de Materiales Despacho: QA B71B e-mail: srvega@quim.ucm.es



Profesores de Laboratorio			
Profesor/a	Correo	Despacho	Depar.
TOLEDO GABRIEL, JOSE MANUEL	jmtoledo@quim.ucm.es	QA B61	IQM
LORENZO FERNÁNDEZ, DAVID	dlorenzo@ucm.es	QA B60	IQM
RODRIGUEZ VEGA, SERGIO	sergioro@ucm.es	QA B71B	IQM
DOMINGUEZ TORRE, CARMEN MARIA	carmdomi@ucm.es	QA B57B	IQM
COTILLAS SORIANO, SALVADOR	salvacot@quim.ucm.es	QA B57B	IQM
MARTINEZ RODRIGUEZ, MERCEDES	mmr1@quim.ucm.es	QA B58A	IQM



II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

Introducir al alumno en la Ingeniería de la Reacción Química con el fin de que adquiriera un conocimiento claro de la metodología empleada en el diseño de los reactores químicos y pueda aplicarla a diferentes situaciones que se presentan en la industria química y en instalaciones destinadas a la transformación de sustancias contaminantes. Conseguir que logre destreza en la identificación y descripción cuantitativa de los fenómenos que determinan el comportamiento de los reactores químicos, en la formulación de modelos cinéticos de reacciones y de reactores, en la obtención e interpretación de datos cinéticos, en la simulación numérica de diferentes tipos de reactores y, finalmente, que disponga de criterios claros para seleccionar reactores y condiciones de operación apropiadas para llevar a cabo procesos de fabricación o de transformación en instalaciones industriales.

■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Formular modelos cinéticos para reacciones homogéneas y heterogéneas.
- Obtener e interpretar información cinética de reacciones simples y múltiples.
- Conocer la formulación, preparación y caracterización de catalizadores empleados en procesos catalíticos industriales.
- Analizar la influencia de las etapas físicas en las reacciones polifásicas.
- Valorar el efecto de las principales variables (temperatura, composición, área interfacial, tamaño partículas, etc.) en la velocidad de reacción observada.
- Conocer y clasificar los diversos tipos de reactores químicos atendiendo a criterios de circulación y número de fases.
- Ser capaz de modelar el comportamiento de los diversos tipos de reactores químicos en función de las variables de entrada, condiciones hidrodinámicas del proceso y sistema de intercambio de calor.
- Seleccionar la configuración de reactor más conveniente para llevar a cabo un determinado proceso químico, en función de sus características específicas.
- Analizar la estabilidad de los diversos reactores químicos.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Termodinámica Aplicada. Bases de la Ingeniería. Matemáticas. Física. Cálculo Numérico.

■ RECOMENDACIONES:

Es conveniente tener conocimientos de software de cálculo científico.



IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Cinética de reacciones químicas. Métodos de análisis de datos cinéticos. Catálisis. Tipos de reactores químicos. Modos de operación del reactor en la industria química. Ecuaciones básicas de diseño del reactor. Reactores reales. Experimentación para la determinación de ecuaciones cinéticas. Experimentación con reactores químicos.

■ PROGRAMA:

1. Concepto de la Ingeniería de la Reacción Química. Fundamentos científicos. Análisis y modelado de los reactores químicos.
2. Reactores químicos. Reactores más frecuentes en la industria. Reactores ideales.
3. Balances de materia en reactores ideales homogéneos. Reactor discontinuo, reactor continuo de mezcla completa y reactor continuo tubular de flujo pistón. Flujo No Ideal.
4. Cinética Química Aplicada. Modelos mecanísticos y empíricos. Obtención e interpretación de datos cinéticos. Discriminación de modelos y estimación de parámetros.
5. Efectos térmicos en reactores químicos ideales.
6. Rendimiento en reacciones múltiples homogéneas. Reacciones en paralelo, serie, serie-paralelo.
7. Reactores heterogéneos. Tipos y aplicaciones.
8. Reactores de Lecho Fijo. Catálisis heterogénea. Fenomenología y extrapolación de datos de laboratorio a reactores reales.
9. Reactores de Lecho Fluidizado. Fenomenología y extrapolación de datos de laboratorio a reactores reales.
10. Reactores Gas-Sólido no catalíticos. Fenomenología y extrapolación de datos de laboratorio a reactores reales.
11. Reactores Fluido-Fluido no miscibles. Fenomenología y extrapolación de datos de laboratorio a reactores reales.

