

# Procesos de producción y reciclado

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN ALTA ESPECIALIZACIÓN EN  
PLÁSTICOS Y CAUCHO**

***UNIVERSIDAD INTERNACIONAL MENÉNDEZ PELAYO***

Este documento puede utilizarse como documentación de referencia de esta asignatura para la solicitud de reconocimiento de créditos en otros estudios. Para su plena validez debe estar sellado por la Secretaría de Estudiantes UIMP.



## DATOS GENERALES

### Breve descripción

Esta asignatura describe los procesos de polimerización reales que se producen en los reactores de las plantas industriales, haciendo hincapié en los diferentes tipos de procesos, de reactores y de materiales obtenidos, así como en los diversos modos de reciclado de los mismos.

### Título asignatura

Procesos de producción y reciclado

### Código asignatura

100499

### Curso académico

2022-23

### Planes donde se imparte

[MÁSTER UNIVERSITARIO EN ALTA ESPECIALIZACIÓN EN PLÁSTICOS Y CAUCHO](#)

### Créditos ECTS

4

### Carácter de la asignatura

OBLIGATORIA

### Duración

Cuatrimestral

### Idioma

Castellano

# CONTENIDOS

## Contenidos

La asignatura se incluye dentro del contexto tecnológico del programa, Módulo II "Tecnología de polímeros", y suministra el conocimiento de la producción y el reciclado de materiales polímeros. La formación adquirida posibilitará la introducción del alumno a la ingeniería de polímeros, relacionada con la producción de materiales a nivel industrial. También se tratan los métodos y las tecnologías actuales del reciclado de polímeros.

La asignatura está dirigida a conocer los principales procesos y los principios básicos en los que se fundamenta la ingeniería de procesos, particularizada a la fabricación de materiales poliméricos.

Para ello se comenzará por describir la industria del sector y sus particularidades. Se destacarán los aspectos particulares de los materiales plásticos y sus disoluciones, en cuanto a los fenómenos de transporte de propiedades extensivas: cantidad de movimiento, energía y materia.

A continuación se describirán los aspectos cinéticos de las diferentes reacciones de polimerización y su aplicación al diseño de reactores de polimerización. Se comentarán aquellos procesos industriales de mayor relieve para materiales poliméricos termoplásticos, termoestables y elastómeros.

Por último se destacarán las particularidades de la gestión de los residuos plásticos y su reutilización a través de las dos principales vías de reciclado: mecánico y químico.

## Objetivos de la asignatura

- Destacar la importancia industrial del sector de plásticos
- Conocer y aplicar los principios básicos de la ingeniería de procesos en la fabricación de materiales poliméricos.
- Conocer los principales procesos de obtención de polímeros a escala industrial
- Conocer la situación y problemática de los residuos plásticos
- Conocer las diferentes tecnologías para la valorización de los residuos plásticos, haciendo especial hincapié en los procesos de reciclado

## Temario

Tema 1 - **Introducción**. Introducción histórica. Importancia económica de los procesos de polimerización industriales. Conceptos básicos sobre los procesos y los productos.

Tema 2 - **El transporte de propiedades extensivas en procesos relacionados con**

**materiales poliméricos.** Fundamentos de los balances microscópicos y macroscópicos de las ecuaciones de conservación de materia, energía y cantidad de movimiento. Aplicación al caso de los procesos de polimerización. Planteamiento de la secuencia de etapas implicadas en las reacciones de polimerización.

Tema 3 - **Cinética de reacciones de polimerización.** Etapas. Polimerización en cadena: radical, iónica y coordinativa. Polimerización por policondensación.

Tema 4 - **Reactores de polimerización.** Conceptos generales. Reactores agitados: homogéneos y segregados. Reactores tubulares. Reactores para polimerización en suspensión.

Tema 5 - **Procesos de fabricación de materiales poliméricos termoplásticos.** Poliolefinas. Polímeros acrílicos y estirénicos. Termoplásticos ingenieriles. Policloruro de vinilo.

Tema 6 - **Procesos de fabricación de materiales poliméricos termoestables.** Resinas fenólicas, de amina y epoxi. Poliésteres no saturados.

Tema 7 - **Procesos de fabricación de materiales poliméricos elastómeros.** Termoestables: cauchos naturales y sintéticos. Termoplásticos.

Tema 8 - **Escalado de procesos de polimerización y seguridad en planta.** Factores de escala. Consideraciones de diseño. Principios básicos de seguridad en reactores de polimerización. Clasificación de riesgos.

