



# Guía Docente: Escenarios 1, 2 y 3

## OPERACIONES AVANZADAS DE SEPARACIÓN

---



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**CURSO 2021-2022**

## ESCENARIO 1. PRESENCIAL

### I.- IDENTIFICACIÓN

<b>NOMBRE DE LA MATERIA:</b>	<b>Campos de Aplicación de la Ingeniería Química</b>
<b>CARÁCTER:</b>	<b>Optativa</b>
<b>MÓDULO:</b>	<b>Ingeniería de Procesos y Productos</b>
<b>TITULACIÓN:</b>	<b>Máster en Ingeniería Química</b>
<b>SEMESTRE/CUATRIMESTRE:</b>	<b>Segundo semestre (primer curso)</b>
<b>DEPARTAMENTO/S:</b>	<b>Ingeniería Química</b>

#### PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo Único	
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> LOURDES CALVO GARRIDO <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-111 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:lcalvo@ucm.es">lcalvo@ucm.es</a>
Teoría Seminario Tutoría	<b>Profesor:</b> JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-144 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:jadeldob@ucm.es">jadeldob@ucm.es</a>
Laboratorio	<b>Profesor:</b> LOURDES CALVO GARRIDO <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-111 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:lcalvo@ucm.es">lcalvo@ucm.es</a> <b>Profesor:</b> JOSÉ ANTONIO DELGADO DOBLADEZ <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QA-144 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:jadeldob@ucm.es">jadeldob@ucm.es</a> <b>Profesor:</b> MARCOS LARRIBA MARTÍNEZ <b>Departamento:</b> Ingeniería Química <b>Despacho:</b> QP-B07 <b>e-mail:</b> <a href="mailto:marcoslarriba@ucm.es">marcoslarriba@ucm.es</a>

### II.- OBJETIVOS

#### ■ OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta asignatura es que el alumno comprenda los fundamentos físico-químicos de procesos de separación avanzados de utilidad industrial, sea capaz de diseñarlos, conozca sus principales campos de aplicación actuales, y pueda evaluar nuevos campos de aplicación.

### ■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comprender los fundamentos físico-químicos de procesos de separación avanzados de utilidad industrial.
- Diseñar procesos de separación avanzados de utilidad industrial.
- Conocer los principales campos de aplicación actuales de procesos de separación avanzados, y poder evaluar nuevos campos de aplicación

## III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

### ■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Nociones básicas de operaciones de separación

### ■ RECOMENDACIONES:

Se recomienda haber realizado los estudios necesarios para obtener el Grado en Ingeniería Química.

## IV.- CONTENIDOS

### ■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Principios básicos de la separación con membranas. Módulos de membranas. Diseño de módulos de membranas para permeación de gases.

Separaciones por adsorción. Fundamentos de adsorción. Equilibrio y cinética. Modelado de procesos de adsorción. Ciclos de adsorción con cambio de presión (ciclos PSA): principios básicos. Comparación de separaciones de gases con membranas y PSA. Manejo de simuladores de ciclos PSA.

Procesos con Fluidos Supercríticos. Propiedades de los Fluidos Supercríticos como disolventes. Métodos de separación del disolvente y soluto y ciclo del disolvente. Aplicaciones comerciales en: a) Extracción; b) Técnicas de formación de partículas; c) Reacciones: síntesis y descontaminación; d) Impregnación; e) Limpieza y desinfección. Equipos, seguridad y costes.

### ■ PROGRAMA:

#### **BLOQUE TEMÁTICO I. PROCESOS DE SEPARACIÓN AVANZADOS CON MEMBRANAS Y DE ADSORCIÓN**

##### **Tema 1: Separaciones con membranas**

Conceptos básicos. Módulos de membranas. Patrones de flujo. Cascadas de separadores con membranas. Permeación de gases. Diseño de módulos de membranas para permeación de gases.

##### **Tema 2: Fundamentos de la adsorción**

Introducción. Separaciones basadas en el equilibrio o en la cinética. Criterios a considerar en la elección de un adsorbente. Adsorbentes comerciales y aplicaciones. Nuevos adsorbentes y aplicaciones futuras. Equilibrio de adsorción de gases puros. Fuerzas y energías de adsorción. Modelos teóricos para describir el equilibrio de adsorción. Modelos empíricos para la adsorción de gases puros. Equilibrio de adsorción de mezclas de gases.

