



Guía Docente Escenarios 1, 2 y 3:

FENÓMENOS DE TRANSPORTE



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



ESCENARIO 1. PRESENCIAL

I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Fenómenos de Transporte
CARÁCTER: Obligatoria
MATERIA: Fenómenos de Transporte
MÓDULO: Modulo de Ingeniería de Procesos y Producto
TITULACIÓN: Máster en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE: Primero
DEPARTAMENTO/S: Ingeniería Química y de Materiales

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo único	
Teoría Seminario Tutoría	Profesora: ARACELI RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-149 e-mail: arodri@ucm.es
Teoría Seminario Tutoría	Profesor: JOSÉ M ^a GÓMEZ MARTÍN Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-152 e-mail: segojmgm@ucm.es
Teoría Seminario Tutoría Prácticas	Profesor: Dr. EDUARDO DÍEZ ALCÁNTARA Departamento: Ingeniería Química Despacho: QP-110 e-mail: ediezalc@ucm.es
Práctica	Profesor: Dr. DAVID LORENZO FERNÁNDEZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QAB-60 e-mail: dlorenzo@ucm.es

II.- OBJETIVOS

■ **OBJETIVO GENERAL**

Identificar en todas y cada una de las *operaciones básicas* el mecanismo y características de los *procesos de transporte* de las tres propiedades extensivas: materia, energía y cantidad de movimiento que tienen lugar, así como *establecer* las *ecuaciones de conservación* y de velocidad de transporte o *flujos* (molecular o turbulento) representativas de los mismos, a fin de determinar los perfiles y caudales de propiedad transportados con vista al diseño.

■ **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**



- Conocer y distinguir los aspectos fundamentales del mecanismo de transporte de las tres propiedades extensivas: cantidad de movimiento, energía y materia.
- Adquirir las capacidades necesarias para aplicar correctamente las leyes básicas de conservación de la cantidad de movimiento, masa y energía a un volumen de control, formulando las correspondientes ecuaciones de variación de estas tres propiedades en el citado volumen.
- Plantear y resolver modelos matemáticos que describan procesos determinados por el transporte de una o varias de las propiedades extensivas tanto en estacionario como en no estacionario.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

Cálculo numérico y ecuaciones diferenciales.

■ RECOMENDACIONES:

....



IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Clasificación y definición de las operaciones básicas. Propiedades extensivas e intensivas. Transporte molecular de Cantidad de Movimiento en flujo interno, de Energía en sólidos y de Materia en mezclas binarias. Estimación de las propiedades de transporte. Transporte Turbulento. Teoría de la Capa Límite. Modelo matemático y soluciones para placa plana. Coeficientes de transporte. Teorías sobre los coeficientes individuales de transporte. Influencia del transporte másico. Coeficientes globales de transporte.

■ PROGRAMA:

Unidad didáctica I: Introducción y Conceptos Generales.

Tema 1: Introducción. Operaciones básicas: definición y clasificación. Propiedades extensivas e intensivas. Definición y relaciones. Semejanzas y diferencias entre el transporte de las propiedades extensivas. Transporte molecular y turbulento: Características.

Unidad didáctica II: Transporte Molecular

Tema 2: Ecuación general de conservación de cualquier propiedad extensiva. Flujos de propiedad extensiva

Tema 3: Generalidades. Transporte Molecular de Cantidad de Movimiento en flujo interno. Ecuación reológica de estado.

Tema 4: Transporte Molecular de Energía.

Tema 5: Transporte Molecular de Materia en mezclas binarias.

Tema 6: Estimación de las propiedades de transporte.

Unidad didáctica III: Transporte Turbulento

Tema 7: Definición y características. Ecuaciones de conservación promedias. Teorías sobre la turbulencia

Unidad didáctica IV: Teoría de la Capa Límite

Tema 8: Concepto de capa límite: capas límite fluidodinámica, térmica y de concentración. Capa límite sobre una placa plana. Capa límite sobre otros tipos de superficies

Tema 9: Capa límite sobre placa plana. Modelo matemático y simplificaciones de Prandtl. Solución precisa de Blasius y aproximada de Karman.