Tema 9 - **Los residuos plásticos.** Gestión integral de los residuos plásticos. Alternativas para el aprovechamiento de los residuos plásticos. Situación actual de la gestión de los residuos plásticos en diferentes sectores.

Tema 10 - **Reciclado mecánico de los residuos plásticos.** Sistemas para la separación de los residuos plásticos por tipos de polímeros. Tipos de procesos de reciclado mecánico. Perspectivas de evolución del reciclado mecánico.

Tema 11 - **Reciclado químico de residuos plásticos.** Introducción. Tipos de procesos de reciclado químico. Despolimerización. Gasificación. Craqueo térmico. Craqueo catalítico. Combinación de craqueo térmico y reformado catalítico. Hidrocraqueo. Situación actual y perspectivas

## Prácticas

Práctica 1 - Estudio a escala de laboratorio de la producción de Polietileno

Práctica 2 - Estudio a escala de laboratorio del reciclado catalítico de PEAD

## Visitas académicas

Visita a la Planta de producción de polietileno de REPSOL en Puertollano

### **Conferencias invitadas**

Conferencia sobre los residuos plásticos en la Comunidad de Madrid (Urbaser)

### **Evaluación**

Examen final e Informes de prácticas

# RESULTADOS DE APRENDIZAJE Y DE FORMACIÓN

## Transversales

CT1.- Aplicación de conocimientos: demostrar que los estudiantes conocen los fundamentos estructurales y de aplicación de los materiales basados en plásticos y caucho, aplicando los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en contextos amplios o multidisciplinares relacionados con su área de especialización.

CT2.- Capacidad de comunicación de conocimientos: que los estudiantes sean capaces de comunicar, oralmente y por escrito, sus investigaciones y conclusiones con los fundamentos que las sustentan, tanto a un público especializado como no experto, de un modo claro, conciso y comprensible.

CT3.-Capacidad de emitir juicios: que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad que supone formular juicios a partir de una información científica y/o técnica. Incluyendo también los aspectos de reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas ligadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios.

## Específicas

CE4.- Demostrar que conoce las tecnologías de los procesos de producción, transformación y reciclado de polímeros, en todas sus variedades de métodos de procesos industriales y de procesado de materiales.

CE5.- Demostrar que conoce los fundamentos y posibilidades del procesado reactivo de polímeros, así como el cambio de propiedades y aplicaciones que pueden resultar de las reacciones de modificación.

CE6.- Demostrar que puede conocer, elegir y valorar los ensayos necesarios para conocer las prestaciones de los materiales en sus diversas aplicaciones. También la adecuación y selección de los materiales en función de las normativas y regulaciones vigentes.

# PLAN DE APRENDIZAJE

## Actividades formativas

### Trabajo presencial (horas)

- Asistencia y participación en clases presenciales de teoría: 26
- Conferencias especializadas de carácter magistral impartidas por expertos en la materia: 1
- Asistencia y realización de prácticas presenciales en laboratorios del CSIC y otras entidades y empresas participantes en el Máster: 6
- Visitas de carácter práctico a empresas para ver "in situ" tecnologías directamente relacionadas con la materia tratada en el Máster: 5
- Sesiones de evaluación: 2

### Trabajo no presencial (horas)

- Trabajo autónomo o en grupo: 60

Este trabajo autónomo consistirá en el estudio de los contenidos teóricos y prácticos de la asignatura. Para ello, los estudiantes contarán con las informaciones disponibles en el [Aula Virtual](#), cuadernos de prácticas, libros de consulta y medios disponibles en el CSIC informáticos y de biblioteca.

## Metodologías docentes

Las clases teóricas serán complementadas con seminarios, clases prácticas de laboratorio, así como con una conferencia de un profesor invitado. Se tiene prevista la visita a la planta de producción de polietileno de Repsol-YPD en Puertollano:

MD1.- Discusión después de las conferencias y seminarios con el objeto de mejorar la enseñanza de carácter práctico.

MD2.- Realización de prácticas en laboratorios con un guión previo para su mejor seguimiento y entendimiento.

MD4.- En todas las visitas a empresas se imparten explicaciones generales y particulares del tipo de industria y producto fabricado. Esto se realiza en el inicio y se continúa durante toda la visita. Los alumnos plantean cuestiones concretas sobre lo que van viendo.

## Resultados de aprendizaje

Los estudiantes deberán haber adquirido al término de la asignatura los siguientes

conocimientos:

1. Importancia social y económica de los plásticos.
2. Fundamentos de la ingeniería de procesos en la fabricación de materiales poliméricos.
3. Principales procesos industriales para la obtención de materiales poliméricos.
4. Impacto ambiental de los residuos plásticos y dificultades para su valorización.
5. Tecnologías existentes y expectativas para el reciclado de los residuos plásticos.

