



# Guía Docente:

## ANÁLISIS AVANZADO DE REACCIONES Y REACTORES

---



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**CURSO 2017-2018**



**I.- IDENTIFICACIÓN**

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA:** **Análisis Avanzado de Reacciones y Reactores**  
**CARÁCTER:** **Obligatoria**  
**MATERIA:** **Análisis Avanzado de Reacciones y Reactores**  
**MÓDULO:** **Ingeniería de Procesos y Productos**  
**TITULACIÓN:** **Master en Ingeniería Química: Ingeniería de Procesos**  
**SEMESTRE/CUATRIMESTRE:** **Anual (primer curso)**  
**DEPARTAMENTO/S:** **Ingeniería Química**

**PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:**

Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> FELIX GARCÍA-OCHOA SORIA <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-B70.B Planta baja Edificio A <b>e-mail:</b> <a href="mailto:fgochoa@ucm.es">fgochoa@ucm.es</a>
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesora:</b> VICTORIA EUGENIA SANTOS MAZORRA <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-104. Planta 1ª Planta Piloto Químicas. <b>e-mail:</b> <a href="mailto:vesantos@ucm.es">vesantos@ucm.es</a>
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> MIGUEL LADERO GALÁN <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-B64. Planta baja Edificio A <b>e-mail:</b> <a href="mailto:mladerog@ucm.es">mladerog@ucm.es</a>
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> JOSE MANUEL TOLEDO GABRIEL <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-B61. Planta baja Edificio A <b>e-mail:</b> <a href="mailto:jmtoledo@ucm.es">jmtoledo@ucm.es</a>
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> EMILIO GÓMEZ CASTRO <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-114. Planta 1ª Planta Piloto Químicas. <b>e-mail:</b> <a href="mailto:emgomez@ucm.es">emgomez@ucm.es</a>
Seminario Tutoría Laboratorio	<b>Profesor:</b> PEDRO YUSTOS CUESTA <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-109. Planta 1ª Planta Piloto Químicas. <b>e-mail:</b> <a href="mailto:pyustosc@ucm.es">pyustosc@ucm.es</a>
Seminario Laboratorio	<b>Profesor:</b> MARIA ISABEL GUIJARRO GIL <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-B70.A Planta baja Edificio A <b>e-mail:</b> <a href="mailto:migg@ucm.es">migg@ucm.es</a>



## II.- OBJETIVOS

### ■ OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de la asignatura es dotar al estudiante de conocimientos avanzados y aplicados referentes a reacciones y reactores químicos, así como de herramientas que le permitan resolver problemas de cinética aplicada de sistemas complejos y diseñar reactores multifásicos. Para ello, se partirá de conceptos fundamentales de estequiometría, termodinámica química, cinética química aplicada y diseño de reactores, introduciendo la complejidad propia de sistemas multifásicos y autocatalíticos en los que tienen lugar múltiples reacciones. También se considerarán reactores donde se utiliza una forma de energía impulsora como electroquímicos, fotoquímico y nucleares.

### ■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer y saber aplicar la metodología de estudio de redes de reacciones: estequiometría, termodinámica y determinación y validación de modelos cinéticos.
- Ser capaz de analizar la cinética y la fenomenología de transformaciones químicas complejas de diversa naturaleza: catalíticas, poliméricas, bioquímicas, electroquímicas, fotoquímicas, sonoquímicas, nucleares.
- Ser capaz de obtener datos experimentales de transformaciones químicas complejas y ser capaz de formular modelos cinéticos a partir de dichos datos.
- Ser capaz de elaborar informes técnico-científicos tanto a partir de información obtenida de fuentes bibliográficas como de la elaborada por el propio alumno.
- Saber elegir y diseñar los reactores adecuados para las transformaciones químicas complejas en función de su naturaleza.

## III.- CONOCIMIENTOS Y REQUISITOS PREVIOS

### ■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Conocimientos básicos de cinética química aplicada y de diseño de reactores químicos. Haber cursado asignaturas básicas de introducción a la ingeniería química, de fenómenos de transporte y de fundamentos de ingeniería de la reacción química.

## IV.- CONTENIDOS

### ■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Reacciones múltiples y reactores multifásicos G-L y G-L-S. Reacciones enzimáticas y microbianas. Bioprocesos y reactores enzimáticos y con microorganismos y células. Procesos y reactores de polimerización. Reacciones y reactores electroquímicos, fotoquímicos y sonoquímicos. Reactores nucleares y residuos radiactivos.

