

**Ampliación de Operaciones de Separación**

Código: 102401  
Créditos ECTS: 9

Titulación	Tipo	Curso	Semestre
2500897 Ingeniería Química	OT	4	1

**Contacto**

Nombre: José Luis Montesinos Seguí  
Correo electrónico: joseluis.montesinos@uab.cat

**Uso de idiomas**

Lengua vehicular mayoritaria: catalán (cat)  
Algún grupo íntegramente en inglés: No  
Algún grupo íntegramente en catalán: Sí  
Algún grupo íntegramente en español: No

**Prerequisitos**

Se recomienda haber asimilado los conceptos básicos y fundamentos de las asignaturas: Operaciones de Separación, Transmisión de calor, Aplicaciones Informáticas y Simulación de Procesos Químicos.

**Objetivos y contextualización**

En esta asignatura se tratan operaciones de separación basadas en la transferencia de materia, tanto de equilibrio como controladas por la velocidad de transferencia. En concreto, la Humidificación, Adsorción, Intercambio iónico, Cromatografía y separaciones mediante Membranas. En todo momento se intenta hacer un desarrollo de cada bloque de manera acumulativa respecto las operaciones de separación que el/la alumno/a ya conoce, utilizando los conceptos de equilibrio, velocidad de transferencia, coeficientes de transporte, sistemas en contracorriente, en flujo cruzado, etc., y haciendo una síntesis de los conceptos comunes entre todas ellas. El/la alumno/a deberá conocer finalmente los conceptos básicos de estas operaciones y los diferentes métodos y aplicaciones como base necesaria sobre tecnologías de separación en su *currículum*.

**Competencias**

- Actitud personal
- Analizar, evaluar, diseñar y operar sistemas o procesos, equipos e instalaciones propias de la Ingeniería Química de acuerdo con determinados requerimientos, normas y especificaciones bajo los principios del desarrollo sostenible.
- Comprender y aplicar los principios básicos en que se fundamenta la Ingeniería Química, y más concretamente: Balances de materia, energía y cantidad de movimiento. Termodinámica, equilibrio entre fases y equilibrio químico. Cinética de los procesos físicos de transferencia de materia, de energía y de cantidad de movimiento, y cinética de la reacción química.
- Demostrar que comprende el rol de la Ingeniería Química en la prevención y solución de problemas medioambientales y energéticos, de acuerdo con los principios del desarrollo sostenible.
- Demostrar que conoce las diferentes operaciones de reacción, separación, procesamiento de materiales y transporte y circulación de fluidos involucradas en los procesos industriales de la Ingeniería Química.
- Hábitos de pensamiento
- Hábitos de trabajo personal
- Ética y profesionalidad

## Resultados de aprendizaje

1. Aplicar los fundamentos científicos y tecnológicos de equilibrio, transferencia de materia y las operaciones de separación.
2. Concebir y evaluar alternativas y realizar cálculos de diseño y operación en procesos de separación de mezclas binarias y multicomponentes gobernados por el equilibrio y la velocidad de transferencia.
3. Contribuir al bienestar de la sociedad y al desarrollo sostenible.
4. Desarrollar el pensamiento sistémico.
5. Desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.
6. Desarrollar la curiosidad y la creatividad.
7. Evaluar de forma crítica el trabajo realizado.
8. Generalizar los conceptos de análisis y diseño de operaciones de separación para su aplicación a diferentes operaciones de la industria de procesos.
9. Generar propuestas innovadoras y competitivas en la actividad profesional.
10. Gestionar el tiempo y los recursos disponibles. Trabajar de forma organizada.
11. Gestionar la información incorporando de forma crítica las innovaciones del propio campo profesional, y analizar las tendencias de futuro.
12. Solucionar problemas medioambientales mediante la aplicación de diferentes operaciones de separación tanto en proceso como a final del proceso.
13. Trabajar de forma autónoma.
14. Trabajar en entornos complejos o inciertos y con recursos limitados.

## Contenido

### TEMA 0.- INTRODUCCIÓN

Operaciones de separación basadas en la transferencia de materia. Equilibrio entre fases. Velocidad de transferencia. Configuraciones. Sistemas multietapa.

