

NOMBRE ASIGNATURA / COURSE TITLE El Método Determinista/Heurístico en el Diseño de Materiales Funcionales Avanzados Deterministic and Heuristic Design of Advanced Functional Materials		
Departamento	Ingeniería Química Industrial y Medio Ambiente & Ingeniería Energetica y Fluidomecanica & Mecánica Estructural y Construcciones Industriales	Coordinador/a de la asignatura
		Nikolaos Karagiannis
Unidad Docente	Materiales No Metálicos	Número de plazas ofertadas
		8 - 12
Profesores con vinculación permanente dispuestos a impartirla		
1. Nikolaos Karagiannis (IQMA) 2. Manuel Laso (IQMA) 3. Ignacio Romero (MECI) 4. Jorge Ramírez (IQMA) 5. Nieves Jimeno (IQMA) 6. Jaime Carpio (IEF) 7. Juan Luis Prieto (IEF)		
Objetivo general de la asignatura		
<p>El objetivo fundamental del curso propuesto es desarrollar en los alumnos la capacidad de diseñar nuevos materiales con funcionalidades avanzadas y con aplicación directa a necesidades sociales específicas, bien de orden predominantemente técnico (materiales con memoria, materiales biomiméticos, materiales autoensamblables, etc), bien de orden más económico y medioambiental (reutilización y revalorización de residuos de materiales al fin de su ciclo para materiales compuestos de bajo coste, especialmente aplicables en economías en desarrollo).</p> <p>Para la consecución de este objetivo se plantea la realización de proyectos que integren todas las fases de la iniciativa CDIO y guíen al alumno desde el estadio de la concepción al de la operación del producto o material, pasando por las fases de diseño e implementación.</p> <p>La presente propuesta se basa en el uso combinado a partes iguales, de herramientas predictivas (deterministas) de simulación y modelización de materiales en su comportamiento físico, químico y mecánico, y por otro lado de métodos heurísticos (fundamentalmente el uso de mapas cognitivos de Sternberg) que permitan la elección de alternativas cuasi-óptimas en situaciones complejas en las que existen varias soluciones alternativas.</p> <p>En este sentido, la presente propuesta ofrece una combinación única y pionera de los métodos deterministas, tradicionales en la formación de los alumnos de la ETSII, con la heurística de la I+D preconizada por D. Kahneman (Nobel en Economía en 2002) y A. Tversky, que, como se desprende de los contenidos del actual proyecto docente, no ha recibido todavía la atención que merece.</p> <p>Esta combinación de simulación con los métodos heurísticos ofrece al estudiante una doble vía de aproximación a los proyectos propuestos. Creemos que esta combinación aporta un gran valor añadido para el alumno y una ayuda inestimable a la hora de estudiar el diseño de toda una</p>		

gama de productos industriales, consiguiendo (de más particular a más general):

- mejoras de las características mecánicas, estructurales y reológicas de materiales y productos existentes,
- reducción en el consumo de materias primas y aumento de la fracción de materiales de desecho que se reciclan,
- creación de nuevos materiales con propiedades y funcionalidades “a medida”,
- mejor percepción y adaptación a las necesidades sociales en esta área
- mayor visibilidad del gran impacto social de los materiales avanzados y funcionales, tanto en sociedades avanzadas como en desarrollo,

Tanto los métodos de modelización y simulación de materiales como las herramientas heurísticas a emplear están seleccionadas para familiarizar al estudiante con los métodos utilizados en el sector industrial y en la ingeniería de nuevos materiales.

Esta propuesta da especial prioridad a la sensibilización del alumno hacia la realización de proyectos y la obtención de soluciones que tengan en cuenta, además de aspectos técnicos, otros aspectos como la interacción con colegas y competidores, con otros grupos sociales, la “comercialización” de la imagen del proyecto y la explotación de estereotipos cognitivos existentes en la sociedad que en muchos casos son responsables últimos de la aceptación o rechazo de materiales/proyectos técnicamente correctos pero con connotaciones sociales importantes.