# SISTEMA DE EVALUACIÓN

## Descripción del sistema de evaluación

- Se realizará un examen al finalizar la asignatura (ponderación mínima 90 y máxima 100)
- Se planteará a los estudiantes un problema concreto para resolver, que podrán hacer en grupo (ponderación mínima 5 y máxima 10)

## Calendario de exámenes

- Fecha de examen en convocatoria ordinaria: 22 de noviembre de 2019

## PROFESORADO

### Profesor responsable

**Suárez Muñoz, Inmaculada Concepción**

*LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.*

### Profesorado

**Escola Saez, José María**

*Catedrático de Universidad de Ingeniería Química  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)*

**Ballesteros Martín, Carlos**

*Doctor en Química por la U. Complutense de Madrid.  
Ex Director Técnico de Plastipak Iberia, actualmente formador y experto en polímeros  
Fundación Torres y Prada: <https://fundaciontorresyprada.org/cursos-y-actividades/>*

**Expósito Espinosa, María Teresa**

*DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.*

**Moreno Vozmediano, Jovita**

*Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos*

**Paredes Martínez, Beatriz**

*Profesora Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)*



# HORARIO

## Horario

13/10/2022

18:00 - 20:00

Tema 1: Introducción. Introducción histórica. Importancia económica de los procesos de polimerización industriales. Conceptos básicos sobre los procesos y los productos.

José María Escola Saez

Catedrático de Universidad de Ingeniería Química  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

18/10/2022

18:00 - 20:00

Tema 2: El transporte de propiedades extensivas en procesos relacionados con materiales poliméricos. Fundamentos de los balances microscópicos y macroscópicos de las ecuaciones de conservación de materia, energía y cantidad de movimiento. Aplicación al caso de los procesos de polimerización. Planteamiento de la secuencia de etapas implicadas en las reacciones de polimerización

José María Escola Saez

Catedrático de Universidad de Ingeniería Química  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

19/10/2022

18:00 - 20:00

Tema 2: El transporte de propiedades extensivas en procesos relacionados con materiales poliméricos. Fundamentos de los balances microscópicos y macroscópicos de las ecuaciones de conservación de materia, energía y cantidad de movimiento. Aplicación al caso de los procesos de polimerización. Planteamiento de la secuencia de etapas implicadas en las reacciones de polimerización

José María Escola Saez

Catedrático de Universidad de Ingeniería Química  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

21/10/2022

18:00 - 20:00

Tema 3: Cinética de reacciones de polimerización. Etapas. Polimerización en cadena: radical, iónica y coordinativa. Polimerización por policondensación.

Jovita Moreno Vozmediano

Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos

24/10/2022

18:00 - 19:00

Tema 3: Cinética de reacciones de polimerización. Etapas. Polimerización en cadena: radical, iónica y coordinativa. Polimerización por policondensación.

Jovita Moreno Vozmediano

Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos

19:00 - 20:00

Tema 4: Reactores de polimerización. Conceptos generales. Reactores agitados: homogéneos y segregados. Reactores tubulares. Reactores para polimerización en suspensión.

Jovita Moreno Vozmediano

Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos

27/10/2022

12:00 - 14:00

Conferencia: PET: Tecnología y soluciones de envasado plastipak

Carlos Ballesteros Martín

Doctor en Química por la U. Complutense de Madrid.  
Ex Director Técnico de Plastipak Iberia, actualmente formador y experto en polímeros  
Fundación Torres y Prada: <https://fundaciontorresyprada.org/cursos-y-actividades/>

02/11/2022

10:00 - 13:00

Práctica 1

Beatriz Paredes Martínez

Profesora Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

03/11/2022

10:00 - 13:00

Práctica 2

Beatriz Paredes Martínez

Profesora Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos (URJC)

18:00 - 20:00

Tema 4: Reactores de polimerización. Conceptos generales. Reactores agitados: homogéneos y segregados. Reactores tubulares. Reactores para polimerización en suspensión.

Jovita Moreno Vozmediano

Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos

04/11/2022

18:00 - 20:00

Tema 4: Reactores de polimerización. Conceptos generales. Reactores agitados: homogéneos y segregados. Reactores tubulares. Reactores para polimerización en suspensión.