### TEMA 1.- HUMIDIFICACIÓN

- 1.1. Introducción
- 1.2. Definiciones i nomenclatura
- 1.3. Equilibrio entre fases
- 1.4. Temperatura de saturación adiabática ( $T_s$ )
- 1.5. Mesura de la humedad, temperatura de termómetro húmedo ( $T_w$ )
- 1.6. Diagrama psicrométrico
- 1.7. Teoría y cálculo de torres de refrigeración
  - 1.7.1. Ecuaciones y balances en una torre de refrigeración
  - 1.7.2. Estimación de la temperatura del gas de salida

### TEMA 2.- ADSORCIÓN

- 2.1. Introducción. Definición y tipos
- 2.2. Adsorbentes
- 2.3. Equilibrio de adsorción. Isotermas de adsorción. Modelos de adsorción
- 2.4. Operaciones de adsorción por etapas

2.4.1. Flujo cruzado

2.4.2. Contracorriente

2.5. Operaciones y equipos de adsorción de contacto continuo

2.5.1. Lecho fijo

2.5.2. Lecho móvil

2.5.3. Lecho fluidizado

### TEMA 3.- INTERCAMBIO IÓNICO

3.1. Principios del intercambio iónico

3.2. Resinas intercambiadoras de iones

3.2.1. Estructura física

3.2.2. Estructura química. Matriz polimérica

3.2.3. Grupos funcionales

3.3. Equilibrio iónico entre fases S-L

3.4. Velocidad de intercambio

3.5. Tipos de operaciones de intercambio iónico

3.5.1. Contracorriente

3.5.2. Lecho fijo

3.6. Técnicas y aplicaciones

3.6.1. Ablandamiento de aguas. Descalcificación

3.6.2. Desmineralización total. Desionización

3.6.3. Tratamiento de residuos y recuperación de iones metálicos

3.6.4. Cromatografía

### TEMA 4.- CROMATOGRFÍA

4.1. Introducción. Tipos, nomenclatura y definiciones

4.1.1. Teoría de la retención

4.1.2. Eficacia de separación

4.2. Flujo continuo de portador

4.2.1. Modelos de dispersión

4.2.2. Modelos de etapas de equilibrio

4.2.3. Solución Gaussiana

### TEMA 5.- MEMBRANAS

5.1. Fundamentos y tipos de procesos de membranas

## 5.2. Microfiltración

## 5.3. Osmosis, Osmosis inversa y Ultrafiltración

### 5.3.1. Osmosis inversa

### 5.3.2. Ultrafiltración

### 5.3.3. Configuración de sistemas de membranas

### 5.3.4. Polarización de la concentración

## 5.4. Diálisis

## 5.5. Electrodialisis

## 5.6. Módulos de membrana

## 5.7. Equipos y aplicaciones

### 5.7.1. Recuperación de iones metálicos. Electrodialisis

### 5.7.2. Reciclado de baños de desengrase

### 5.7.3. Separación de enzimas producidos por fermentación

### 5.7.4. Desalinización

### 5.7.5. Hemodialisis

### 5.7.6. Recuperación y preparación de un alga como alimento

## Metodología

***La metodología docente y la evaluación propuestas pueden experimentar alguna modificación en función de las restricciones a la presencialidad que impongan las autoridades sanitarias.***

Estrategias docentes: Clase magistral-expositiva/Respuesta a preguntas. Seminarios. Tutorías en grupo e individuales. Resolución de problemas en clase y propuesta de problemas a resolver.

Clases expositivas y talleres: los estudiantes reciben un conjunto de, por un lado, conceptos teóricos y, por otro lado, habilidades prácticas para resolver ejemplos o problemas fáciles. Este aprendizaje proporcionará los conceptos básicos para comprender el curso y la resolución de problemas. En las sesiones tipo taller de trabajo los alumnos practicarán los conceptos y habilidades adquiridas durante las conferencias. Los grupos pequeños facilitarán la participación de los estudiantes en el proceso de resolución de problemas.

Seminarios específicos: En estas sesiones los estudiantes recibirán conceptos más prácticos y específicos adquiridos durante las conferencias. Se enfatiza la presentación de casos, promoviendo la participación de los estudiantes en la discusión de conceptos y alternativas.

