



UNIVERSIDAD
POLITÉCNICA
DE MADRID

PROCESO DE
COORDINACIÓN DE LAS
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingenieros
Industriales

ANX-PR/CL/001-01

GUÍA DE APRENDIZAJE

ASIGNATURA

53001360 - Catálisis Y Reactores Heterogéneos

PLAN DE ESTUDIOS

05BC - Master Universitario En Ingeniería Química

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2022/23 - Primer semestre

Índice

Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	14
9. Otra información.....	16

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	53001360 - Catálisis y Reactores Heterogéneos
No de créditos	4.5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Primer curso
Semestre	Primer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	05BC - Master Universitario en Ingeniería Química
Centro responsable de la titulación	05 - Escuela Técnica Superior De Ingenieros Industriales
Curso académico	2022-23

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Aikaterini Foteinopoulou	Materiales	k.foteinopoulou@upm.es	L - 09:30 - 10:30
Nikolaos Karagiannis (Coordinador/a)	Materiales	n.karayiannis@upm.es	M - 11:00 - 13:00

* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

2.2. Personal investigador en formación o similar

Nombre	Correo electrónico	Profesor responsable
Martinez Fernandez, Daniel	daniel.martinez.fernandez@upm.es	Karagiannis, Nikolaos

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Reactores Químicos

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

- Ecuaciones Diferenciales
- Termodinámica
- Fenómenos de Transporte
- Procesos Químicos
- Química Física
- Balance de masa y energía
- Reactores Químicos

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

CE1 - Aplicar conocimientos de matemáticas, física, química, biología y otras ciencias naturales, obtenidos mediante estudio, experiencia, y práctica, con razonamiento crítico para establecer soluciones viables económicamente a problemas técnicos.

CE2 - Diseñar productos, procesos, sistemas y servicios de la industria química, así como la optimización de otros ya desarrollados, tomando como base tecnológica las diversas áreas de la ingeniería química, comprensivas de procesos y fenómenos de transporte, operaciones de separación e ingeniería de las reacciones químicas, nucleares, electroquímicas y bioquímicas.

CG1 - Capacidad para aplicar el método científico y los principios de la ingeniería y economía, para formular y resolver problemas complejos en procesos, equipos, instalaciones y servicios, en los que la materia experimente cambios en su composición, estado o contenido energético, característicos de la industria química y de otros sectores relacionados entre los que se encuentran el farmacéutico, biotecnológico, materiales, energético, alimentario o medioambiental.

CG4 - Realizar la investigación apropiada, emprender el diseño y dirigir el desarrollo de soluciones de ingeniería, en entornos nuevos o poco conocidos, relacionando creatividad, originalidad, innovación y transferencia de tecnología

CG5 - Saber establecer modelos matemáticos y desarrollarlos mediante la informática apropiada, como base científica y tecnológica para el diseño de nuevos productos, procesos, sistemas y servicios, y para la optimización de otros ya desarrollados

4.2. Resultados del aprendizaje

RA67 - Ser capaz de realizar la integración energética de un proceso químico

RA43 - Predicción y análisis del comportamiento de reactores químicos

RA120 - Conocer el contexto multidisciplinar de la asignatura.

RA42 - Realizar tareas de selección y diseño de reactores químicos

RA44 - Determinar parámetros cinéticos y leyes de velocidad

RA16 - Conocimiento de los principios de Catálisis y resolver problemas relativos contemporáneos de industria

RA15 - Conocimiento de diseñar y realizar experimentos en el campo de Ingeniería Química y analizar los datos correspondientes

RA13 - Capacidad de trabajo con literatura científica en inglés

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

La asignatura se imparte en inglés.

