



# Guía Docente:

## INGENIERÍA DE PROCESOS AVANZADOS PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS

---



**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**CURSO 2023-2024**



**I.- IDENTIFICACIÓN**

**NOMBRE DE LA ASIGNATURA:** Ingeniería de procesos avanzados para la depuración de aguas

**CARÁCTER:** Optativa

**MATERIA:** Campos de aplicación de la Ingeniería Química

**MÓDULO:** Modulo de Ingeniería de Procesos y Producto

**TITULACIÓN:** Máster en Ingeniería Química

**SEMESTRE/CUATRIMESTRE:** Primer semestre (Primer cuatrimestre)

**DEPARTAMENTO/S:** Ingeniería Química y de Materiales

**PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:**

<b>Grupo A</b>	
<b>Teoría Seminario Tutoría</b>	<p><b>Profesora:</b> ARACELI RODRIGUEZ RODRÍGUEZ  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-149  <b>e-mail:</b> arodri@ucm.es</p>
	<p><b>Profesor:</b> SILVIA ÁLVAREZ TORRELLAS  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-143  <b>e-mail:</b> satorrellas@ucm.es</p>
	<p><b>Profesor:</b> JAIME CARBAJO OLLEROS  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-145  <b>e-mail:</b> jaime.carbajo@ucm.es</p>
	<p><b>Profesor:</b> JUAN GARCÍA RODRÍGUEZ  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-150  <b>e-mail:</b> jgarciar@ucm.es</p>
<b>Laboratorio</b>	<p><b>Profesor:</b> JAIME CARBAJO OLLEROS  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-145  <b>e-mail:</b> jaime.carbajo@ucm.es</p>
	<p><b>Profesor:</b> JUAN GARCÍA RODRÍGUEZ  <b>Departamento:</b> Ingeniería Química y de Materiales  <b>Despacho:</b> QA-150  <b>e-mail:</b> jgarciar@ucm.es</p>



## II.- OBJETIVOS

### ■ OBJETIVO GENERAL

Capacitación para seleccionar el tratamiento aplicable a un tipo de agua para adecuarla a un uso. Evaluar los cálculos básicos de dimensionamiento de equipos.

### ■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer la problemática y las características de las aguas residuales industriales, así como el concepto de contaminantes emergentes.
- Describir los tipos principales de tratamientos específicos para la eliminación de contaminantes de origen industrial: procesos químicos y físicos.
- Conocer las diferentes formas de sintetizar y caracterizar materiales para su aplicación como soportes catalíticos y adsorbentes en el tratamiento de aguas.
- Analizar procesos completos de depuración de efluentes industriales que incluya los tratamientos descritos.
- Describir y explicar los términos y conceptos básicos relativos al tratamiento biológico de agua residual, su diseño y funcionamiento.
- Dimensionar las instalaciones para cualquier proceso de tratamiento biológico de agua residual.
- Modelizar los procesos de tratamiento biológico de agua residual, identificando en cada caso las variables, procesos y elementos de interés.

## III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

### ■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

### ■ RECOMENDACIONES:

Se recomienda formación previa en cursos específicos sobre contaminación y tratamiento de aguas.

## IV.- CONTENIDOS

### ■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Estrategias para el control de la contaminación de aguas. Tratamientos físicos-químicos. Tratamientos biológicos avanzados. Procesos híbridos de oxidación avanzada. Reutilización de aguas residuales.

### ■ PROGRAMA:

**Tema 1. Contaminantes. Clasificación.** Origen y tipos de contaminantes. Efectos en el agua. Otros tipos de contaminación.

**Tema 2. Legislación correspondiente a efluentes líquidos.** Directiva marco del agua. Ley de aguas y sus desarrollos. Calidad de las aguas. Reales decretos establecidos en la legislación del tratamiento de aguas.



