



## Máster en Ingeniería Química (Plan 2018)

### DATOS DE LA ASIGNATURA

**Nombre:**

Fenómenos de Transporte

**Denominación en inglés:**

Transport Phenomena

**Código:**

1180101

**Carácter:**

Obligatorio

**Horas:**

|                   | Totales | Presenciales | No presenciales |
|-------------------|---------|--------------|-----------------|
| Trabajo estimado: | 150     | 60           | 90              |

**Créditos:**

| Grupos reducidos |               |             |                    |                     |
|------------------|---------------|-------------|--------------------|---------------------|
| Grupos grandes   | Aula estándar | Laboratorio | Prácticas de campo | Aula de informática |
| 3                | 3             | 0           | 0                  | 0                   |

**Departamentos:****Áreas de Conocimiento:**

|   |                    |
|---|--------------------|
| Ingeniería Química, Química Física y Ciencias de los Materiales | Ingeniería Química |
|---|--------------------|

**Curso:****Cuatrimestre:**

|              |                     |
|--------------|---------------------|
| 1º - Primero | Primer cuatrimestre |
|--------------|---------------------|

### DATOS DE LOS PROFESORES

**Nombre:****E-Mail:****Teléfono:****Despacho:**

|                           |               |            |      |
|---------------------------|---------------|------------|------|
| *Franco Gómez, José María | franco@uhu.es | 959 219995 | PB45 |
|---------------------------|---------------|------------|------|

\*Profesor coordinador de la asignatura

**1. Descripción de contenidos****1.1. Breve descripción (en castellano):**

- Concepto de velocidad de transferencia: ecuación general y análisis de los mecanismos de transporte.
- Mecanismo de transporte molecular y estimación de las difusividades del transporte de cantidad de movimiento, calor y materia en función de la temperatura y la presión.
- Acoplamientos entre transportes.
- Transferencia de cantidad de movimiento en fluidos no-Newtonianos.
- Cálculo de distribuciones de velocidad, temperatura y concentraciones aplicando las ecuaciones de conservación en forma diferencial.
- Conceptos de Turbulencia: fluctuación de propiedades y promedios temporales.
- Teorías de la turbulencia.
- Teoría de la capa límite.
- Capa límite térmica y de concentraciones.
- Transporte convectivo: definición y estimación de coeficientes de transporte.
- Teorías sobre los coeficientes de transporte. Analogías entre los transportes de cantidad de movimiento, calor y materia.

**1.2. Breve descripción (en inglés):**

Concept of transfer rate: general equation and transport mechanisms. Molecular transport mechanism. Estimation of molecular transport diffusivities (momentum, heat and mass) as a function of temperature and pressure. Coupled transport. Calculation of velocity, temperature and mass concentration profiles. Concept of turbulence: properties fluctuations and time adjusted property average. Theories of turbulence. The boundary layer theory. Thermal and mass concentration boundary layers. Convective transport: definition and estimation of transport coefficients. Theories on transport coefficients.

**2. Situación de la asignatura****2.1. Contexto dentro de la titulación:**

La asignatura Fenómenos de Transporte forma parte del módulo obligatorio de Ingeniería de Procesos y Producto del Master en Ingeniería Química y se imparte en el primer cuatrimestre. Se entiende que es una asignatura básica y fundamental para abordar cualquiera de las dos intensificaciones optativas, así como algunas otras asignaturas obligatorias del módulo de Ingeniería de Procesos y Producto.

**2.2. Recomendaciones:**

No se dan

**3. Objetivos (Expresados como resultados del aprendizaje):**

- Adquirir los conocimientos fundamentales del transporte de una propiedad extensiva, tanto de forma general como particularizada a los casos del transporte de cantidad de movimiento, calor y materia. Entender los mecanismos de transporte molecular y convectivo, resaltando en todo momento las similitudes que existen entre los transportes de cantidad de movimiento, energía y materia.
- Saber enunciar y desglosar las leyes de conservación, tanto en su forma diferencial como en su forma integral, particularizando en casos concretos y aplicarlas a la obtención de las distribuciones de velocidad, temperatura y concentración en sólidos o durante el flujo laminar de un fluido, en régimen estacionario y transitorio.
- Saber estimar las propiedades del transporte molecular mediante teorías o correlaciones empíricas.
- Entender y aplicar las teorías fenomenológicas de la turbulencia y la teoría de la capa límite.
- Utilizar los conceptos de coeficientes individual y global de transporte para evaluar la velocidad de transferencia convectiva de una propiedad en una fase o a través de una interfase y aplicarlo al diseño de operaciones y procesos de la Ingeniería Química
- Entender y saber aplicar las analogías entre fenómenos de transporte.