5.2. Temario de la asignatura

1. Basic Concepts (Conceptos Básicos)
 - 1.1. Basic Definitions (Definiciones Fundamentales)
 - 1.2. Catalysis and Catalysts (Catálisis y Catalizadores)
 - 1.3. Stoichiometry and Conversion (Estequiometría y Conversión)
 - 1.4. Thermodynamics (Termodinámica)
2. General Characteristics of Solid Catalysts (Características Generales de los Catalizadores Sólidos)
 - 2.1. Classification of Catalysts (Clasificación de Catalizadores)
 - 2.2. Carriers and Supports (Portadores y Soportes)
 - 2.3. Synthesis of Catalysts (Síntesis de Catalizadores)
 - 2.4. Characterization of Catalysts (Caracterización de Catalizadores)
 - 2.5. Hypotheses and Theories of Heterogeneous Catalysis (Hipótesis y Teorías de la Catálisis Heterogénea)
3. Kinetics of Catalytic Reactions (Cinética de Reacciones Catalíticas)
 - 3.1. Intrinsic and Global Rate (Velocidad Intrínseca y Global)
 - 3.2. Development of Kinetic Mechanisms (Desarrollo de Mecanismos Cinéticos)
 - 3.3. Analysis and Interpretation of Kinetic Data (Análisis e Interpretación de Datos Cinéticos)
 - 3.4. Thermodynamic Criteria (Criterios Termodinámicos)
4. Kinetic Mechanisms in Catalysts: Industrial Applications (Mecanismos Cinéticos en Catalizadores: Aplicaciones Industriales)
 - 4.1. Dehydrogenation of Methylcyclohexane to Toluene in Pt/Al₂O₃ Catalyst (Deshidrogenación de Metilciclohexano a Tolueno en Catalizador Pt/Al₂O₃)
 - 4.2. Natural Gas Reforming in Ni/La₂O₃ Catalyst (Reformado de Gas Natural en Catalizador Ni/La₂O₃)
 - 4.3. Partial Oxidation of Methane to Synthesis Gas in Ru/TiO₂ Catalyst (Oxidación Parcial de Metano a Gas de Síntesis en Catalizador Ru/TiO₂)
5. External Mass and Heat Transfer (Transferencia Externa de Masa y Calor)
 - 5.1. Mass Transfer in Isolated Catalyst Particle (Transferencia de Masa en Partícula de Catalizador Aislada)
 - 5.2. Mass and Heat Transfer in Fixed-Bed Reactors (Transferencia de Masa y Calor en Reactores de Lecho Fijo)
 - 5.3. Mass and Heat Transfer in Fluidized Bed Reactors (Transferencia de Masa y Calor en Reactores de

- Lecho Fluidizado)
- 5.4. Mass and Heat Transfer in Slurry Reactors (Transferencia de Masa y Calor en Reactores de Suspensión)
 - 5.5. Effect of External Mass Transfer on Selectivity (Efecto de la Transferencia Externa de Masa Sobre Selectividad)
 - 6. Internal Mass and Heat Transfer (Transferencia Interna de Masa y Calor)
 - 6.1. Mass and Heat Diffusion in Porous Media (Difusión de Masa y Calor en Medios Porosos)
 - 6.2. Diffusion and Reaction in Porous Catalysts - Isothermal Conditions (Difusión y Reacción en Catalizadores Porosos - Condiciones Isotérmicas)
 - 6.3. Diffusion and Reaction in Porous Catalysts - Non-Isothermal Conditions (Difusión y Reacción en Catalizadores Porosos - Condiciones No Isotérmicas)
 - 6.4. Effectiveness Factor (Factor de Eficacia)
 - 6.5. Effect of Internal Mass Diffusion on Selectivity (Efecto de la Difusión Interna de Masa Sobre Selectividad)
 - 7. Catalyst Deactivation (Desactivación del catalizador)
 - 7.1. Mechanisms of Catalyst Deactivation (Mecanismos de Desactivación del Catalizador)
 - 7.2. Methods to Regenerate Deactivated Catalysts (Métodos para Regenerar Catalizadores Desactivados)
 - 7.3. Kinetics of Poisoning (Cinética del Envenenamiento)
 - 7.4. Internal Diffusion and Poisoning (Difusión Interna y Envenenamiento)
 - 8. Catalytic Reactors (Reactores Catalíticos)
 - 8.1. Fixed-Bed Reactors and Modes of Operation (Reactores de Lecho Fijo y Modos de Operación)
 - 8.2. Models for Fixed-bed Reactors (Modelos para Reactores de Lecho Fijo)
 - 8.3. Generalized Mass, Energy and Momentum Balances (Balances Generalizados de Masa, Energía y Momento)
 - 8.4. Pseudo-Homogenous Models (Modelos Pseudo-Homogéneos)
 - 8.5. Heterogenous Models (Modelos Heterogéneos)
 - 9. Design and Modeling of Fixed-Bed Reactors (Diseño y Modelado de Reactores de Lecho Fijo)
 - 9.1. Catalytic Oxidation of Naphthalene to Phthalic Anhydride in Fixed-Bed Reactor (Oxidación Catalítica de Naftaleno a Anhídrido Ftálico en Reactor de Lecho Fijo)
 - 9.2. Design of Adiabatic Fixed-Bed Reactors for the Water-Gas Shift Reactions (Diseño de Reactores Adiabáticos de Lecho Fijo para las Reacciones de Desplazamiento del Gas de Agua)