- Tema 3. Estrategias para el control de la contaminación de aguas.** Introducción. Perspectiva global en la escasez de agua y la contaminación del agua. Prevención de la contaminación del agua.
- Tema 4. Síntesis y caracterización de materiales empleados en el tratamiento de aguas industriales.** Materiales empleados en la adsorción de aguas residuales: Carbones, zeolitas, arcillas. Resinas de intercambio iónico o polímeros de intercambio iónico. Intercambiadores iónicos inorgánicos. Bioadsorbentes. Adsorbentes e intercambiadores iónicos compuestos e híbridos. Materiales catalíticos de oxidación en procesos híbridos.
- Tema 5. Tratamientos fisicoquímicos: Adsorción e intercambio iónico.** Introducción. Etapas principales en el desarrollo de la adsorción y el intercambio iónico: Etapas cinéticas. Operación en lecho fijo. Métodos de regeneración. Equipos y pautas de diseño.
- Tema 6. Tratamientos fisicoquímicos: Floculación y coagulación.** Clasificación de partículas. Estabilidad de coloides. Sedimentación de partículas discretas. Coagulación-Floculación: Reactivos, instalaciones. Sedimentación de partículas floculentas. Clasificación de decantadores: Decantadores estáticos, decantadores por contacto de fango.
- Tema 7. Tratamientos biológicos avanzados: Procesos de biomasa suspendida.** Características generales de los procesos de biomasa suspendida. Tipos de procesos y consideraciones de pre-diseño: Lechos suspendidos. Características de la biomasa empleada.
- Tema 8. Tratamientos biológicos avanzados: Procesos biopelículas.** Características generales de los procesos de biopelículas. Tipos de procesos y consideraciones de pre-diseño: Lechos bacterianos, filtros sumergidos, lechos fluidificados, biodiscos. Características de los materiales soporte.
- Tema 9. Tratamientos biológicos avanzados: Sistemas Anaerobio-aerobio.** Características generales del proceso. Procesos de digestión aerobia y anaerobia: tipología y pre-diseño. Tipos de reactores empleados. Alternativas tecnológicas.
- Tema 10. Procesos híbridos de oxidación avanzada.** Introducción. Procesos sonoquímicos. Consideraciones de escalado. Aspectos económicos de los tratamientos basados en cavitación. Oxidación catalítica avanzada: Fotocatálisis.
- Tema 11. Reutilización de aguas residuales según el marco legislativo español y europeo.** Aplicaciones de las aguas residuales tratadas. Calidad de las aguas a reutilizar. Real Decreto 1620/2007.
- Tema 12. Estudio de casos.**

## 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
- **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.
- **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.
- **CE4:** 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.
- **CE6:** Diseñar, construir e implementar métodos, procesos e instalaciones para la gestión integral de suministros y residuos, sólidos, líquidos y gaseosos, en las industrias, con capacidad de evaluación de sus impactos y de sus riesgos.
- **CE12:** Realizar, presentar y defender, una vez obtenidos todos los créditos del plan de estudios, de un ejercicio original realizado individualmente ante un tribunal universitario, consistente en un



proyecto integral de Ingeniería Química de naturaleza profesional en el que se sintetizan las competencias adquiridas en las enseñanzas.

■ **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.
- **CT5:** Elaborar y escribir informes y otros documentos de carácter científico y técnico.
- **CT7:** Gestionar información científica, bibliografía y bases de datos especializadas y otros recursos accesibles a través de Internet.
- **CT8:** Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos nuevos o pocos conocidos dentro de contextos multidisciplinares.
- **CT9:** Comunicar conceptos científicos utilizando los medios audiovisuales más habituales, desarrollando las habilidades de comunicación oral.
- **CT11:** Desarrollar la capacidad de organización y planificación.
- **CT12:** Comprender y aplicar la ética en el ámbito profesional.

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

<b>Actividad</b>	<b>Presencial (horas)</b>	<b>Trabajo autónomo (horas)</b>	<b>Créditos</b>
<b>Teoría</b>	30	45	3,0
<b>Seminarios</b>	15	22,5	1,5
<b>Tutorías</b>	3	4,50	0,3
<b>Prácticas de laboratorio</b>	6	9,0	0,60
<b>Preparación de trabajos y exámenes</b>	6	9	0,60
<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>90</b>	<b>6</b>



## VII.- METODOLOGÍA

La práctica docente seguirá una metodología mixta basada en el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje colaborativo y el autoaprendizaje. Esta metodología se desarrollará a través de clases magistrales, clases de seminarios, tutorías y trabajos dirigidos.