### **Tema 3. Modelado de procesos de adsorción**

Cinética de adsorción. Modelado de la adsorción en tanque agitado. Cinética de adsorción en lecho fijo. Aproximación LDF (Linear Driving Force). Modelado de la adsorción en lecho fijo. Ciclos de adsorción con cambio de presión (ciclos PSA): principios básicos. Comparación de separaciones de gases con membranas y PSA. Manejo de simuladores de ciclos PSA (PSASIM®). Procesos en Lecho Móvil Simulado (ciclos SMB): principios básicos. Manejo de simuladores de ciclos SMB (SMBSIM©).

## **BLOQUE TEMÁTICO II. PROCESOS AVANZADOS CON FLUIDOS SUPERCRÍTICOS**

### **Tema 4. Fluidos Supercríticos y propiedades como disolventes**

Definición de Fluido Supercrítico. Propiedades termodinámicas: densidad. Solubilidad en disolventes supercríticos. Efecto de la adición del modificador. Propiedades de transporte: viscosidad, conductividad térmica, coeficiente de difusión. Parámetro de solubilidad. Ventajas y desventajas de los fluidos supercríticos como disolventes.

### **Tema 5. Métodos de recuperación del soluto y ciclo del disolvente**

Métodos de separación del disolvente y soluto. Separaciones por reducción en el poder disolvente. Separaciones utilizando un agente separador. Ciclo del disolvente. Modo compresor y modo bombeo. Seguimiento y estimación de costes energéticos en diagrama presión-entalpía.

### **Tema 6. Extracción de matrices sólidas**

Proceso. Fundamentos. Curvas de extracción. Variables de operación. Adición de modificadores. Modelado. Operación en continuo y contracorriente. Aplicaciones en la extracción de compuestos de alto valor añadido y en la eliminación de impurezas. Limpieza en seco de textiles. Equipos. Costes.

### **Tema 7. Fraccionamiento de corrientes líquidas**

Proceso. Ventajas. Aplicaciones. Consideraciones de diseño. Modelado: altura de la columna. Relación de reflujo. Cálculo del diámetro de la columna y capacidad. Caída de presión. Ciclo del disolvente. Costes. Cromatografía supercrítica. Fundamentos. Aplicaciones. Procesos a escala preparativa.

### **Tema 8. Técnicas de micronización y encapsulación para la formación de micro y nano-materiales.**

Oportunidad tecnológica. Termodinámica y equilibrio de fases. Descripción de los procesos. Expansión rápida de una disolución supercrítica. Formación de partículas a partir de una disolución saturada gaseosa. Precipitación mediante un antidisolvente supercrítico. Impregnación. Descripción de los procesos. Modificaciones de estas técnicas para encapsulación y micronización. Aplicaciones.

### **Tema 9. Procesos de impregnación comerciales**

Maderas con biocidas. Textiles con tintes. Piel con CrIII. Descripción de los procesos. Desarrollo comercial.

### **Tema 10. Reacciones en agua supercrítica**

I. Reacciones de hidrólisis e hidrotermales. II. Oxidación en agua supercrítica. Propiedades agua supercrítica. Ventajas como disolvente. Descripción de los procesos. Tipos de reactores. Separación de sales. Corrosión. Materiales de Construcción. Procesos comerciales.

### **Tema 11. Síntesis en CO<sub>2</sub> supercrítico**

Obtención de amoníaco. Polimerización y copolimerización. Oxidación parcial e hidrogenación. Reacciones catalíticas. Síntesis enzimáticas. Descripción de los procesos. Ventajas. Aplicaciones.

### **Tema 12. Inactivación de microorganismos y enzimas mediante CO<sub>2</sub> a alta presión**

Fundamentos. Descripción de los procesos. Equipos. Comparación con tecnologías existentes. Grado de comercialización. Costes.

### **Tema 13. Diseño de instalaciones**

Selección de componentes. Equipos. Normativa. Seguridad.

## V.- COMPETENCIAS

### ■ GENERALES:

- **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.
- **CG-5:** 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.
- **CG-11:** 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:

- **CE-1:** 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.