Unidad didáctica V: Coeficientes de transporte

Tema 10: Coeficientes individuales de transporte: ecuaciones de definición. Aplicación a los distintos fenómenos de transporte.

Tema 11: Teorías sobre los coeficientes individuales de transporte. Influencia del transporte másico.

Tema 12: Coeficientes globales de transporte.



V.- COMPETENCIAS

■ GENERALES:

CG-1 - 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.

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.

■ 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 teóricos

CE-2 - 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, bioquímicas, electroquímicas y nucleares

■ TRANSVERSALES:

CT-1 - Desarrollar el trabajo de forma autónoma.

CT-8 - Integrar creativamente conocimientos y aplicarlos a la resolución de problemas en entornos



VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Clases teóricas	30	45	3
Seminarios	15	30	1,5
Tutorías/Trabajos dirigidos	2	5	0,5
Laboratorios	10	10	1
Preparación de trabajos y exámenes	3		
Total	60	90	6

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.

AF0. Trabajo autónomo del alumno.

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.

MD7. Evaluación y/o exámenes, 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:

- Bird, R.B.; Stewart, W.E.; Lightfoot, E.N. "Transport Phenomena" 2ª ed. John Wiley & Son, N.Y. 2002.
- Welty, J.R. "Fundamentals of momentum, heat and mass transfer". 5ª Edición. J. Wiley, NY. 2008
- Costa, E. y col., "Ingeniería Química. Vol. 2. Fenómenos de Transporte", Alhambra. Madrid (1984).
- Deen, W. M., "Analysis of Transport Phenomena". Oxford University Press. New York (1998).
- Geankoplis, C. J., "Transport Processes and Unit Operations". Prentice Hall. New Jersey (1993).

■ COMPLEMENTARIA:

- Slattery, J.C., "Advanced Transport Phenomena". Cambridge University Press. New York (1999).
- Beek, W.J. y col., "Transport Phenomena". J. Wiley & Sons. New York (1999).
- Brodkey, R. S. y Hersey, H. C., "Transport Phenomena: a Unified Approach". Editorial McGraw Hill. New York (1988).
- Themelis, N. J., "Transport and Chemical Rate Phenomena". Gordon and Breach Publishers. Basilea (1995).

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 (70%). Será necesario obtener una puntuación mínima de 5,0 puntos sobre 10 en el examen final para acceder a la calificación global de la asignatura.

SE2 Trabajos e informes escritos (10-30%).

SE3. Exposición oral de trabajos, informes, problemas, casos, etc. (10-20%).

SE5. Asistencia y participación en clase (5-10%).

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
Unidad didáctica I: Introducción y Conceptos Generales	Teoría	4		Semana 1	Semana 2
	Seminario	0			
Unidad didáctica II: Transporte Molecular	Teoría	15		Semana 2	Semana 9
	Seminario	10		Semana 3	Semana 10
Unidad didáctica III: Transporte Turbulento	Teoría	1		Semana 10	
	Seminario	1		Semana 11	
Unidad didáctica IV: Teoría de la Capa Límite	Teoría	6		Semana 11	Semana 13
	Seminario	2		Semana 13	
Unidad didáctica V: Coeficientes de transporte	Teoría	4		Semana 14	Semana 14
	Seminario	2		Semana 15	
TUTORIAS	Tutoría	2	2		
LABORATORIOS	Estimación de propiedades de transporte en ASPEN PLUS.	10	2		

* Las tutorías programadas están sujetas a posibles modificaciones según la planificación conjunta del curso