- AF1. Desarrollo de los contenidos del programa de la asignatura.
- AF2. Trabajo en profundidad sobre aspectos puntuales del programa de la asignatura.
- AF3. Resolución de problemas.
- AF4. Prácticas de resolución de casos en el aula, laboratorio o aula de informática.
- AF5. Realización de trabajos académicos dirigidos por el profesor.
- AF6. Orientación y seguimiento del alumno por el profesor.
- AF7. Actividades de evaluación.
- AF8. Aproximación del alumno a la realidad del mundo industrial.

Metodologías docentes:

- MD1. Clases de teoría, 100% presenciales.
- MD2. Seminarios, 100% presenciales.
- MD3. Clases de problemas, 100% presenciales.
- MD4. Actividades prácticas (en aula, laboratorio o aula de informática).
- MD6. Tutorías, 100% presenciales. Se realizarán tres tutorías distribuidas a lo largo del curso.
- MD7. Evaluación y/o exámenes, 100% presenciales.
- MD8. Visitas a instalaciones industriales, 100% presenciales.

Se utilizará el Campus Virtual de la UCM como instrumento para poner a disposición de los estudiantes el material que se utilizará en las clases teóricas y de seminario, y como medio de comunicación entre el profesor y los estudiantes.

## VIII.- BIBLIOGRAFÍA

### ■ BÁSICA:

- Metcalf y Eddy, Inc. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización, 3ª ed. McGraw-Hill, New York.
- Ramalho, R.S. (1991). Tratamiento de aguas residuales. Reverté, Barcelona.
- Spellman, F. R. (2003). "Handbook of water and wastewater treatment plant operations". Lewis Publishers.
- Advanced biological treatment processes for industrial wastewaters. Principles & applications. Editor(s): F Cervantes, S Pavlostathis, A van Haandel. IWA Publishing, (2006).
- Treatment of micropollutants in water and wastewater. Editor(s): J. Virkutyle, R. S. Varma and V. Jegatheesan. IWA Publishing, (2010).
- Advanced oxidation processes for water and wastewater treatment. Editor S. Parsons. IWA Publishing, (2004).

**■ COMPLEMENTARIA:**

- APHA, AWWA, WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21° ed. American Public Health Association, Washington.
- Lin, S.D. (2007). Water and Wastewater Calculations Manual. Mc Graw Hill. New York.
- Parson and Jefferson. (2006). Introduction to Potable Water treatment processes. Blackwell Publishing, Oxford.
- Vesilind, P.A. (2003). Wastewater Treatment Plant Desing. IWA Publishing. Alexandria.

**IX.- EVALUACIÓN**

El rendimiento académico del alumno así como la calificación final de la asignatura se obtendrá de forma ponderada, atendiendo a los porcentajes que se expresan a continuación y que se mantendrán en todas las convocatorias. Las tutorías dirigidas son obligatorias. Para poder acceder a la evaluación final será necesario que el alumno haya participado al menos en el 70 % de las actividades presenciales.

SE1. Examen escrito (50%)

SE2. Trabajos e informes escritos (15%)

SE3. Exposición oral de trabajos, informes, problemas, casos, etc (15%)

SE4. Informes de tutorías (10%)

SE5. Asistencia y participación en clase (10%)

El sistema de calificación será con escala numérica de 0 a 10 de acuerdo con el art 5 del RD 1125/2003 de 5 de septiembre (BOE de 8 de septiembre)