V.- COMPETENCIAS

■ GENÉRICAS:

- **CG1-TQ1:** Utilizar conceptos para el aprendizaje autónomo de nuevos métodos y teorías.
- **CG1-TQ2:** Diseñar y gestionar procedimientos de experimentación aplicada, especialmente para la determinación de propiedades termodinámicas y de transporte, y de modelado de fenómenos y sistemas en el ámbito de la ingeniería química, sistemas con flujo de fluidos, transmisión de calor, operaciones de transferencia de materia, cinética de las reacciones químicas y reactores.
- **CG4-TQ1:** Aplicar conceptos de biotecnología, transferencia de materia, operaciones de separación, ingeniería de la reacción química. Diseñar reactores, y evaluar la transformación de materias primas y recursos energéticos.



- **CG5-TQ1:** Analizar, diseñar, simular y optimizar procesos y productos.

■ **ESPECÍFICAS:**

- **CE20-IP4:** Reconocer los fundamentos de las operaciones básicas y de la ingeniería de la reacción química.
- **CE20-IP5:** Realizar cálculos sencillos de operaciones básicas, cinética química y diseño de reactores ideales.
- **CE20-IP6:** Calcular los parámetros básicos de diseño de reactores.
- **CE20-IP7:** Analizar el comportamiento de reactores químicos.
- **CE22-IP1:** Aplicar los métodos que permiten formular los modelos cinéticos y calcular los parámetros cinéticos.

■ **TRANSVERSALES:**

- **CT1-TQ1:** Desarrollar capacidad de análisis y síntesis.
- **CT2-TQ1:** Resolver problemas en el área de la Tecnología Química.
- **CT4-TQ1:** Comunicarse en español utilizando los medios audiovisuales habituales.
- **CT5-TQ1:** Consultar, utilizar y analizar fuentes bibliográficas en el área de la Tecnología Química.
- **CT5-TQ2:** Consultar, utilizar y analizar bases de datos especializadas y de recursos accesibles a través de Internet.
- **CT6-TQ1:** Utilizar herramientas y programas informáticos para calcular, simular y aproximar.
- **CT8-TQ1:** Demostrar capacidad para el razonamiento crítico y autocrítico.
- **CT11-TQ1:** Aprender de forma autónoma.
- **CT12-TQ1:** Desarrollar sensibilidad hacia la repercusión social y medioambiental de las soluciones ingenieriles.

VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas	65	85	6
Seminarios	26	31,5	2,3
Tutorías/Trabajos dirigidos	6	9	0,6
Laboratorios	30	22,5	2,1
Preparación de trabajos y exámenes	6	19	1
Total	133	167	12



VII.- METODOLOGÍA

Los contenidos de la asignatura se presentan a los alumnos en clases presenciales, divididas en dos tipos:

- Las denominadas **clases presenciales de teoría** se impartirán al grupo completo, y en ellas se dará a conocer al alumno el contenido de la asignatura. Al comienzo de cada tema se expondrá claramente el contenido y objetivos principales de dicho tema. Al final del tema se hará un breve resumen de los contenidos más relevantes y se plantearán nuevos objetivos que permitirán interrelacionar contenidos ya estudiados.