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Chapter 1: Basic Concepts Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Chapter 1: Basic Concepts Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Chapter 1: Basic Concepts, Exercises Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10 Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10
3	Chapter 2: General Characteristics of Solid Catalysts Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Chapter 2: General Characteristics of Solid Catalysts Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10 Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10
4	Chapter 3: Kinetics of Catalytic Reactions Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20
5	Chapter 3: Kinetics of Catalytic Reactions Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Chapter 3: Kinetics of Catalytic Reactions, Exercises Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10 Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:20

6	<p>Chapter 4: Mechanistic Kinetics in Catalysts: Applications Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Chapter 4: Mechanistic Kinetics in Catalysts: Applications Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
7	<p>Chapter 5: External Mass and Heat Transfer Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			<p>Evaluación a través de un examen escrito al fin de Tema (capítulo) 4 de la asignatura {solo cuenta si es para el beneficio del estudiante} EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 02:00</p>
8	<p>Chapter 5: External Mass and Heat Transfer Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Chapter 5: External Mass and Heat Transfer Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p>Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:15</p>
9	<p>Chapter 6: Internal Mass and Heat Transfer Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
10	<p>Chapter 6: Internal Mass and Heat Transfer Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Chapter 6: Internal Mass and Heat Transfer, Exercises Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p>Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:10</p>
11	<p>Chapter 7: Catalyst Deactivation Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Chapter 7: Catalyst Deactivation Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
12	<p>Chapter 8: Catalytic Reactors Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>			
13	<p>Chapter 8: Catalytic Reactors Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Chapter 8: Catalytic Reactors, Exercises Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p>Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:15</p>

14	Chapter 9: Design and Modeling of Fixed-Bed Reactors Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15	Chapter 9: Design and Modeling of Fixed-Bed Reactors Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral Chapter 9: Design and Modeling of Fixed-Bed Reactors, Exercises Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativos con el curso TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua y sólo prueba final Presencial Duración: 00:15
16				
17				Examen final EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 02:30

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
2	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
3	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2
3	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2
4	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:20	%	/ 10	
5	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
5	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:20	%	/ 10	
7	Evaluación a través de un examen escrito al fin de Tema (capítulo) 4 de la asignatura {solo cuenta si es para el beneficio del estudiante}	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	20%	/ 10	

8	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	
10	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
13	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	
15	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
2	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
2	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
3	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2
3	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2
4	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:20	%	/ 10	
5	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	