- **CE-2:** 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.
- **CE-3:** 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.
- **CE-4:** Tener habilidad para solucionar problemas que son poco familiares, incompletamente definidos, y tienen especificaciones en competencia, considerando los posibles métodos de solución, incluidos los más innovadores, seleccionando el más apropiado, y poder corregir la puesta en práctica, evaluando las diferentes soluciones de diseño

### ■ TRANSVERSALES:

- **CT-1:** Desarrollar el trabajo de forma autónoma.
- **CT-5:** Elaborar y escribir informes y otros documentos de carácter científico y técnico.
- **CT-6:** Aplicar a entornos nuevos o poco conocidos, dentro de contextos multidisciplinares, los conceptos, principios, teorías o modelos relacionados con la Ingeniería Química.
- **CT-8:** Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos nuevos o pocos conocidos dentro de contextos multidisciplinares.
- **CT-9:** Comunicar conceptos científicos utilizando los medios audiovisuales más habituales, desarrollando las habilidades de comunicación oral. (he cambiado orden)
- **CT-10:** Utilizar herramientas y programas informáticos para el tratamiento y difusión de los resultados procedentes de la investigación científica y tecnológica.

## VI. – HORAS DE TRABAJO POR ACTIVIDAD

Actividad		Total (horas)	Presencialidad
			(%)
AF0	Trabajo autónomo	90	0
AF1	Clases teoría	25	100
AF3	Problemas	13	100
AF4	Prácticas	15	100
AF6	Tutorías	2	100
AF7	Evaluación	3	100
AF9	Conferencias	2	100

## VII.- METODOLOGÍA

El tiempo lectivo del curso se divide en clases teóricas, problemas, prácticas, tutorías y conferencias.

Las **clases teóricas** se desarrollarán en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los alumnos matriculados en la asignatura. Consistirán, de forma mayoritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrán conocimientos teóricos generales sobre la asignatura.

En las **clases de problemas** se aplicarán los conceptos vistos en las clases de teoría a la resolución de problemas concretos.

Se realizarán **prácticas** de laboratorio y de simulación para afianzar y completar el contenido teórico dado en la clase. Los resultados, así como la interpretación de los mismos deberán presentarse en un informe.

Se procurará invitar a expertos para que impartan **conferencias** en aspectos especializados del temario o en aplicaciones industriales.

En las **tutorías** se supervisará el progreso de los alumnos, resolviendo sus dudas sobre lo aprendido en las diferentes actividades.

Se utilizará el **Campus Virtual** como instrumento para poner a disposición de los alumnos el material que se utilizará en las clases teóricas y prácticas, y como medio de comunicación entre el profesor y los alumnos. Además, se colgarán las calificaciones de los trabajos, prácticas y exámenes

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA

- WANKAT, P.C.: Rate-controlled separations. Blackie Academic & Professional. 1994
- RUTHVEN, D. M.; FAROOQ, S.; KNAEBEL K. S., Pressure Swing Adsorption, Wiley-VCH (1994)
- YANG, R.T.; Adsorbents: Fundamentals and Applications, Wiley (2003)

## Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

- BRUNNER, G. *Gas extraction: an introduction to fundamentals of supercritical fluids and the application to separation processes*. Darmstadt: Steinkopff, Springer, 1994.
- BERTUCCO, A., VETTER, G. Eds. *High Pressure Process Technology: fundamentals and applications*. Industrial Chemistry Library, Elsevier, 2000.
- JESSOP, P.G., LEITNER, W. Eds. *Chemical Synthesis using Supercritical Fluids*. Wiley-VCH, Weinheim, 1999.
- MARTINEZ, J.L. *Supercritical fluid extraction of nutraceuticals and bioactive compounds*. CRC Press, 2008.

### IX.- EVALUACIÓN

La evaluación del rendimiento del alumno y de las competencias adquiridas en la asignatura se llevará a cabo mediante una evaluación global, que considerará los exámenes, tutorías, las actividades dirigidas y el trabajo personal efectuado por el alumno.

Para poder realizar la evaluación global de la asignatura y presentarse al examen final, el estudiante deberá haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría, seminarios y tutorías). La asistencia a todas las sesiones de prácticas es **obligatoria**.

El rendimiento académico y la calificación final serán el resultado de las calificaciones ponderadas de la siguiente forma:

Examen:	50-70%
Tutorías y actividades dirigidas:	10-30%
Prácticas de laboratorio:	10-30%

#### ■ EXAMEN ESCRITO:

Se realizará un examen escrito que consistirá en un conjunto de cuestiones conceptuales o de aplicación directa de teoría. Además, constará de problemas numéricos.