**4. Competencias a adquirir por los estudiantes****4.1. Competencias específicas:**

- **CEPP1:** 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 teóricos
- **CEPP2:** Diseñar productos, procesos, sistemas y servicios de la industria química, así como la organización 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
- **CEPP3:** 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

#### 4.2. Competencias básicas, generales o transversales:

- **CB6:** Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación
- **CB7:** Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio
- **CB8:** Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios
- **CG01:** 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
- **CG02:** 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
- **CG07:** Integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de emitir juicios y toma de decisiones, a partir de información incompleta o limitada, que incluyan reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas del ejercicio profesional
- **CT4:** Capacidad para el aprendizaje autónomo y toma de decisiones

## 5. Actividades Formativas y Metodologías Docentes

### 5.1. Actividades formativas:

- Sesiones de Teoría sobre los contenidos del Programa.
- Sesiones de Resolución de Problemas.
- Actividades Académicamente Dirigidas por el Profesorado: seminarios, conferencias, desarrollo de trabajos, debates, tutorías colectivas, actividades de evaluación y autoevaluación.

### 5.2. Metodologías docentes:

- Clase Magistral Participativa.
- Resolución de Problemas y Ejercicios Prácticos.
- Tutorías Individuales o Colectivas. Interacción directa profesorado-estudiantes.
- Evaluaciones y Exámenes.

### 5.3. Desarrollo y justificación:

\* Sesiones de Teoría sobre los contenidos del Programa: Exposición de contenidos mediante presentación o explicación por parte del profesorado. Desarrollo de ejemplos en la pizarra o con ayuda de medios audiovisuales.

\* Sesiones de Resolución de Problemas: Resolución de problemas, ejercicios y casos prácticos vinculados con los contenidos teóricos, realizados en grupos grandes o pequeños, incluyendo ejercicios con software específico.

\* Tutorías Individuales o Colectivas. Aparte de la actividad tutorial regular dedicada a la resolución de dudas y aclaración de conceptos de forma individual, existirá una interacción directa profesor-estudiantes relacionada con la resolución y entrega de problemas y actividades prácticas. El alumno ha de presentar una serie de ejercicios y supuestos prácticos, que se resolverán de forma conjuntamente en tutorías colectivas.

\* Realización de pruebas parciales evaluables: Para realizar la evaluación de los conocimientos se emplearán diversas metodologías de evaluación: exámenes de respuestas a desarrollar, respuestas cortas, ejercicios prácticos, etc.

## 6. Temario desarrollado:

### BLOQUE I. INTRODUCCIÓN A LOS FUNDAMENTOS DE LAS OPERACIONES BÁSICAS DE LA INGENIERÍA.

Este bloque introduce los Fenómenos de Transporte, como base conceptual de las operaciones unitarias que conforman los procesos químico-industriales. Se tratan conceptos físicos como el de equilibrio físico, flujo estacionario y transitorio, así como herramientas matemáticas de utilidad. Además, se muestran las diferencias fundamentales entre los distintos mecanismos de transporte.

### BLOQUE II. CONSERVACIÓN DE PROPIEDADES EXTENSIVAS.

Dedicado al enunciado de las leyes de conservación de las propiedades extensivas y a la resolución de balances macroscópicos y microscópicos de materia y energía.

### BLOQUE III. MECANISMO DE TRANSPORTE MOLECULAR.

Aquí se contempla el transporte molecular de las tres propiedades extensivas con el fin de llegar a una expresión de los flujos de las mismas. Se aborda el problema desde un punto de vista fenomenológico, resaltando el significado físico de las difusividades. Se estudia el transporte molecular a través de la teoría cinética de los gases y se aplica a la obtención de las difusividades moleculares en función de distintas variables de estado. También se considera la estimación de las difusividades mediante correlaciones empíricas. Finalmente, se plantea la integración de las ecuaciones diferenciales de conservación que conduce a las distribuciones de velocidades, temperatura y concentración en función de la posición y el tiempo para diferentes casos prácticos.