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Teoría	CG1,CG5, CE1	Exposición verbal de las líneas maestras de cada tema del programa.	Atención y participación activa en el desarrollo de la clase.	Exámenes escritos.	30	45	75	5-10%
Seminarios	CG1, CG5, CE1, CE2, CT8	Planteamiento y resolución de cuestiones y problemas de carácter numérico.	Discusión y resolución de las cuestiones y problemas propuestos.	Exámenes escritos y participación del estudiante en la resolución de las cuestiones y problemas propuestos.	15	30	45	5-10%
Tutorías/Trabajos dirigidos	CG1,CG5, CE1, CE2, CT1, CT2	Supervisión del progreso de los estudiantes en su trabajo personal.	Desarrollo de su trabajo personal.	Valoración del trabajo realizado por el estudiante en el desarrollo del trabajo personal propuesto.	2	5	7	
Prácticas de laboratorio	CG1, CG5, CE1, CE2, CE5, CT1, CT8	Explicación y supervisión durante la resolución de problemas complejos.	Comprender y resolver una serie de problemas más complejos. Preparación de una memoria técnica sobre las actividades realizadas.	Valoración del trabajo del estudiante durante el desarrollo de la práctica y de la memoria técnica.	10	10	20	15%
Exámenes	CG1, CG5, CE1, CE2, CT1, CT8	Diseño y corrección del examen. Calificación del alumno.	Realización del examen.	Examen.	3	0	3	70%
P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación								

Si el desarrollo del curso 2020-21 se viese afectado por medidas conducentes a la no presencialidad, se procederá a la adaptación de la Guía Docente para su tránsito a la docencia y evaluación en línea, adoptando medidas similares a las recogidas en las Adendas de las asignaturas del Título del curso 2019-20.



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 publicitados 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 el mismo que en el Escenario 1, así como otros tipos de materiales que los profesores de la asignatura consideren 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 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 laboratorio se desarrollará en tres sesiones, en las que el grupo se dividirá en dos subgrupos A y B:
 - En la primera sesión el grupo A acudirá a un aula de informática a comenzar las prácticas.
 - En la segunda sesión, el grupo A finalizará las clases en un aula de informática. En simultáneo, el grupo B comenzará las prácticas en un aula de informática distinta a la anterior
 - En la tercera sesión, el grupo B finalizará las prácticas en un aula de informática
 - En el caso de que no haya disponibilidad de aulas de informática, los alumnos podrán trabajar en aulas ordinarias con sus propios portátiles
- **Tutorías Individuales**
Se realizarán por video conferencia y/o correo electrónico.
- **Seguimiento del alumnado**
En la parte de docencia que se realiza de forma presencial se seguirán las mismas técnicas empleadas de forma tradicional.
En la parte de docencia virtual el seguimiento se realizará por diversas técnicas, según considere el profesor: mediante la herramienta correspondiente de TEAMS, el nombre de los asistentes (Google meet), hoja de firmas habilitada en el CV a modo de cuestionario, análisis de descargas efectuadas por los alumnos en el CV, etc.



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 podrán ser impartidas de forma combinada en sesiones:
 - (a) síncronas, en el horario oficial establecido, y/o (b) asíncronas.
 - El material docente será el mismo que en los Escenarios 1 y 2, al que se podrá añadir presentaciones en videos de presentaciones PowerPoint narradas que incluyan las explicaciones necesarias, asemejándose a una clase presencial, así como vídeos relacionados con la materia y cualquier material 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 o Zoom.
- **Prácticas de laboratorio** que se desarrollarán en remoto.

Para ello, los estudiantes instalarán el programa Aspen Plus y se conectarán a través del servidor de la UCM mediante el programa Global Connect disponible en la web de los servicios informáticos.

Una vez los alumnos tengan instalado el programa y estén conectados al servidor de la UCM para usar la licencia educativa de Aspen Plus, las sesiones de laboratorio se llevarán a cabo de manera síncrona a través de “TEAMS” o “Google Meet”.
- **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

- **Conexión, Identificación y firma comportamiento ético:**

La identificación de los alumnos que realicen el examen deberá ser llevada a cabo a través de:

- su acceso al Campus Virtual (usuario y contraseña UCM), lo cual queda registrado.
- envío de DNI, pasaporte, o carnet de estudiante UCM (escaneado o foto).
- imagen de video a través de Google Meet o TEAMS (desde la cámara del ordenador o del móvil).