Durante la exposición de contenidos se propondrán cuestiones que ejemplifiquen los conceptos desarrollados o que sirvan de introducción a nuevos contenidos. Para facilitar la labor de seguimiento por parte del alumno de las clases presenciales se le proporcionará **la parte que se estime necesaria del material docente utilizado por el profesor**, bien en fotocopia o en el Campus Virtual. **La exposición de cada uno de los temas se hará haciendo uso de la pizarra y de software de presentaciones, simulación, cálculo numérico, etc.**

- Las **clases presenciales de problemas**. Periódicamente se suministrará al alumno una relación de problemas/ejercicios. Algunos de estos ejercicios serán resueltos en clase por el profesor y otros se propondrán al alumno para ser resueltos como trabajo personal. Estos últimos se entregarán al profesor. Posteriormente se discutirán los resultados de estos problemas, en grupos reducidos.
- Las **clases presenciales de laboratorio**. A lo largo del curso se realizarán tres prácticas de laboratorio, con asistencia obligatoria. En ellas, el alumno -trabajando en grupos de reducido tamaño- obtendrá datos en un sistema experimental y aplicará los conceptos, habilidades y destrezas adquiridos en las clases de teoría y problemas para su análisis e interpretación. El estudiante elaborará una memoria de la práctica, donde presentará el objeto de la práctica, la experimentación realizada, los resultados experimentales obtenidos y la discusión razonada de éstos que le permita elaborar las conclusiones alcanzadas. Antes de la realización de las prácticas el alumno deberá realizar y superar un cuestionario sobre la práctica que va a realizar. El estudiante realizará también un examen de los fundamentos y metodología aplicadas en las prácticas de laboratorio. Se calificará el trabajo realizado en el laboratorio, la memoria entregada y el examen realizado.
- En las **actividades dirigidas** los alumnos deberán **realizar** algún trabajo a lo largo del curso, sobre temas propios de la asignatura, que se evaluarán como actividades de trabajo autónomo o no presencial. El objetivo general de estos trabajos es que los alumnos aprendan a realizar búsquedas bibliográficas para obtener la información necesaria para resolver un problema abierto y orientado hacia la realidad industrial, a analizarla, valorarla y aplicarla. Los trabajos propuestos a cada alumno incluyen, además del trabajo bibliográfico, métodos de cálculo, interpretación de resultados y elaboración del correspondiente informe. **Sería conveniente, si el número de alumnos lo permite, que el alumno presente su trabajo en clase una vez finalizado, respondiendo además a las cuestiones que planteen el profesor y los compañeros.**
- Las **tutorías** se programarán de forma individualizada o con grupos reducidos. En ellas se resolverán las dudas planteadas por los alumnos y se discutirán los problemas y las



cuestiones aportadas por el profesor relacionadas con el temario de la asignatura, así como casos prácticos concretos.

- Se utilizará el **Campus Virtual** para permitir una comunicación fluida entre profesores y alumnos y como instrumento para poner a disposición de los alumnos el material que se considere necesario del utilizado en las clases tanto teóricas como de problemas. También podrá utilizarse como foro en el que se presenten algunos temas complementarios cuyo contenido, aunque importante en el conjunto de la materia, no se considere oportuno presentarlo en las clases presenciales.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

■ BÁSICA:

- Levenspiel, O.: "*Ingeniería de las Reacciones Químicas*", 2ª Ed. Reverté. 1981; 3ª Ed., John Wiley, 1999.
- Fogler, H.S.: "*Elements of Chemical Reaction Engineering*", 3ª Ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1999.
- Froment, F.F. y Bischoff, K.B.: "*Chemical Reactor Analysis and Design*". 1ª Ed., John Wiley, 1979. 2ª Ed., 1990.
- Smith, J.M.: "*Ingeniería de la Cinética Química*", CECSA, 1981.
- Metcalfe, I.S.: "*Chemical Reaction Engineering. A first Course*", Oxford Science Publications, 1999.