Para ello, se propone una ruta de aprendizaje que difiere notablemente de la habitual:

- por un lado el alumno aplicará los conocimientos previamente adquiridos para asimilar las técnicas usadas en la práctica de la ingeniería de modelado y simulación, a fin de diseñar materiales novedosos. Las ventajas de la simulación en el contexto de los materiales son múltiples y bien conocidas: es eficiente desde el punto de vista de costes, no intrusiva con el medio ambiente, y sin riesgos laborales, dado el carácter virtual de los experimentos desarrollados.
- en paralelo, y en contraposición con la naturaleza esencialmente determinística del punto anterior, se introducirá en todos los proyectos uno o varios elementos “perturbadores” (véase R.J. Sternberg, *Cognitive Psychology* 2012), a ser posible tomados de casos reales preexistentes, intratables por los medios tradicionalmente enseñados en la Escuela, que obliguen al alumno a recurrir a técnicas heurísticas (D. Kahneman, *Heuristics and Biases*, 2002; J. Pearl, *Heuristics, Intelligent Search Strategies for Problem Solving*, 1983)

Esta combinación de lo cuantificable con lo impredecible se aproxima en gran medida a las situaciones reales con las que se encontrarán los alumnos en el desempeño de sus tareas profesionales. Creemos que es además el aspecto más valioso de la presente propuesta.

El curso se organizará por proyectos independientes pero de complejidad creciente, estructurados de esta forma:

1. en la primera etapa, y de modo individual, los estudiantes estarán expuestos a la parte puramente técnica del problema; como subtareas:
 - a. se familiarizarán con los principios científicos e ingenieriles correspondientes,
 - b. formularán cuantitativamente el problema,
 - c. desarrollarán un método de resolución apropiado,
2. en la segunda etapa, en grupos de no más de cinco personas, se verán expuestos a:
 - a. la exposición de sus ideas a sus compañeros de grupo,

- b. la “negociación” con sus colegas de la solución óptima desde el punto de vista puramente técnico,
 - c. la evaluación conjunta de las implicaciones económicas, sociales y medioambientales del proyecto
3. en la tercera etapa se introducirá el elemento “perturbador” (ejemplos concretos son la aprobación de una ley que impide la implementación de un aspecto esencial del proyecto, una escasez de materias primas, conflictos sociales que paralizan los suministros, cambio de manos y prioridades de la empresa, reducciones de personal, etc.), lo que obligará a los alumnos a poner en práctica uno o varios de los métodos heurísticos de adaptación basados en los mapas cognitivos más habituales:
 - a. “right-angle bias” o renegociación con los pares,
 - b. “symmetry heuristics” o búsqueda del análogo factible,
 - c. “alignment heuristics” o reclutamiento de socios ideológicos
4. en la penúltima etapa del proyecto se activará el mecanismo conocido como “presión de rendimiento” (performance pressure), simplemente por el requerimiento de llegar a un prototipo funcional del material en un plazo fijo.
5. en la etapa final “post-hoc”, concluida la parte activa del proyecto, los alumnos realizarán una revisión crítica del trabajo. La revisión será en forma de un meta-análisis en el que los miembros del grupo evalúen como observadores exteriores el desarrollo de las interacciones personales, tanto técnicas como no técnicas. Este aspecto es de capital importancia para superar exitosamente el proyecto propuesto porque es la que hace a los alumnos desarrollar una visión holística del problema real, en lugar de tratar con simplificaciones excesivas o situaciones idealizadas.

Con esta metodología se alcanzarán los siguientes objetivos concretos, englobados en el objetivo principal de la presente asignatura:

En el plano determinista:

- comprender la importancia de la simulación numérica y de la modelización en el ámbito de la ingeniería de materiales avanzados y funcionales.
- adquirir un cuerpo de conocimiento sólido y un sentido crítico sobre los principios fundamentales de las simulaciones computacionales.
- familiarizar al estudiante con el concepto de “ingeniería virtual”.
- aprender a usar programas de software que se emplean frecuentemente en la industria y en el sector privado,
- mejorar la capacidad del alumno para decidir qué método de simulación es el más adecuado para resolver un problema complejo en concreto.
- promover la integración de la simulación en la ingeniería de materiales.