### ■ PROGRAMA:

#### **Tema 1: Bases del diseño de reactores químicos.**

Análisis de las reacciones químicas. Sistemas bifásicos y multifásicos. Reactores químicos: tipos. Principios de diseño y de cambio de escala.

**Tema 2: Análisis de Redes de reacciones químicas.**

Estequiometría y Termodinámica. Modelos cinéticos. Métodos de cálculo de parámetros. Discriminación de modelos cinéticos.

**Tema 3: Reacciones y reactores gas-líquido y líquido-líquido.**

Modelos para la descripción del transporte de materia. Coeficiente volumétrico de transporte: Correlaciones empíricas y predicción teórica. Principios de diseño de reactores fluido-fluido. Casos en estudio.

**Tema 4: Reacciones y reactores gas-líquido-sólido y líquido-líquido-sólido.**

Modelos para la descripción del transporte de materia. Coeficiente volumétrico de transporte: correlaciones empíricas. Principios de diseño de reactores trifásicos.

**Tema 5: Análisis de bioprocesos y biorreactores.**

Biotecnología: aplicaciones. Tipos de bioprocesos y de biorreactores. Fenomenología. Principios de desarrollo de bioprocesos. Cambio de escala.

**Tema 6: Procesos enzimáticos.**

Mecanismo de las reacciones enzimáticas. Inmovilización de enzimas: métodos y fenómenos de transporte asociados. Modelos cinéticos para reacciones enzimáticas. Mecanismos y modelos de desactivación. Casos en estudio.

**Tema 7: Procesos con microorganismos y células.**

Procesos con microorganismos. Metabolismo celular, transporte entre fases y en la membrana. Stress hidrodinámico y oxidativo. Condiciones y formas de operación. Modelos cinéticos para transformaciones microbianas. Transporte y consumo de oxígeno. Acople de fenómenos. Stress hidrodinámico, oxidativo y daño celular.

**Tema 8: Diseño de biorreactores**

Reactores enzimáticos: tipos. Diseño de reactores discontinuos y continuos. Lechos con enzimas inmovilizadas. Biorreactores microbianos. Diseño de reactores discontinuos, semicontinuos (*fed-batch*) y continuos. Tanques agitados y columnas de burbujeo (*airlift*). Casos en estudio.

**Tema 9: Reacciones y reactores de polimerización.**

Procesos de polimerización: tipos y aplicaciones. Características de los polímeros: Distribución de pesos moleculares y de longitud de cadena. Fenomenología de las reacciones de polimerización. Estequiometría, Termodinámica y Cinética de las reacciones de polimerización. Diseño de reactores de polimerización.

**Tema 10: Reacciones y reactores electroquímicos, fotoquímicos y sonoquímicos.**

Procesos electroquímicos. Aplicaciones. Cinética de los procesos electroquímicos. Fenomenología de los procesos electroquímicos. Tipos de reactores electroquímicos. Células de combustible. Procesos fotoquímicos. Aplicaciones. Catálisis fotoquímica. Cinética de los procesos fotoquímicos. Fenomenología de los procesos fotoquímicos.



Diseño de reactores fotocatalíticos. Procesos sonoquímicos. Aplicaciones. Cinética de los procesos sonoquímicos. Fenomenología de los procesos sonoquímicos. Tipos de reactores sonoquímicos.

**Tema 11: Reactores nucleares.**

Producción de energía eléctrica. Otras aplicaciones de la energía nuclear. Tipos de reactores nucleares. Diseño de reactores nucleares. Residuos radiactivos: gestión.

## V.- COMPETENCIAS

### ■ GENERALES:

- **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.
- **CG2** Concebir, proyectar, calcular, y diseñar procesos, equipos, instalaciones industriales y servicios, en el ámbito de la ingeniería química y sectores industriales relacionados, en términos de calidad, seguridad, economía, uso racional y eficiente de los recursos naturales y conservación del medio ambiente.
- **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.
- **CG10** Adaptarse a los cambios, siendo capaz de aplicar tecnologías nuevas y avanzadas y otros progresos relevantes, con iniciativa y espíritu emprendedor.
- **CG11** Poseer las habilidades del aprendizaje autónomo para mantener y mejorar las competencias propias de la ingeniería química que permitan el desarrollo continuo de la profesión.