Medios de soporte a la docencia: Entornos de comunicación: Fórum virtual. Correo-e. Materiales de estudio y documentación. Material estructurado: dosieres, ejercicios, etc... Bibliografía y otros materiales complementarios on-line. Otros recursos docentes: Software específico con finalidad docente opcional.

Nota: se reservarán 15 minutos de una clase dentro del calendario establecido por el centro o por la titulación para que el alumnado rellene las encuestas de evaluación de la actuación del profesorado y de evaluación de la asignatura o módulo.

## Actividades

Título	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
Tipo: Dirigidas			
Clases magistrales	44	1,76	1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 12
Prácticas de aula (Resolución Problemas)	19	0,76	1, 2, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 14
Seminarios	4	0,16	1, 2, 6, 12
Tipo: Supervisadas			
Realización de trabajos teóricos, problemas y de simulación por ordenador	8	0,32	1, 2, 6, 8, 11, 12, 14
Tutorías de soporte	4	0,16	1, 7, 2, 4, 6, 8, 9, 11
Tipo: Autónomas			
Estudio	73	2,92	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Resolución de problemas	63	2,52	1, 7, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Tutorías con el profesor	2	0,08	1, 7, 2, 8, 12

## Evaluación

La metodología docente y la evaluación propuestas pueden experimentar alguna modificación en función de las restricciones a la presencialidad que impongan las autoridades sanitarias.

Para considerar superada la asignatura será necesario obtener una nota global mínima de 50/100.

### a) Proceso de evaluación y actividades programadas

La evaluación continuada se realizará considerando una serie de actividades:

- Problemas, trabajos y ejercicios (PTE): 25 % nota
- 1ª prueba parcial (PP1) (tema 1): 10 % nota.
- 2ª prueba parcial (PP2) (temas 2 a 4): 10 % nota.
- 3ª prueba parcial (PP3) (tema 5): 10 % nota.
- Prueba de síntesis (PS) (temas 1 a 5): 45 % nota.

Los problemas, trabajos y ejercicios (PTE) se harán individualmente o en grupo y podrán ser problemas de la lista de la asignatura o no, estudio de casos específicos y actividades basadas en conceptos teóricos clave de los temas correspondientes.

Las pruebas parciales (PP1, PP2 y PP3) consistirán en un problema corto y conceptos teóricos de los temas correspondientes (1h). La prueba de síntesis (PS) incluirá todo el contenido de la asignatura y consistirá en una parte teórica y otra con tres problemas (5h).

En las pruebas parciales y los problemas de la prueba de síntesis se podrá utilizar material de apoyo tipo: apuntes, libros, formularios, problemas resueltos, ordenador, herramientas de cálculo, etc ... En la parte de teoría de la prueba de síntesis no se podrá utilizar ningún tipo de material adicional a menos que sea indicado por el profesor.

#### b) Programación de actividades de evaluación

La programación de las actividades de evaluación y entrega de trabajos se publicarán en la Plataforma virtual correspondiente (Moodle) y pueden estar sujetos a posibles cambios de programación por motivos de adaptación a posibles incidencias. Siempre se informará en la Plataforma virtual correspondiente sobre estos cambios, ya que se entiende que esta es la plataforma habitual de intercambio de información entre profesores y estudiantes.

No se realizarán exámenes en fechas, horarios y lugares diferentes a los que se programen y difundan por la coordinación de titulación/Escuela de Ingeniería. No se podrá introducir ningún cambio sin la aprobación de la coordinación de la titulación. Transcurridos 30 min de la hora programada de la actividad de evaluación, si no se ha iniciado se cancelará. Las actividades canceladas se reprogramarán.

#### c) Proceso de recuperación

Los/las estudiantes que hayan suspendido la evaluación continuada o quieran subir la nota podrán hacer la prueba final de recuperación (PR 75%) de todas las pruebas parciales y de síntesis, no sólo de alguna de las pruebas. Deberán haber sido evaluados/as de un conjunto de actividades que representen un mínimo de 2/3 partes de la calificación total de la asignatura. Al presentarse a esta prueba final de recuperación renuncian a la nota de todas las pruebas parciales y de síntesis.