En el plano heurístico:

- familiarizarse con los conceptos fundamentales y las técnicas de la heurística,
- comprender y aprender a reconocer la importancia de los mapas cognitivos en las interacciones personales, técnicas y no técnicas,
- estar en posición de resolver problemas abiertos, como los que aparecen en las áreas temáticas multidisciplinares de ingeniería y a través de metodologías de modelización jerárquica.

En el plano interpersonal:

- potenciar el trabajo en equipo para llevar a cabo de forma exitosa proyectos con tareas múltiples,
- desarrollar la capacidad del estudiante para trabajar en un entorno internacional, multicultural y multilingüe.
- desarrollar la creatividad y la capacidad de negociación,
- desarrollar flexibilidad ante circunstancias cambiantes fuera del control del individuo,
- aprender a hacer uso de la asertividad y la oposición constructiva.

Conocimientos que requiere el alumno

La asignatura está organizada de modo que puedan seguirla con aprovechamiento todos los alumnos que hayan cursado el grado en la ETSI Industriales. No es esencial el haber elegido una especialidad concreta. El curso está más directamente conectado con los siguientes cursos del grado:

Termodinámica I y II
 Mecánica de Fluidos I y II
 Química Física
 Ciencia de Materiales I y II
 Ingeniería de Fluidos
 Maquinas e Instalaciones Hidráulicas

No se requiere ningún conocimiento previo de métodos heurísticos. Sí se recomienda la lectura durante el curso del libro (nivel de divulgación) "How to Solve It" de George Pólya (1945), una de las obras más accesibles y útiles en su área.

MÓDULO A

Desglose de actividades formativas y contenidos

Módulo A1
 Lección
 magistral
 (30 horas)

1. Sesiones presenciales con clases dedicadas a revisar, matizar y analizar problemas ya conocidos de ingeniería, física y matemáticas, a través de una perspectiva de modelización (9 horas).
2. Sesiones presenciales de introducción a la heurística y al uso de mapas cognitivos (9 horas).
3. Clases y reuniones para dar y explicar a los alumnos la parte técnica de los proyectos a realizar en equipos de cinco personas (2 horas).
4. Clases regulares para informar sobre el progreso de los proyectos, explicar las dificultades encontradas y las soluciones negociadas (3 horas).
5. Explicación del "elemento perturbador" (1 hora)
6. Clases regulares para informar sobre el progreso de los proyectos, introducir explicar las dificultades encontradas y proponer soluciones. (3 horas).
7. Clases finales: presentación de los proyectos y de los resultados obtenidos por cada grupo con la presencia de todos los alumnos del curso. Discusión y conclusiones del curso (2 horas).

5. Trabajo práctico de los alumnos a través de los proyectos propuestos,

Módulo A2 Clases prácticas (60 horas)	supervisados por el profesor correspondiente siguiendo el esquema de proyecto descrito en los puntos 1 a 5 de la primera Sección (50 horas). 6. Reuniones regulares (informales) del profesor con los alumnos de cada equipo para evaluar el progreso del proyecto (10 horas).
---	---

COMPETENCIAS A LAS QUE CONTRIBUYE (como mínimo las señaladas)

X	(a) Habilidad para aplicar conocimientos científicos, matemáticos y tecnológicos en sistemas relacionados con la práctica de la ingeniería.
X	(b) Habilidad para diseñar y realizar experimentos así como analizar e interpretar datos.
X	(c) Habilidad para diseñar un sistema, componente o proceso que alcance los requisitos deseados teniendo en cuenta restricciones realistas tales como las económicas, medioambientales, sociales, políticas, éticas, de salud y seguridad, de fabricación y de sostenibilidad.
X	(d) Habilidad para trabajar en equipos multidisciplinares.
X	(e) Habilidad para identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
X	(f) Comprensión de la responsabilidad ética y profesional.
X	(g) Habilidad para comunicar eficazmente.
X	(h) Educación amplia necesaria para entender el impacto de las soluciones ingenieriles en un contexto social global.
X	(i) Reconocimiento de la necesidad y la habilidad para comprometerse al aprendizaje continuo.
X	(j) Conocimiento de los temas contemporáneos.
X	(k) Habilidad para usar las técnicas, destrezas y herramientas ingenieriles modernas necesarias para la práctica de la ingeniería.
X	(l) Capacidad de trabajar en un entorno bilingüe (inglés/castellano).
X	(m) Organización y planificación en el ámbito de la empresa, y otras instituciones y organizaciones de proyectos y equipos humanos.
X	(n) Creatividad.