### ■ ESPECÍFICAS:

- **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.

- **CE3** Conceptualizar modelos de ingeniería, aplicar métodos innovadores en la resolución de problemas y aplicaciones informáticas adecuadas, para el diseño, simulación, optimización y control de procesos y sistemas.
- **CE8** Dirigir y gestionar la organización del trabajo y los recursos humanos aplicando criterios de seguridad industrial, gestión de la calidad, prevención de riesgos laborales, sostenibilidad, y gestión medioambiental.

■ **TRANSVERSALES:**

- **CT1** Desarrollar el trabajo de forma autónoma.
- **CT2** Trabajar en equipo fomentando el desarrollo de habilidades en las relaciones humanas.
- **CT3** Desarrollar sensibilidad y responsabilidad sobre temas energéticos, medioambientales y éticos.
- **CT4** Demostrar razonamiento crítico y autocrítico en busca de la calidad y rigor científicos
- **CT5** Elaborar y escribir informes y otros documentos de carácter científico y técnico.
- **CT6** Aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos multidisciplinares, los conceptos, principios, teorías o modelos relacionados con la Ingeniería Química
- **CT7** Gestionar información científica, bibliografía y bases de datos especializadas y otros recursos accesibles a través de Internet.
- **CT11** Desarrollar la capacidad de organización y planificación

**VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD**

■ **PRIMER CUATRIMESTRE:**

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas y seminarios	30	45	3,0
Actividades formativas: visitas	4	6	0,4
Tutorías	2	3	0,2
Actividades prácticas	18	27	1,8
Exámenes y Trabajos dirigidos	6	9	0,6
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>6</b>



## ■ SEGUNDO CUATRIMESTRE:

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas y seminarios	15	22,5	1,5
Actividades formativas: visitas	-	-	-
Tutorías	-	-	-
Actividades prácticas	12	18	1,2
Exámenes y Trabajos dirigidos	3	4,5	0,3
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>3</b>

## VII.- METODOLOGÍA

Los contenidos de la asignatura se presentan a los estudiantes mediante clases teóricas, seminarios, tutorías programadas, trabajos dirigidos y actividades prácticas, como visitas a empresas.

Las **clases teóricas** consistirán, esencialmente, en lecciones magistrales en las que se expondrá de forma ordenada el temario completo de la asignatura, incluyendo el desarrollo avanzado de aspectos puntuales de la asignatura como, por ejemplo, los casos en estudio. En el desarrollo de las clases de teoría se utilizará material audiovisual para una óptima comprensión de cada tema. Los esquemas, tablas, figuras y cualquier otro tipo de material y/o información necesaria se pondrán a disposición de los alumnos en soporte papel o informático utilizando principalmente el espacio del Campus Virtual.

Los **seminarios** consistirán en el desarrollo completo y detallado de un conjunto de problemas seleccionados, cuyos enunciados se distribuirán con suficiente antelación para que el alumno los intente resolver por su cuenta. Además, se darán **conferencias** relacionadas con los contenidos de la asignatura y orientadas a la aplicación de dichos contenidos en algunos procesos industriales y comerciales de interés.

Las **tutorías programadas** se desarrollarán en grupos reducidos. Las tutorías serán el marco donde al estudiante se le plantearán cuestiones teóricas, cuestiones prácticas abiertas y ejercicios numéricos a plantear y/o a desarrollar y resolver en grupos reducidos. Estos ejercicios prácticos cubrirán, en cada sesión, un determinado número de temas, estando los estudiantes informados con la suficiente antelación de los temas a tratar. En estas sesiones, el estudiante contará con la orientación del profesor encargado.

En las **prácticas de laboratorio** y los **trabajos dirigidos** se planteará el trabajo en grupos reducidos. Los **trabajos dirigidos** se centrarán en el estudio de redes de reacción en casos de interés industrial, con un estudio exhaustivo de aspectos tales como la estequiometría, la termoquímica y la cinética química aplicada. Los alumnos tendrán asignado un tutor/a que les convocará en varias ocasiones para comprobar su progreso y orientarles en cada una de las etapas del trabajo. Los estudiantes harán una presentación final de su trabajo. En cuanto a las **prácticas de laboratorio**, estas se dividen en un trabajo experimental a realizar en el



laboratorio y el cálculo e interpretación de resultados que se llevará a cabo en aula de informática. Cada estudiante realizará dos prácticas y presentará un informe por práctica.