5	Trabajo en clase para resolver problemas relativos con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:20	%	/ 10	
7	Evaluación a través de un examen escrito al fin de Tema (capítulo) 4 de la asignatura (solo cuenta si es para el beneficio del estudiante)	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	20%	/ 10	
8	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	
10	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:10	%	/ 10	
13	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	
15	Trabajo en clase y en casa para resolver problemas relativas con el curso	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	00:15	%	/ 10	CG1 CG4 CG5 CE1 CE2
17	Examen final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:30	80%	/ 10	CG5 CE1 CE2 CG1 CG4

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

7.2. Criterios de evaluación

El método de evaluación es por "PRUEBA GLOBAL". Por eso la evaluación será a través de un examen global planeado en el período de exámenes en el que se examina todo el contenido de la asignatura. Sin embargo para facilitar el aprendizaje y adquisición de las competencias está programado también un examen al final del tema #4.

Los trabajos en clase NO son recuperables. Cada trabajo en clase cuenta como bonificación solo si la puntuación mínima es superior a 5. Para cada alumno, la puntuación total de la bonificación escala proporcionalmente con la mejor puntuación total de los trabajos de clase, que recibe +0,5.

Los problemas de resolver en clase (entre 15 y 25) están seleccionados cuidadosamente a fin de facilitar la adquisición de los conocimientos y competencias; al mismo tiempo, los problemas deberán suponer un desafío suficiente que permita evaluar adecuadamente las capacidades y el pensamiento crítico de los estudiantes.

Los problemas están cuidadosamente elegidos y están conectados con problemas 'reales' de industria o de temas de investigación científica.

En las pruebas de examen global son dos: al final del tema #4 (fin de octubre / inicio de noviembre) y el examen global (período de los exámenes).

El primer examen tiene un peso de 20% y se cuenta sólo si es para el beneficio del estudiante. La primera evaluación NO es eliminatoria.

El segundo examen tiene un peso de 80% e incluye todos los temas de la asignatura.

En el modo de evaluación global:

- Se evalúa la capacidad de estudiante de explicar con claridad el método de solución que haya elegido para resolver los problemas
- Todos los problemas están basados en el conocimiento adquirido durante el curso a través de lecciones y/o la solución de problemas de evaluación continua
- Se evalúa el pensamiento crítico de estudiantes a elegir el método de solución adecuado.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
H. Scott Fogler, Elements of Chemical Reaction Engineering, Prentice Hall (2006); ISBN: 0130473944 (4th edition)	Bibliografía	General Concepts of Chemical Engineering
J. M. Smith, Chemical Engineering Kinetics, McGraw-Hill Inc. (1981); ISBN: 0070587108 (3rd edition)	Bibliografía	General Concepts of Chemical Engineering
J. M. Thomas and W. J. Thomas, Principles and Practice of Heterogeneous Catalysis, Wiley-VCH (2015); ISBN: 352731458X (2nd edition)	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis
J. R. H. Ross, Heterogeneous Catalysis: Fundamentals and Applications, Elsevier (2012); ISBN: 044453363X.	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis

I. Chorkendorff and J. W. Niemantsverdriet, Concepts of Modern Catalysis and Kinetics, Wiley-VCH (2003); ISBN: 3527305742	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis (also the latest version of 2017)
scientific articles	Bibliografía	scientific articles for teaching in more detail specific subjects and address modern engineering problems related to catalysis
J. B. Butt, Reaction Kinetics and Reactor Design, Prentice Hall (1980), ISBN: 0137533357	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis and Reactors
G. F. Froment and K. B. Bischoff, Chemical Reactor Analysis and Design, Wiley (1990), ISBN: 0471510440	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis
X. E. Verykios, Heterogeneous Catalytic Reactions and Reactors, Kostarakis Press (2004), ISBN: 9608765536	Bibliografía	Heterogeneous Catalysis
T. K. Sherwood, R. L. Pigford and C. R. Wilke, Mass Transfer (1975); ISBN: 0070566925	Bibliografía	Mass transfer

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

Idioma principal del curso: **Inglés** / main language of the course: **English**