La prueba final incluirá todo el contenido de la asignatura y consistirá en una parte teórica y otra con tres problemas (5h). En los problemas de la prueba final se podrá utilizar material de apoyo tipo: apuntes, libros, formularios, problemas resueltos, ordenador, herramientas de cálculo, etc ... En la parte de teoría de la prueba final no se podrá utilizar ningún tipo de material adicional a menos que sea indicado por el profesor. En caso de no presentarse a la prueba final la calificación de la asignatura será la de la evaluación continua.

#### d) Procedimiento de revisión de las calificaciones

Para cada actividad de evaluación, se indicará en la Plataforma virtual correspondiente (Moodle) un lugar, fecha y hora de revisión en la que el estudiante podrá revisar la actividad con el profesor.

#### e) Calificaciones especiales

Otorgar una calificación de Matrícula de Honor (MH), aparte de la nota mínima que puede dar acceso ( $\geq 9.00$ ), es decisión del profesorado responsable de la asignatura que tendrá en cuenta la proactividad hacia la asignatura, la comprensión de los fundamentos y su relación con otras asignaturas y la fluidez, fiabilidad y expresión de los razonamientos. Se tendrá especial cuidado con la parte teórica de las pruebas de síntesis y final. Se podrán conceder las MH resultantes de calcular el 5% o fracción de personas matriculadas. Se considerará No Evaluable (NA) si los/las estudiantes no han sido evaluados/as de un conjunto de actividades que representen un mínimo de 2/3 partes de la calificación total de la asignatura.

#### f) Irregularidades por parte del alumnado, copia y plagio

En el caso que el estudiante realice cualquier irregularidad que pueda conducir a una variación significativa de la calificación de un acto de evaluación, se calificará con un 0 este acto de evaluación, con independencia del proceso disciplinario que se pueda instruir. Esta actividad de evaluación no será recuperable. El profesor responsable de la asignatura tendrá que informar de estos casos a la coordinación de la titulación que registrará el hecho.

#### g) Evaluación del alumnado repetidor

A partir de la segunda matrícula, el estudiante/a podrá optar por hacer de nuevo la evaluación continuada o una prueba de síntesis que será la misma prueba (igual fecha y horario) que la de síntesis (PS) para los estudiantes de primera matrícula. Lo tendrá que comunicar por e-mail al profesor dentro de los primeros 15 días de curso. De este modo, la calificación de la asignatura corresponderá o bien a la evaluación continuada o tan solo a la nota de esta prueba de síntesis (PS 100 %), en sustitución de la evaluación continuada a todos los efectos. También podrá hacer una prueba final de recuperación (PR 75% o 100%), de acuerdo con las restricciones y condiciones de la modalidad que haya escogido, y será la misma prueba (igual fecha y horario) que la de recuperación (PR 75%) para los/las alumnos/as de primera matrícula.

### Actividades de evaluación

Título	Peso	Horas	ECTS	Resultados de aprendizaje
--------	------	-------	------	---------------------------

Entrega y presentación de problemas, actividades y ejercicios	25 %	0	0	1, 7, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Prueba de síntesis	45 %	5	0,2	1, 7, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14
Pruebas parciales	30 %	3	0,12	1, 7, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14

## Bibliografía

- Coulson, J.M., Richardson, J.F. Chemical Engineering. Vol 2. Particle Technology and Separation Processes. 5<sup>th</sup> ed. Butterworth-Heinemann Ltd. UK. (2002). Dig Print 2015.
- Geankoplis, C. J., Hersel, A.A., Lepek, D.H. Transport Processes and Separation Process Principles. 5<sup>th</sup> ed. Prentice Hall PTR. USA (2018).
- McCabe, W. Unit operations of chemical engineering. 7<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Education. UK. (2005).
- Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8<sup>th</sup> ed. McGraw-Hill Education. USA. (2008). ebook
- Wankat, P. Ingeniería de procesos de separación (2a. ed.). Pearson Educación. (2008). ebook.
- Wankat, Ph. C. Separation process engineering: includes mass transfer analysis.(4th ed). Boston: Prentice Hall (2016).

## Software

- Pal, Nirupam & Siletti, Charles & Petrides, Demetri. (2008). Superpro Designer: An Interactive Software Tool for Designing and Evaluating Integrated Chemical, Biochemical, and Environmental Processes.