Además de las **tutorías clásicas** (consultas) a las que el estudiante tiene derecho, se utilizará el **Campus Virtual** para permitir una comunicación fluida entre profesores y estudiantes y como instrumento para poner a disposición de los estudiantes el material que se utilizará en las clases tanto teóricas como de problemas. También podrá utilizarse para la apertura y gestión de **foros** en el que se presente material complementario y se planteen discusiones y reflexiones sobre el contenido de la asignatura.

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA

Al principio de curso se comentará la bibliografía recomendada, indicando los aspectos más relevantes de cada texto y el grado de adecuación a la asignatura. No se va a seguir un libro de texto concreto para el desarrollo de la asignatura.

### ■ BÁSICA:

- Fogler, H.S. “Elements of Chemical Reaction Engineering”, 3ª ed. Prentice-Hall, 2006.
- Salmi, T.O., Mikkola, J-P, Warma, J.P. “Chemical Reaction Engineering and Reactor Technology”. CRC Press, 2010.
- Tiscareño, F. “Reactores Químicos con Multireacción”. Ed. Reverte, 2008.
- Doran, P.M. “Principios de Ingeniería de los Bioprocesos”. Acibia, 1998.
- Díaz, M. “Ingeniería de Bioprocesos”. Paraninfo. 2012.
- McGreavy, C. Polymer Reaction Engineering. Blackie Academia and Professional. Londres, 1994.

### ■ COMPLEMENTARIA:

- Ranade, V.V., Chaudhari, R.V., Gunjal, P.R. “Trickle-bed Reactors: Reactor Engineering & Applications”. 1ª ed. Elsevier, 2011.
- Asenjo, J.A. y Merchuk, J.C.: “Bioreactor system Design”. M. Dekker, 1995.
- Nielsen, J. y Villadsen, J.: “Bioreaction Engineering Principles”. Plenum Press. 1994.
- Glasstone, S., Sesonske, A.: “Nuclear Reactor Engineering”. 4ª ed. Chapman and Hall. 1994.
- Ramachandran, P.A., Chaudari, R.V. “Three Phase Catalytic Reactors”, Gordon and Breach Sci. Pub, Nueva York. 1983.
- Nauman, E.B. “Chemical Reactor Design, Optimization and Scale-up”. John Wiley & Sons. Hoboken (NJ, USA), 2008.

Además de los textos básicos y complementarios, puntualmente, se podrá indicar a los estudiantes bibliografía específica para cada tema.



## IX.- EVALUACIÓN

Es obligatorio asistir a todas las tutorías dirigidas y a todas las actividades prácticas programadas en grupos reducidos, tanto en lo referente a los trabajos dirigidos como en lo que respecta a las prácticas de laboratorio. Para poder acceder a la evaluación final será necesario que el alumno haya participado al menos en el 70 % de las demás actividades presenciales (clases teóricas y seminarios). El rendimiento académico del alumno y la calificación final de la asignatura se computarán, de forma ponderada, atendiendo a los porcentajes que se muestran en cada uno de los aspectos recogidos a continuación. Este criterio se mantendrá en todas las convocatorias.

### ■ EXÁMENES ESCRITOS: 70%

Se realizarán dos exámenes: un examen final ordinario y otro extraordinario. Estos exámenes consistirán en un conjunto de cuestiones de desarrollo o aplicación directa de los conocimientos explicados a lo largo de la asignatura y de problemas numéricos similares a los ya comentados previamente.

Para aprobar cada examen, será necesario que el alumno obtenga, al menos, un 4 sobre 10 en cada parte del examen: cuestiones teóricas y problemas numéricos.

A las convocatorias extraordinarias solo podrán presentarse aquellos alumnos que hayan participado y superado el resto de actividades de la asignatura, habiendo satisfecho los mínimos de asistencia antes comentados.

Con los exámenes escritos se valorarán las competencias generales CG1, CG2, CG5 y CG11, las competencias específicas CE1, CE2 y CE3, y las competencias transversales CT1, CT3, CT4, CT6, CT7 y CT11.