#### ■ ACTIVIDADES DIRIGIDAS:

En las actividades dirigidas, los alumnos deberán entregar un informe escrito sobre las actividades realizadas, siguiendo las instrucciones del profesor, para su evaluación. La calificación obtenida en estas actividades se mantendrá todo el curso. Es obligatoria la realización de las mismas y la entrega del informe.

#### ■ PRÁCTICAS:

Con el fin de fomentar el aprendizaje cooperativo se organizarán grupos reducidos.

La asistencia a todas las sesiones de laboratorio es **obligatoria**. La calificación obtenida en las prácticas se mantendrá todo el curso.

Las calificaciones de las actividades previstas para la evaluación de la asignatura 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 todo caso, se respetará el plazo mínimo de diez días entre la publicación de las calificaciones y la fecha del examen final de la asignatura.

PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

BLOQUE TEMÁTICO	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
<b>Bloque I. Procesos avanzados con membranas y adsorción</b>	Teoría y problemas	18	1	1ª semana	5ª semana
	Laboratorio	11	2	7ª semana	8ª semana
	Tutoría	1	1	8ª semana	8ª semana
<b>Bloque II. Procesos avanzados con fluidos supercríticos</b>	Teoría y problemas	26	1	9ª semana	15ª semana
	Laboratorio	3	2	14ª semana	15ª semana
	Tutoría	1	1	15ª semana	15ª semana

## Guía Docente: Operaciones Avanzadas de Separación

### RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Clases de teoría y problemas	CG-2, CG-5, CG-10, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-6, CT-10	Explicación en clase	Toma de apuntes. Atender y participar activamente	Examen	35	37,5	72,5	-
Laboratorios	CG-2, CG-5, CG-10, CG-11, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10	Asesoramiento de los alumnos en los casos prácticos	Obtener datos, resumirlos e interpretarlos en una memoria escrita	Evaluación del informe entregado	15	11,25	26,25	10-30%
Conferencias	CG-11, CE-3	Definición de la temática, búsqueda de los expertos y organización de la conferencia	Atender y participar activamente realizando preguntas	Preguntas breves y/o prueba test	2	-		2-5%
Tutorías	CG-2, CG-5, CG10, CG-11, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10	Supervisión del progreso de los alumnos. Resolución de dudas. Recomendación de material de apoyo.	Preparación de las preguntas para el profesor, asimilación y aplicación de las explicaciones recibidas	Preguntas breves y/o prueba test	2	3	5	5-10%
Exámenes	CG-2, CG-5, CG10, CE-1, CE-2, CE-3, CE-4, CT-1, CT-5, CT-6, CT-10	Proponer, vigilar y corregir el examen. Calificar al alumno	Estudiar y realizarlo	Examen sobre los contenidos expuestos en las clases teóricas y de problemas	2	3	5	50-70%

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

## ESCENARIO 2. SEMIPRESENCIAL

### VII.- METODOLOGÍA

- **Clases de teoría y seminarios** impartidos por el profesor en el régimen habitual, como en el Escenario 1, y con el mismo contenido. Atendiendo al principio de *máxima presencialidad* aprobado por el Rectorado de la UCM, la sesión será seguida presencialmente por los alumnos en el aula, hasta aforo completo considerando distancia social. Los alumnos ubicados en aulas provistas de cámaras, y que no quepan en el aula, seguirán la sesión virtualmente, bien desde su domicilio o en las zonas de uso público habilitadas por la Facultad para este fin, que estarán debidamente publicitadas en el CV. Para las aulas que no tienen cámara, se establecerá un turno rotatorio de alumnos presenciales en el aula, atendiendo a la numeración del DNI. Este procedimiento podrá ser modificado por el profesor a lo largo del curso, según considere oportuno, para ir ajustando el aforo del aula con los estudiantes asistentes a su clase.
  - El material docente utilizado será las presentaciones de clase habilitadas en el Campus Virtual UCM empleadas también en el Escenario 1, así como vídeos relacionados con la materia y otros tipos de materiales que los profesores de la asignatura consideran de relevancia e interés. Todo el material estará con antelación a disposición de los estudiantes a través del Campus Virtual para su utilización.
  - Los medios telemáticos utilizados para que los alumnos sin presencialidad en el aula sigan virtualmente las sesiones serán las plataformas: Teams disponible en el CV, Google Meet, Microsoft Teams o Zoom. El profesor mantendrá abierta una sesión de este tipo para mantener una relación directa y fluida con los estudiantes que asisten virtualmente, pudiendo así proyectarse simultáneamente la presentación .ppt y seguir las tradicionales explicaciones que se den en la pizarra.
- **Prácticas de laboratorio** previstas con una presencialidad general mínima del 60% para poder cumplir con la distancia social necesaria. Atendiendo a las particularidades de cada práctica, si es posible en algún caso la presencialidad podrá verse modificada ligeramente. El procedimiento experimental se desarrollará de forma presencial. En los casos en los que esto no pueda ser viable se prevé la utilización de material grabado o de videos comerciales. El material docente empleado será el mismo que el utilizado en el Escenario 1, además de material escrito en forma de manuales, resultados numéricos y gráficos y/o presentaciones en PowerPoint acompañadas de explicaciones. Todo el material estará a disposición de los alumnos con antelación a través del Campus Virtual