■ COMPLEMENTARIA:

- González Velasco, J.R.; González Marcos, M.A.; González Marcos, M.P., Gutiérrez Ortiz, J.I. y Gutiérrez Ortiz, M.A.: "*Cinética Química Aplicada*", Ed. Síntesis, Madrid, 1999.
- Santamaría, J., Erguido, J., Menéndez, M.A. y Monzón, A.: "*Ingeniería de Reactores*", Ed. Síntesis. Madrid, 1999.
- Villermaux, J.: "*Genie de la reaction chimique. Conception et fonctionnement des reacteurs*", Lavoisier, 1982.
- Missen, R.W, Mins, C.A. y Saville, B.A.: "*Introduction to Chemical Reaction Engineering and Kinetics*", Wiley, 1999.
- Westertep, K.R., van Swaaij, W.P.M. y Beenackers, A.A.C.C.: "*Chemical Reactor Design and Operation*", Wiley, 2ª Ed., 1984.

IX.- EVALUACIÓN

El rendimiento académico del alumno y la calificación final de la asignatura se computarán de forma ponderada atendiendo a los siguientes porcentajes, que se mantendrán en **todas las convocatorias**:

■ EXÁMENES ESCRITOS:

70 %

Se realizarán durante el curso cuatro exámenes escritos, dos en el primer cuatrimestre y dos en el segundo cuatrimestre, correspondientes al temario de la asignatura en cada periodo. La calificación de estos exámenes contribuirá en un 70% a la nota global. Si la



calificación media global obtenida en los dos primeros exámenes es inferior a 4, el estudiante no se podrá presentar a los dos exámenes del segundo cuatrimestre, y tendrá que realizar el examen final de toda la asignatura.

Los alumnos cuya media de los exámenes de curso sea igual o superior a 4 sobre 10 y que hayan obtenido una calificación igual o superior a 5 sobre 10 en la nota global (teniendo en cuenta la calificación del trabajo personal) no están obligados a presentarse al examen final.

El examen final de toda la asignatura contribuirá en un 70% a la nota final. Será necesario obtener una puntuación mínima de 5,0 puntos sobre 10,0 en el examen final para acceder a la calificación global de la asignatura. Este último criterio se mantendrá para la convocatoria extraordinaria.

■ **TRABAJO PERSONAL:** **30 %**

La evaluación del trabajo de aprendizaje individual realizado por el alumno se realizará teniendo en cuenta los factores:

- Destreza del alumno en la resolución de los problemas y ejercicios propuestos, que se recogerán periódicamente en las clases presenciales.
- Valoración del trabajo en las clases presenciales de problemas y en tutorías.
- Valoración del trabajo realizado en las prácticas de laboratorio (asistencia obligatoria).

■ **ASISTENCIA Y PARTICIPACIÓN ACTIVA EN LAS CLASES:**

Para poder acceder a la evaluación global de la asignatura, el estudiante debe haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría y seminarios y tutorías) y haber asistido a las clases de laboratorio.

Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura (exámenes parciales, laboratorios, tutorías, entrega de problemas,...) se comunicarán a los estudiantes con la antelación suficiente antes de la realización del examen final, para que puedan planificar adecuadamente el estudio de ésta u otras asignaturas.

En especial, las notas de los exámenes parciales se comunicarán en un plazo máximo de 20 días, salvo en el caso del segundo parcial, en el que el plazo puede ser menor para adaptarse al examen final. En todo caso, se respetará el plazo mínimo de siete días entre la publicación de las calificaciones y la fecha del examen final de la asignatura.

Los alumnos que hayan realizado las prácticas en cursos anteriores tendrán la opción de solicitar la no repetición de la asistencia al laboratorio para su realización, siempre que no hayan transcurrido más de 2 años desde que llevaron a cabo esas prácticas y hubieran sido calificadas con más de un cinco. En cualquier caso, el examen de cada práctica deberán realizarlo todos los estudiantes, independientemente de que hayan solicitado o no la repetición de la parte experimental en laboratorio.