### BLOQUE IV. MECANISMO DE TRANSPORTE CONVECTIVO.

Este bloque atiende a la turbulencia y a las teorías que tratan de explicarla. Se trata el concepto de turbulencia y de fluctuación de propiedades y se aborda el estudio de las ecuaciones de conservación promediadas temporalmente. También se presenta el concepto de capa límite y se deduce el perfil universal de velocidades. A continuación, se tratan los coeficientes de transferencia. Para ello, se definen los coeficientes individuales para transferencia en una sola fase y se proponen métodos para estimarlo, destacando el tratamiento basado en el análisis dimensional. Finalmente, se realiza una aproximación a los coeficientes globales, fundamentalmente a través de ejemplos, y se deduce su relación con los coeficientes individuales.

### BLOQUE V. ANALOGÍAS ENTRE LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE.

En este último bloque se analizan y sintetizan las semejanzas de los transportes de las tres propiedades extensivas. Estas semejanzas se recogen en algunas expresiones de las analogías teóricas más habituales entre los fenómenos de transporte, así como la analogía empírica de Chilton y Colburn.

Temario desarrollado:

### BLOQUE I. INTRODUCCIÓN A LOS FUNDAMENTOS DE LAS OPERACIONES BÁSICAS DE LA INGENIERÍA.

#### TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE Y LAS OPERACIONES BÁSICAS.

1. Conceptos y generalidades.
2. Ecuación general de la velocidad de transferencia: mecanismos de transporte.
3. Análisis de sistemas y nivel de descripción.

### BLOQUE II. CONSERVACIÓN DE PROPIEDADES EXTENSIVAS.

#### TEMA 2. ECUACIONES DE CONSERVACIÓN.

1. La ecuación de continuidad.
2. Conservación de cantidad de movimiento.
3. Conservación de energía.
4. Conservación de masa en sistemas multicomponentes.

### BLOQUE III. MECANISMO DE TRANSPORTE MOLECULAR.

#### TEMA 3. MECANISMO DE TRANSPORTE MOLECULAR

1. Leyes del transporte molecular.
2. Ecuación generalizada de la velocidad de transporte: tratamiento fenomenológico.
3. Acoplamiento entre transportes.
4. Comportamiento no-Newtoniano.

#### TEMA 4. ESTIMACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE

1. Descripción mediante el tratamiento cinético elemental.
2. Teoría de Chapman-Enskog. El potencial de interacción molecular.
3. Ecuaciones empíricas para líquidos y gases densos.
4. Efecto de la temperatura y la presión sobre las propiedades del transporte.
5. Propiedades de mezclas de gases y líquidos.

#### TEMA 5. DISTRIBUCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TRANSPORTE MOLECULAR

1. Planteamiento general para obtener los perfiles de las propiedades.
2. Distribuciones de velocidad en régimen laminar.
3. Distribuciones de temperatura en sólidos y en el flujo laminar de un fluido.
4. Difusión equimolar y unidireccional.
5. Difusión en sistemas con reacción química.

### BLOQUE IV. MECANISMO DE TRANSPORTE CONVECTIVO.

#### TEMA 6. TRANSPORTE CONVECTIVO

1. Flujo turbulento: experiencia de Reynolds.
2. Fluctuación de propiedades.
3. Teorías de la turbulencia.
4. La capa límite.
5. Distribución universal de velocidades.

#### TEMA 7. COEFICIENTES INDIVIDUALES DE TRANSPORTE

1. Flujo de fluidos: el factor de fricción.
2. Coeficientes individuales de transmisión calor.
3. Coeficientes individuales de transferencia de materia.
4. Teorías sobre los coeficientes de transporte.

#### TEMA 8. COEFICIENTES GLOBALES DE TRANSPORTE

1. Introducción.
  2. Aproximación a los coeficientes globales de calor.
  3. Aproximación a los coeficientes globales de materia.
- BLOQUE V. ANALOGÍAS ENTRE LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE.  
TEMA 9. ANALOGÍAS ENTRE LOS FENÓMENOS DE TRANSPORTE
1. Introducción.
  2. Analogías de Reynolds y de Sherwood-Karman.
  3. Analogías de Prandtl-Taylor y de Colburn.
  4. Analogías de Karman y Sherwood.
  5. Analogía empírica de Chilton y Colburn.

## 7. Bibliografía

### 7.1. Bibliografía básica:

- FUNDAMENTALS OF MOMENTUM, HEAT AND MASS TRANSFER.J.R. Welty, Ch.E. Wicks, R. E. Wilson.Wiley & Sons, Bristol, 1984. (Traducción al castellano, Limusa, 1993.)
- TRANSPORT PHENOMENA.R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lighfoot.Ed. John Wiley, 2003, 2ª ed. (Traducción al castellano, Ed. Reverté, 1993.)
- TRANSPORT PROCESSES AND UNIT OPERATIONS.C.G. Geankoplis.Ed. Prentice Hall, 2003, 4ª ed.