Actividades y metodología prevista para garantizar la adquisición de las competencias anteriores

La base metodológica de la asignatura es la expuesta en los puntos 1 a 5 de la primera Sección. Los siguientes son aspectos concretos de la implementación:

- además de las lecciones y las clases prácticas, la supervisión cercana de los profesores, a través de reuniones regulares e informales garantizará la finalización de los proyectos con éxito. Esta supervisión forma parte de una enseñanza basada en la investigación, con interacción continua entre alumno y profesor. Los estudiantes alcanzarán un mayor nivel de comprensión sobre los aspectos técnicos y no técnicos de la modelización de materiales, y mediante la discusión con el profesor de las dificultades encontradas durante dicho proceso. Los proyectos serán seleccionados de manera que se cubra un amplio rango de aplicaciones multidisciplinares con interés en ingeniería, de forma que los alumnos se encuentren

motivados como para afrontar el proyecto elegido.

El método de enseñanza anterior permitirá adquirir las competencias (a), (i), (j), y (k).

- los profesores que participarán en este curso y supervisarán el progreso de los proyectos son expertos en el área de modelización y con experiencia en la docencia de los conceptos involucrados a alumnos de ingeniería de varios grados. Los alumnos aprovecharán esta experiencia previa, y aprenderán cómo resolver problemas de ingeniería modernos a través de métodos de modelización, relacionando el material “generado por ordenador” con el “material real”.

Esto contribuirá a la adquisición de las competencias (a) e (i).

- se motivará a los alumnos a formar equipos y colaborar con los miembros de su equipo. Los equipos se formarán, si es posible, con alumnos de diferentes grados y/o especialidades de la ETSII para dar lugar a equipos multidisciplinares.

De esta forma, se contribuirá a la adquisición de las competencias (d), (f), (g), (m).

- este curso busca aumentar la visión crítica del alumno. Los estudiantes desarrollarán una visión del problema real en su conjunto, en lugar de resolver problemas triviales de interés puramente matemático y/o educativo. Si bien el seguimiento por parte del profesor será continuo, se fomentará la iniciativa de los alumnos y la puesta en práctica de sus propias ideas, la revisión bibliográfica y posible propuesta de mejora/extensión del proyecto original, la colaboración e intercambio de ideas con los miembros del propio equipo y/o equipos diferentes, etc. Para ello, los equipos presentarán periódicamente informes de progreso del proyecto, indicando las dificultades encontradas, las soluciones proporcionadas, y las posibles alternativas de modificación o mejora sobre la propuesta original del proyecto. Finalmente, y por medio de este enfoque, los alumnos serán capaces de:

1. Poner en práctica los conocimientos matemáticos y científicos adquiridos.
2. Formular modelos teóricos y ofrecer una formulación matemática de un problema de ingeniería.
3. Proponer una técnica de resolución computacional.
4. Analizar los resultados (con posible propuesta de un análisis experimental apropiado, condiciones de operación relevantes, y/o diseño de materiales adecuadas para una aplicación determinada, por ejemplo).

De esta manera, se lograrán adquirir las competencias (a), (b), (c), (e), (g), (k), (m) y (n).

- por la naturaleza del curso, los alumnos se familiarizarán con la terminología inglesa ayudando su integración en un entorno de trabajo internacional. Además los estudiantes serán motivados a usar la lengua inglesa en sus presentaciones para mejorar su capacidad trabajar en un entorno bilingüe.

De este modo la competencia (l) será adquirida.