Jovita Moreno Vozmediano

Doctora en Ingeniería Química.  
Profesor Titular de Universidad  
Universidad Rey Juan Carlos

07/11/2022

18:00 - 20:00

Tema 5: Procesos de fabricación de materiales poliméricos termoplásticos. Poliolefinas. Polímeros acrílicos y estirénicos. Termoplásticos ingenieriles. Policloruro de vinilo

Inmaculada Concepción Suárez Muñoz

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

11/11/2022

16:00 - 17:00

Tema 6: Procesos de fabricación de materiales poliméricos termoestables. Resinas fenólicas, de amina y epoxi. Poliésteres no saturados.

Inmaculada Concepción Suárez Muñoz

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

17:00 - 18:00

Tema 7: Procesos de fabricación de materiales poliméricos elastómeros. Termoestables: cauchos naturales y sintéticos. Termoplásticos.

Inmaculada Concepción Suárez Muñoz

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

14/11/2022

16:00 - 18:00

Tema 8: Escalado de procesos de polimerización y seguridad en planta. Factores de escala. Consideraciones de diseño. Principios básicos de seguridad en reactores de polimerización. Clasificación de riesgos.

Inmaculada Concepción Suárez Muñoz

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

15/11/2022

18:00 - 19:00

Tema 9: Los residuos plásticos. Gestión integral de los residuos plásticos. Alternativas para el aprovechamiento de los residuos plásticos. Situación actual de la gestión de los residuos plásticos en diferentes sectores.

María Teresa Expósito Espinosa

DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

19:00 - 20:00

Tema 10: Reciclado mecánico de los residuos plásticos. Sistemas para la separación de los residuos plásticos por tipos de polímeros

María Teresa Expósito Espinosa

DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

17/11/2022

16:00 - 17:00

Tema 10: Reciclado mecánico de los residuos plásticos. Sistemas para la separación de los residuos plásticos por tipos de polímeros

María Teresa Expósito Espinosa

DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

17:00 - 18:00

Tema 11: Reciclado químico de residuos plásticos. Introducción. Tipos de procesos de reciclado químico. Despolimerización. Gasificación. Craqueo térmico. Craqueo catalítico. Combinación de craqueo térmico y reformado catalítico. Hidrocraqueo. Situación actual y perspectivas

María Teresa Expósito Espinosa

DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

18/11/2022

18:00 - 20:00

Tema 11: Reciclado químico de residuos plásticos. Introducción. Tipos de procesos de reciclado químico. Despolimerización. Gasificación. Craqueo térmico. Craqueo catalítico. Combinación de craqueo térmico y reformado catalítico. Hidrocraqueo. Situación actual y perspectivas

María Teresa Expósito Espinosa

DOCTORA EN CIENCIAS QUÍMICAS.  
PROFESORA CONTRATADA DOCTOR PERMANENTE.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

12/12/2022

16:00 - 18:00

Evaluación de examen final

Inmaculada Concepción Suárez Muñoz

LICENCIADA EN CIENCIAS QUÍMICA/ Dr POR LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD.  
UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS.

## BIBLIOGRAFÍA Y ENLACES RELACIONADOS

### Bibliografía

1. Handbook of Polymer Reaction Engineering. Thierry Meyer, Jos Keurentjes. Wiley-VCH Verlag GmbH (2005).
2. Thermal Safety of Chemical Processes: Risk Assessment and Process Design. Francis Stoessel. Wiley-VCH Verlag GmbH (2008).
3. Handbook of petrochemicals production processes Robert A. Meyer. McGraw-Hill (2005).
4. Proceeding of 6th Symposium on Feedstock Recycling of Polymeric Materials, Toledo, Spain, 5 - 7 October 2011, (Ed. J. Aguado), ISBN 978-84-694-7935-3.
5. Ingeniería Química tomo 3, Flujo de Fluidos (Ed. E. Costa Novella, G. Calleja Pardo, G. Ovejero Escudero, A. de Lucas Martínez, J. Aguado Alonso, M. A. Uguina Zamorano), Alhambra Universidad, ISBN 84-205-1119-6 (1985).
6. Transport Processes and Unit Operations, third Edition, C. J. Geankoplis, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN 0-13-930439-8 (1993).
7. Feedstock Recycling and pyrolysis of waste plastics: converting waste plastics into diesel and other fuels, (Ed. J. Scheirs and W. Kaminsky), John Wiley & Sons Ltd, Chichester, (2006), ISBN: 978 0-470-02152-1.
8. Ingeniería de Reactores. J.M. Santamaría y col. Editorial Síntesis. Madrid 1999. ISBN 84-7738-665-X
9. Elements of Chemical Reaction Engineering. H.S. Fogler. Editorial Prentice-Hall International. New Jersey 1999. ISBN 0139737855.