### 7.2. Bibliografía complementaria:

- MOMENTUM, HEAT, AND MASS TRANSFER FUNDAMENTALS.D.P. Kessler, R.A. Greenkorn.Ed. Marcel Dekker, New York, 1999.
- FLUID MECHANICS AND TRANSFER PROCESSES.J.M. Kay, R.M. Nedderman.Ed. Cambridge University Press, 1985.- BASIC HEAT AND MASS TRANSFER.A.F. Mills.Ed. Prentice Hall, 1999.
- DIFFUSION. MASS TRANSFER IN FLUID SYSTEMS.E.L. Cussler.Ed. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
- INGENIERÍA QUÍMICA, VOL. 2. FENÓMENOS DE TRANSPORTE.E. Costa Novella y otros.Ed. Alhambra Universidad, 1984.
- CHEMICAL ENGINEERING, VOL. 1.J.M. Coulson, J.F. Richardson.Ed. Pergamon Press, 1990. (Traducción al castellano, Ed. Reverté, 1979).
- TRANSPORT PHENOMENA. AN UNIFIED APPROACH.R.S. Broadkey, H.S. Hershey.Mc Graw-Hill, New York, 1988.

## 8. Sistemas y criterios de evaluación.

### 8.1. Sistemas de evaluación:

- Examen de teoría/problemas
- Defensa de Trabajos e Informes Escritos
- Seguimiento Individual del Estudiante

### 8.2. Criterios de evaluación y calificación:

El grado de adquisición de las diferentes competencias se evaluará de acuerdo al siguiente sistema de evaluación:  
Examen de Teoría/Problemas: 70% (se evaluarán las competencias CEPP1, CEPP2, CB6, CB7, CB8, CG01, CG02)  
Evaluación de Trabajos y Supuestos prácticos: 20% (se evaluarán las competencias CEPP1, CEPP3, CB7, CB8, CG02, CG07, CT4)  
Seguimiento Individual del Estudiante: 10% (se evaluarán las competencias CB6, CG01, CG07, CT4)  
Se considerará aprobada la asignatura cuando se obtenga una puntuación global, suma de todas las anteriores, de 5 puntos sobre 10.  
En el caso de que un alumno no desee ser evaluado de forma continua a través del seguimiento individual de su trabajo a lo largo del curso, la calificación se basará exclusivamente en el resultado del exámen final.

**9. Organización docente semanal orientativa:**

|     | <i>Semanas</i> | <i>Grupos Grandes</i> | <i>Grupos Reducidos<br/>Aula Estándar</i> | <i>Grupos Reducidos<br/>Aula de Informática</i> | <i>Grupos Reducidos<br/>Laboratorio</i> | <i>Grupos Reducidos<br/>prácticas de campo</i> | Pruebas y/o<br>actividades evaluables | Contenido desarrollado |
|-----|----------------|-----------------------|---|---|---|--|---------------------------------------|------------------------|
| #1  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 1                                |                        |
| #2  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 2                                |                        |
| #3  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       | Actividad evaluable                            | Tema 2                                |                        |
| #4  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 3                                |                        |
| #5  | 1.5            | 3                     | 0   | 0   | 0                                       | Actividad evaluable                            | Tema 4                                |                        |
| #6  | 1.5            | 3                     | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 5                                |                        |
| #7  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 5                                |                        |
| #8  | 0              | 4.5                   | 0   | 0   | 0                                       | Actividad evaluable                            | Temas 5 y 6                           |                        |
| #9  | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 6                                |                        |
| #10 | 0              | 4.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Temas 6 y 7                           |                        |
| #11 | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Tema 7                                |                        |
| #12 | 3              | 1.5                   | 0   | 0   | 0                                       |  | Temas 8 y 9                           |                        |
| #13 | 3              | 3                     | 0   | 0   | 0                                       | Prueba final evaluable                         | Tema 9                                |                        |
| #14 | 0              | 0                     | 0   | 0   | 0                                       |  |                                       |                        |
| #15 | 0              | 0                     | 0   | 0   | 0                                       |  |                                       |                        |
|     | 30             | 30                    | 0   | 0   | 0                                       |  |                                       |                        |