### IX.- EVALUACIÓN

Se realizarán exámenes presenciales con el procedimiento descrito en el Escenario 1

## ESCENARIO 3. TOTALMENTE VIRTUAL

### VII.- METODOLOGÍA

- **Clases de teoría y seminario** que serán impartidas de forma combinada en sesiones: (a) síncronas, en el horario oficial establecido y (b) asíncronas.
  - El material docente utilizado será las presentaciones de clase habilitadas en el Campus Virtual UCM empleadas también en los Escenarios 1 y 2, presentaciones PowerPoint acompañadas de grabaciones de voz donde se incluyen las explicaciones necesarias como si fuese una clase presencial, así como vídeos relacionados con la materia y otros tipos de materiales que los profesores de la asignatura consideran de relevancia e interés. Como en los Escenarios anteriores, todo el material estará con antelación a disposición de los estudiantes a través del Campus Virtual para su utilización.
  - Los medios telemáticos utilizados serán las plataformas ya mencionadas en el Escenario 2: Teams disponible en el CV, Google Meet, Microsoft Teams o Zoom.
- **Prácticas de laboratorio** que se desarrollarán como en el Escenario 2, pero el procedimiento experimental presencial será reemplazado por distintas posibles alternativas: material escrito a modo de tutorial donde se describa detalladamente el procedimiento, grabaciones previas de los experimento y videos de experiencias similares que garanticen la adquisición de las habilidades y competencias.
- **Las tutorías individuales** se realizarán como en el Escenario 2.
- **Seguimiento del alumnado**  
Se realizará igual que lo descrito en el Escenario 2 para la docencia virtual.

### IX.- EVALUACIÓN

#### DESCRIPCIÓN DEL PROTOCOLO DE EVALUACIÓN

- **Identificación de estudiantes:**  
La identificación de los alumnos que realicen el examen se llevará a cabo a través de: (i) entrada al Campus Virtual para poder visualizar los enunciados del examen, (ii) imagen de video a través de Google Meet o Teams (desde la cámara del ordenador o del móvil), y (iv) posible comprobación telemática a lo largo del examen por parte del profesor.
- **Tipo de examen:**  
El examen se diseñará en el Campus Virtual (Moodle) a través de la herramienta de Tareas.
- **Seguimiento de estudiantes durante la prueba:**  
Durante la realización de la prueba, los alumnos deberán tener conectada una cámara (del ordenador o del móvil) de forma que se vea la mesa y pantalla de ordenador que están utilizando.
- **Revisión de exámenes:**  
Los estudiantes que deseen revisión se pondrán en contacto con los profesores de su grupo mediante correo electrónico y se establecerá el horario de revisión individual mediante Teams/Google Meet. El estudiante conservará copia de los ficheros PDF enviados como

respuesta del examen para facilitar la revisión. Por otra parte, el profesor podrá requerir del alumno la revisión y discusión interactiva de su examen dentro del plazo que se establezca para la revisión y que se notificará en el CV.

- **Mecanismo empleado para la documentación/grabación de las pruebas de evaluación para su posterior visualización y evidencia:**

El profesor conservará los ficheros (en el formato electrónico que se especifique) del ejercicio de examen enviados por el estudiante, con las calificaciones parciales que estime oportunas. Además, si se estima oportuno, se podrá proceder a la grabación de la sesión del examen, con las limitaciones establecidas por la UCM, para posterior revisión si fuera necesario. Dicha grabación, de efectuarse, se almacenará con las medidas de seguridad necesarias en equipos de UCM y será eliminada pasado el tiempo de revisión.