La identificación debe realizarse antes del inicio del examen. Así, se les debe convocar con suficiente tiempo para que puedan acceder al campus virtual (usuario y contraseña UCM), lo cual queda registrado. También puede programarse una TAREA o un CUESTIONARIO en el espacio del Campus virtual de la asignatura para que los estudiantes envíen una imagen escaneada o una foto de su carnet de estudiante UCM, del DNI, NIE o PASAPORTE junto



a una declaración manuscrita y firmada indicando que su comportamiento durante el examen va a ser ético aceptando las normas a tener en cuenta respecto a la utilización o cooperación en procedimientos fraudulentos. El profesor incluirá el texto del documento que tienen que escribir y firmar. El documento enviado por los estudiantes para la identificación se albergará en el Campus Virtual bajo la protección legal de la UCM y, transcurrido el plazo legalmente establecido, se procederá a su borrado permanente. Adicionalmente pueden realizarse comprobaciones telemáticas a lo largo del examen por parte del profesor mediante la cámara y en cualquier momento el profesor podrá requerir a cualquier estudiante que identifique su presencia mediante voz y vídeo.

En este periodo antes del examen el profesor recordará en qué va a consistir el examen y como pueden contactar los estudiantes si hay eventualidades: por correo electrónico o a través del chat de Moodle.

- **Tipo de examen:**

Los profesores subirán con antelación suficiente al Campus Virtual de su asignatura, las instrucciones detalladas en las que se informe correctamente a los estudiantes del formato de examen a utilizar. Además deberá indicar los recursos y material necesario así como el tipo de identificación antes y durante el examen y cómo debe realizarse la entrega. Se recomienda llevar a cabo un Simulacro telemático, utilizando las mismas herramientas que en el examen final, en fecha anterior a la del examen, de carácter explicativo, a fin de que se puedan adelantar y solucionar distintos problemas técnicos que los alumnos puedan encontrar durante el desarrollo de la prueba. El propósito del simulacro es que los estudiantes comprendan y se familiaricen con la metodología con la que se realizará el examen y comprueben que todo funciona.

El examen se diseñará en el Campus Virtual (Moodle) a través de la herramienta Cuestionario, de tal manera que diferentes estudiantes pueden acceder a exámenes diferentes. El examen estará dividido en dos bloques. El primer bloque, de una hora de duración aproximada, será una prueba tipo test. En el segundo bloque, de dos horas de duración aproximada, los estudiantes resolverán dos o tres problemas.

En cualquier caso, el tiempo máximo por examen es de 3 horas.

Siguen siendo válidos los requisitos recogidos en el Escenario 1 para obtener la calificación final.

- **Seguimiento de estudiantes durante la prueba:**

El seguimiento de estudiantes durante la prueba se podrá efectuar tanto de forma sincrónica mediante conexión abierta de TEAMS en Moodle o mediante Google Meet, así como de forma asincrónica, comprobando el correcto desarrollo de la prueba mediante la sección de registros de actividad de la asignatura en el Campus Virtual. Google Meet dispone de dos extensiones que pueden resultar de utilidad y se instalan en el navegador con facilidad: Grid View (para poder ver un mosaico en pantalla con todos los que están conectados) y Meet Attendance (para obtener un Excel con la lista de asistentes). Los alumnos podrán dirigir al profesor sus dudas y preguntas durante la realización del examen por vía telemática utilizando el chat o el correo electrónico del Campus Virtual.

- **Revisión de exámenes:**

Los estudiantes que deseen revisión se pondrán en contacto con los profesores mediante el correo electrónico del CV 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.



- **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) de los ejercicios 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.

Con carácter general, la referencia de actuación será la recogida en <https://quimicas.ucm.es/informacion-en-relacion-al-coronavirus>.