- los problemas serán seleccionados cuidadosamente a fin de facilitar la adquisición de los conocimientos y competencias necesarios para superar la asignatura; al mismo tiempo, los problemas deberán suponer un desafío suficiente que permita evaluar adecuadamente las capacidades y el pensamiento crítico de los estudiantes. Los proyectos correspondan a problemas reales de ingeniería industrial y con además interés socio-económico.

De este modo se obtendrán las competencias (h) y (m).

Muchos de los proyectos asignados se esperan que tengan una vinculación con proyectos con relevancia industrial y científica (FP7 y Horizon 2020).

De este modo se adquirirán las competencias (e), (f), (h), (j) y (n).

La siguiente es una lista preliminar de los proyectos que se asignarán a los estudiantes:

1. Cavitación y fibrilación en adhesivos sensibles a presión.
2. Fabricación de materiales basados en cristales líquidos como sensores biológicos.
3. Emisión de luz por sonido en implosión de burbujas (sonoluminiscencia).
4. Revalorización de residuos de materiales en materiales compuestos con propiedades específicas.
5. Mediciones por espectroscopía de fuerza atómica (AFM) de propiedades de membrana de bacterias.
6. Mejora de las propiedades de barrera en materiales poliméricos basados en polietileno tereftalato (PET).
7. Mejora del comportamiento reológico de materiales basados en polietileno (PE).
8. Porosimetría de materiales basado en intrusión de mercurio.
9. Optimización del empaquetado en el transporte/almacenamiento de contenedores.

Como se ha mencionado previamente, los grupos formados desarrollarán diferentes tareas, que serán supervisadas por un profesor colaborador con experiencia en el campo correspondiente.

Tipo de aulas en las que se impartirían las clases

Todas las prácticas se impartirán en las aulas de informática (en ETSII) con software ya instalado.

Las reuniones y presentaciones tendrán lugar en aulas regulares.

Por la naturaleza del curso propuesto, no se necesita la adquisición ni de material de laboratorio ni de material de clase.

Financiación necesaria para la impartición de la asignatura, aportada por el Departamento

No se requiere financiación adicional.

La UPM/ETSII tiene ya la licencia de software que se necesita. No se necesita software adicional.

Las prácticas y las reuniones tendrán lugar en las aulas de la UPM/ETSII.

Experiencias anteriores y demanda habida en las mismas

En el plano puramente técnico existen numerosos antecedentes de la enseñanza de métodos de simulación. El más relevante para la propuesta es la integración de una asignatura de simulación en el currículo de ingeniería mecánica de la Chalmers University of Technology (Göteborg) por M. Enelund, S. Larsson and J. Malmqvist enmarcado en una iniciativa de CDIO, fue muy positiva. Se observó además que la asistencia de los alumnos en estos cursos fue mayor que a los cursos convencionales. Un estudio posterior ha confirmado que los alumnos de esta universidad después de la introducción de esta asignatura tienen una mayor capacidad de resolución de problemas abiertos en la industria. Este resultado está en completo acuerdo con las tendencias internacionales según las cuales los currículos de estudios de grado y de posgrado ofrecen numerosas asignaturas orientadas a la modelización y la simulación. Las asignaturas de tipo computacional se han integrado satisfactoriamente en los planes de estudio de ingeniería, en la

práctica totalidad de las universidades relevantes de todo el mundo. Es nuestra intención que lo mismo ocurra dentro del programa de Master de la ETSII (por la iniciativa Ingenia).

En el plano de la heurística, es aún muy pequeño el número de departamento técnicos en las que se imparten asignaturas relacionadas con la heurística. No así en facultades de filosofía y sociología. Muy destacable es la serie de cursos de Heurística en Informática de R. Abrams, ESET.

Creemos que es precisamente la novedad de la introducción de métodos heurísticos en Ingeniería lo que da especial valor a esta propuesta. La escasez de precedentes, lejos de ser un inconveniente, es signo de la novedad de la misma.

Otras observaciones:

Otros(as) colaboradores(as) en el modulo:

Katerina Foteinopoulou (Cont. Ramón y Cajal)