### ■ TRABAJO PERSONAL Y ACTIVIDADES DIRIGIDAS: 30%

La evaluación del trabajo de aprendizaje individual realizado por el alumno y de las actividades dirigidas se hará teniendo en cuenta:

- La destreza del alumno en la resolución de los problemas y ejercicios propuestos, que se recogerán periódicamente en los seminarios.
- La evaluación de las tutorías y actividades prácticas, de asistencia obligatoria, y a las cuales serán citados los alumnos periódicamente a lo largo del cuatrimestre.
- Se evaluará la resolución de trabajos propuestos y de problemas numéricos por parte de pequeños grupos de estudiantes relativos a un número limitado de lecciones del temario. Se evaluará a cada estudiante en función del trabajo de grupo y de su aportación personal durante el desarrollo de las tutorías.
- Se evaluará el trabajo desarrollado y los informes realizados en las prácticas por cada alumno.
- Se evaluará la elaboración y presentación de trabajos encargados sobre temas y casos en estudio relacionados con la materia.

La evaluación de estos aspectos permitirá conocer el grado de consecución de las competencias generales CG1, CG2, CG5, CG10 y CG11, de las competencias específicas CE1, CE2, CE3 y CE8 y de las todas competencias transversales mencionadas en esta guía.



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
1. Bases del diseño de reactores químicos	Teoría	2	1	1ª semana	1ª semana
	Seminario	-	-	-	-
2. Análisis de Redes de reacciones químicas	Teoría	2	1	1ª semana	2ª semana
	Seminario	-	-	-	-
3. Reacciones gas-líquido y líquido-líquido	Teoría	2	1	2ª semana	2ª semana
	Seminario	1	-	3ª semana	3ª semana
4. Reacciones gas-líquido-sólido y líquido-líquido-sólido	Teoría	3	1	3ª semana	4ª semana
	Seminario	1	1	4ª semana	4ª semana
5. Análisis de bioprocesos y biorreactores	Teoría	3	1	4ª semana	5ª semana
	Seminario	-	-	-	-
6. Procesos enzimáticos	Teoría	6	1	5ª semana	7ª semana
	Seminario	2	1	7ª semana	8ª semana
7. Procesos con microorganismos y células	Teoría	7	1	8ª semana	10ª semana
	Seminario	2	1	10ª semana	11ª semana
8. Diseño de Biorreactores	Teoría	4	1	11ª semana	12ª semana
	Seminario	4	1	12ª semana	13ª semana
9. Reacciones y reactores de polimerización	Teoría	5	1	14ª semana	15ª semana
	Seminario	1	1	15ª semana	15ª semana
10. Reacciones y reactores electroquímicos, fotoquímicos y sonoquímicos	Teoría	5	1	15ª semana	16ª semana
	Seminario	0	1	-	-
11. Reactores nucleares	Teoría	3	1	17ª semana	17ª semana
	Seminario	0	1	-	-
<b>TUTORÍAS</b>					
Tutorías	Teoría	1	3		
	Seminario	1	3		



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
<b>Clases de teoría</b>	CG5 y CG11 CE1 y CE8 CT1, CT3, CT4, CT6 y CT7	Exposición de conceptos teóricos.	Atención y participación activa en el desarrollo de la clase.	Exámenes escritos.				
<b>Seminarios</b>	CG1, CG2 y CG5 CE1, CE2 y CE3 CT1, CT2, CT3, CT4, CT6 y CT11	Planteamiento y resolución de ejercicios y problemas. Conferencias.	Discusión y resolución de las cuestiones y problemas propuestos. Elaboración por escrito de problemas numéricos.	Calificación de las respuestas (planteamiento y resultado) realizadas por escrito para la resolución de ejercicios prácticos y problemas numéricos.	45	67,5	112,5	10%
<b>Tutorías programadas y trabajos dirigidos</b>	CG1, CG2, CG3, CG4 y CG11 CE1, CE2, CE3 y CE8 CT1, CT2, CT3, CT4, CT6, CT7 y CT11	Propuesta de trabajos y prácticas de laboratorio. Dirección y supervisión del estudio y actividades del alumno.	Lectura y discusión de artículos técnicos de actualidad. Elaboración por escrito de un trabajo en grupo. Elaboración de informes de práctica individuales.	Valoración de la participación activa y del trabajo realizado por cada estudiante y por el grupo.	36	54	90	20%
<b>Exámenes</b>	CG1, CG2, CG5 y CG11 CE1, CE2 y CE3 CT1, CT3, CT4, CT6, CT7,y CT11	Elaboración, vigilancia y corrección del examen. Calificación del alumno.	Preparación y realización del examen.	Calificación del examen.	9	13,5	22,5	70%
<b>P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación</b>								