0-4,9 suspenso

5, 0-6,9 aprobado

7,0-8,9 notable

9,0-10,0 sobresaliente



## PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
<b>Tema 1. Contaminantes. Clasificación</b>	Teoría	2	1	1ª Semana	1ª Semana
<b>Tema 2. Legislación correspondiente a efluentes líquidos</b>	Teoría	2	1	1ª Semana	2ª Semana
	Seminario	1	1	2ª Semana	2ª Semana
<b>Tema 3. Estrategias para el control de la contaminación de aguas</b>	Teoría	3	1	2ª Semana	3ª Semana
	Seminario	1	1	3ª Semana	3ª Semana
<b>Tema 4. Síntesis y caracterización de materiales empleados en el tratamiento de aguas industriales</b>	Teoría	4	1	4ª Semana	5ª Semana
	Seminario	2	1	5ª Semana	5ª Semana
<b>Tema 5. Tratamientos físico-químicos: Adsorción e intercambio iónico</b>	Teoría	3	1	6ª Semana	6ª Semana
	Seminario	2	1	7ª Semana	7ª Semana
<b>Tema 6. Tratamientos físico-químicos: Floculación y coagulación</b>	Teoría	3	1	7ª Semana	8ª Semana
	Seminario	2	1	8ª Semana	8ª Semana
<b>Tema 7. Tratamientos biológicos avanzados: Procesos de biomasa suspendida</b>	Teoría	3	1	9ª Semana	9ª Semana
	Seminario	1	1	10ª Semana	10ª Semana
<b>Tema 8. Tratamientos biológicos avanzados: Procesos biopelícula</b>	Teoría	3	1	10ª Semana	11ª Semana
	Seminario	1	1	11ª Semana	11ª Semana
<b>Tema 9. Tratamientos biológicos avanzados: Sistemas Anaerobio-aerobio</b>	Teoría	3	1	12ª Semana	12ª Semana
	Seminario	1	1	13ª Semana	13ª Semana
<b>Tema 10. Procesos híbridos de oxidación avanzada</b>	Teoría	3	1	14ª Semana	14ª Semana
	Seminario	2	1	14ª Semana	15ª Semana
<b>Tema 11. Reutilización de aguas residuales según el marco legislativo español y europeo.</b>	Teoría	2	1	15ª Semana	15ª Semana
<b>Tema 12. Estudio de casos.</b>	Teoría	1	1	15ª Semana	
	LABORATORIO	6	2	14ª Semana	15ª Semana
	Tutorías*	3	1		

\* La programación de las tutorías depende de la planificación global de todas las asignaturas del curso.



## RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
<b>Teoría</b>	CG1; CG2; CG11; CE1; CT1; CT3; CT11; CT12	Exposición de conceptos teóricos necesarios para resolver los casos prácticos	Toma de apuntes. Manejo del ordenador	Preguntas de examen sobre los contenidos expuestos en las clases teóricas	30	45	75	3,0
<b>Seminarios</b>	CG1; CG2; CG4; CG10; CG11; CE1; CE2; CE4; CE6; CT1; CT3; CT11; CT12	Resolución de ejemplos de casos prácticos y asesoramiento a los alumnos en los casos prácticos asignados	Toma de apuntes, manejo del ordenador. Aplicación de los conocimientos adquiridos en las clases teóricas	Calificación de los casos prácticos asignados, y preguntas de examen sobre la resolución de casos prácticos	15	22,5	37,5	1,5
<b>Tutorías</b>	CG4; CG10; CG11; CE1; CE2; CE4; CE6; CE12; CT2; CT3; CT5; CT7; CT8; CT9; CT11; CT12	Supervisión del progreso de los alumnos	Preparación de las preguntas para el profesor, asimilación y aplicación de las explicaciones recibidas	Valoración de la participación e interés de los alumnos	3	4,5	7,5	0,3
<b>Laboratorio</b>	CG1; CG2; CE1; CE2; CE4; CE6; CT2; CT3; CT5; CT7; CT8; CT9; CT11; CT12	Supervisión del buen manejo de los equipos de laboratorio	Realización de los experimentos, toma de datos y discusión de los resultados obtenidos	Valoración de los informes realizados y cuestiones planteados durante el transcurso de la práctica	6	9,0	15,0	0,6
<b>Exámenes</b>	CG1; CG2; CG10; CG11; CE1; CE2; CE4; CE6; CT1; CT8	Propuesta, vigilancia y corrección del examen. Calificación del alumno	Estudio y realización del examen	Nota del examen	6	9,0	15,0	0,6

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