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

El programa se desarrollará con el siguiente esquema (los temas están ordenados cronológicamente):

TEMA	CUATRIMESTRE
<i>1. Concepto de Ingeniería de la Reacción Química</i>	1
<i>2. Reactores químicos</i>	1
<i>3. Balances de materia en reactores ideales homogéneos. Flujo No ideal</i>	1
<i>4. Cinética Química Aplicada</i>	1
<i>5. Efectos térmicos en Reactores Químicos Ideales.</i>	2
<i>6. Rendimiento en reacciones múltiples homogéneas</i>	2
<i>7. Reactores heterogéneos. Catálisis heterogénea</i>	2
<i>8. Reactores de lecho fijo</i>	2
<i>9. Reactores de lecho fluidizado</i>	2
<i>10. Reactores gas-sólido</i>	2
<i>11. Reactores fluido-fluido no miscibles</i>	2

Las clases de laboratorios y las tutorías se harán en grupos reducidos.



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Clases de teoría	CG1-TQ1, CG4-TQ1, CG5-TQ1, CE20-IP4, CE20-IP7, CE22-IP1, CT1-TQ1, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT11-TQ1, CT12-TQ1	Exposición de conceptos teóricos. Evaluación de los conocimientos teóricos adquiridos por el estudiante	Asistencia y toma de apuntes, consulta de fuentes bibliográficas y estudio personal. Formulación de preguntas y dudas	Asistencia y participación del estudiante en las clases de teoría	65	85	150	-
Seminarios	CG1-TQ1, CG5-TQ1, CE20-IP5, CE20-IP6, CE22-IP1, CT1-TQ1, CT2-TQ2, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT11-TQ1, CT12-TQ1	Aplicación de los conceptos de teoría a la resolución de cuestiones y problemas. Evaluación de las habilidades del estudiante en la resolución de problemas y ejercicios.	Asistencia y toma de apuntes, consulta de fuentes bibliográficas y estudio personal. Formulación de preguntas y dudas	Asistencia y participación del estudiante en las clases de seminarios y evaluación de entrega de los ejercicios propuestos por el profesor	26	31,5	57,5	-
Laboratorio	CG1-TQ2, CE22-IP1, CT4-TQ1, CT5-TQ1, CT5-TQ2, CT6-TQ1, CT8-TQ1,	Exposición de los fundamentos teóricos y la metodología para la realización de las prácticas e interpretación de los resultados obtenidos. Supervisión y apoyo al estudiante durante estas etapas. Calificación de los conocimientos adquiridos y del trabajo práctico realizado	Estudio de los fundamentos teórico/prácticos necesarios para la tarea experimental, realización de ésta y elaboración de la memoria técnica,	Evaluación del trabajo del estudiante durante la realización de las prácticas y de las memorias técnicas individuales del trabajo experimental realizado. Exámenes escritos de los conocimientos adquiridos	30	22,5	52,5	15%
Tutorías/ Actividades Dirigidas	CG1-TQ1, CG5-TQ1, CE20-IP7, CE22-IP1, CT4-TQ1, CT5-TQ1, CT6-TQ1, CT11-TQ1, CT8-TQ1, CT12-TQ1	Seguimiento y apoyo a la adquisición de conocimientos y competencias por parte del estudiante, mediante actividades individuales y/o en grupo. Evaluación del trabajo realizado por el alumno en estas actividades.	Planteamiento de dudas y cuestiones al profesor y autoevaluación de los conocimientos y competencias adquiridas. Elaboración de los trabajos propuestos	Valoración del trabajo realizado por el estudiante	6	9	15	15%
Exámenes	CG4-TQ1, CG5-TQ1, CE20-IP5, CE20-IP6, CT1-TQ1, CT4-TQ1, CT8-TQ1	Elaboración de exámenes, supervisión, corrección y calificación de las pruebas.	Preparación y realización del las pruebas para la evaluación de los conocimientos y su aplicación a la resolución de cuestiones teórico/prácticas	Calificación de las pruebas	6	19	25	70%

P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación