

Especialidad de Matemática Industrial: Asignaturas

Depto. Matemática Aplicada a la Ingeniería Industrial
E.T.S.I. Industriales, UPM

20 de abril de 2022



Índice General

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
	• Predicción de la demanda y producción de energía	10
	• Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
	• Modelos de combustión	15
	• Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
	• Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
	• Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
	• Mejora diseño baterías	22
	• Contención de brotes epidémicos	24
	• Modelos de circulación general del océano	26
	• Estudio de materiales auxéticos	28
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Algunas ideas sobre la Especialidad

¿Qué se va a hacer?

Énfasis en el planteamiento, simulación y análisis de modelos matemáticos en ingeniería.

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Asignaturas de último semestre

- Empezaremos describiendo las asignaturas del último semestre.
- Así motivamos los contenidos que se estudian en asignaturas de semestres previos y que entroncan con ellas.
- Todas ellas son de 3 ECTS.

Semestre 8: asignaturas (3 ECTS)

A elegir 4 de entre las siguientes 6:

- 1 Modelos Matemáticos en Física e Ingeniería de la energía.
- 2 Modelos Matemáticos en Logística e Ingeniería de los Procesos Industriales.
- 3 Modelos Matemáticos en Automática y Electrónica.
- 4 Modelos Matemáticos en Ingeniería Mecánica y Civil.
- 5 Modelos Matemáticos en Ingeniería Eléctrica.
- 6 Modelos Matemáticos en Ingeniería de Materiales, Química y Medio Ambiente.

Semestre 8: asignaturas (2)

- Enfocadas a aplicaciones prácticas.
- En cada una se tratará un “estudio de caso” relacionado con esa área de la ingeniería.
- Todos los temas (estudios de caso) son propuestos por expertos en esa área.
- Sus contenidos pueden variar cada 2-3 años para ajustarse a nuevas propuestas, avances en la ingeniería, etc.

Semestre 8: asignaturas (3)

- El profesor explicará los contenidos que se necesiten y que no se hayan introducido en asignaturas previas.
- En casi todas ellas se hará uso de algoritmos numéricos para resolver problemas.
- La evaluación de los alumnos se suele llevar a cabo mediante trabajos y entregas.
- Para muchos alumnos, una de estas asignaturas será una antesala al TFG.

Semestre 8: estudios de caso actuales

- Predicción de demanda energética y producción de energía renovable.
- Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier.
- Modelos para el estudio de la combustión.
- Problemas de Ingeniería en máquinas rotatorias
- Aplicaciones del cálculo estocástico a la Ingeniería y las Finanzas.
- Modelos matemáticos en ingeniería y dinámica de poblaciones.

Semestre 8: algunas propuestas adicionales

- Optimización del diseño de baterías mediante modelos matemáticos.
- Modelos de circulación general del océano.
- Diseño de estrategias de control para contener brotes epidémicos.

¡Se irán presentando más propuestas!

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Índice de la Sección

3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

Predicción de demanda de energía (1)

- La energía eléctrica no se puede almacenar masivamente.
- **Problema:** Casación de producción y demanda de energía eléctrica.
- Necesidad de buenos modelos de predicción de demanda y de producción de energía renovable.



Fuente: REE.es, CincoDías

Predicción de demanda de energía (2)

- **Objetivo:** uso de modelos matemáticos para predecir la demanda de energía eléctrica y la producción de energía eólica y solar.
- **Oferta:** factores meteorológicos (veloc. y dirección viento, temperatura, humedad, radiación, nubosidad). Datos del European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).
- **Demanda:** depende de temperatura, horario del día y calendario (día laborable-festivo-vacaciones, estación del año, etc).
- **Modelos:** Trabajo con datos. Modelos de regresión de series temporales y aprendizaje automático (machine learning).
 - Modelos ARIMA para la predicción de la demanda eléctrica.
 - Redes Neuronales para la predicción de la producción de energía eólica: redes con “superhuman performance”.

Índice de la Sección

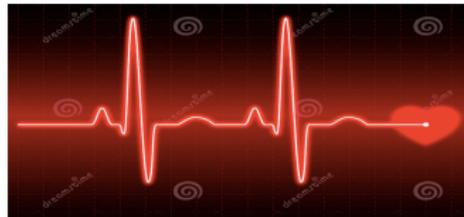
3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier (1)

- Las señales se pueden descomponer como combinación lineal de senos-cosenos de distintas frecuencias.
- Analizando y manipulando los coeficientes de esa combinación lineal se pueden conseguir ventajas prácticas.

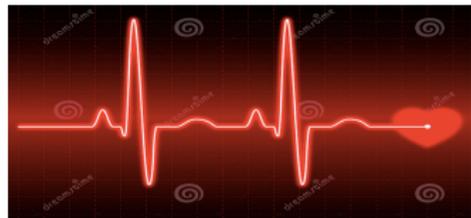


Piano spectrum



Fuentes: jldelafuenteoconnor.es, dreamstime.com

Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier (2)



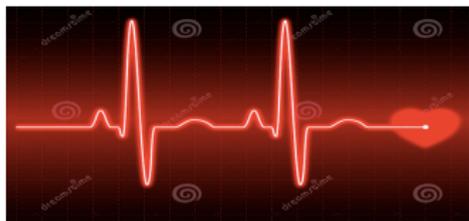
● Problemas:

- Caracterización y Clasificación de figuras mediante los Descriptores de Fourier de su contorno.
- Procesado de señales de audio: compresión, extracción de ruidos, etc.
- Identificación de acordes de música e identificación de canciones (Shazam)
- Transmisión de ondas AM (Moduladas en Amplitud)
- Análisis de señales biomédicas: detección de patologías en electrocardiogramas, encefalogramas, etc.

● Herramientas: Técnicas de análisis de Fourier para procesar señales.

- Análisis de señales analógicas: Series de Fourier y Transformada de Fourier
- Análisis de señales digitales: Transformada Discreta de Fourier (DFT).

Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier (3)



● Exposición de trabajos de los alumnos de este curso:

- lunes de 17:00 a 20:30h, aula 22A.
- 10/15 plazas para alumnos de segundo.
- Mandar email al profesor: *manuel.mendoza@upm.es*

Índice de la Sección

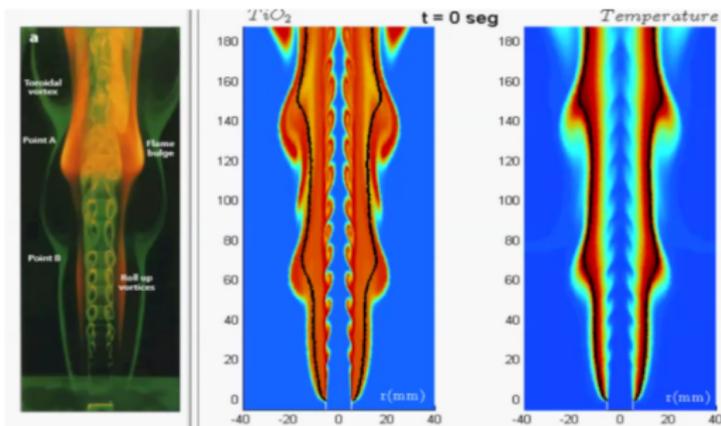
3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

Modelos de combustión (1)

● Problema:

- Combustión representa 85 % consumo energético mundial.
- Combustión limpia: hidrógeno, sin CO_2 ni NO_2 .

● Objetivo: estudio de los mecanismos de la combustión, modelos matemáticos y resolución numérica.



Modelos de combustión (2)

● **Procesos físicos:**

- Sistemas multicomponente: Varias especies químicas.
- Ecuaciones cantidad de movimiento y energía.
- Ecuaciones conservación masa para cada componente.
- Se trabajará bajo distintas hipótesis:
 - mezcla homogénea.
 - llamas de premezcla: deflagración vs detonación.
 - llamas de difusión, etc.

● **Modelos matemáticos:**

- EDOs o EDPs
- Resolución numérica:
 - Métodos para EDOs.
 - Método de los Elementos Finitos.

Índice de la Sección

3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

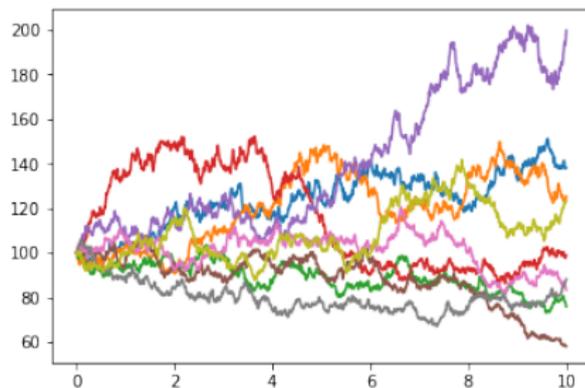
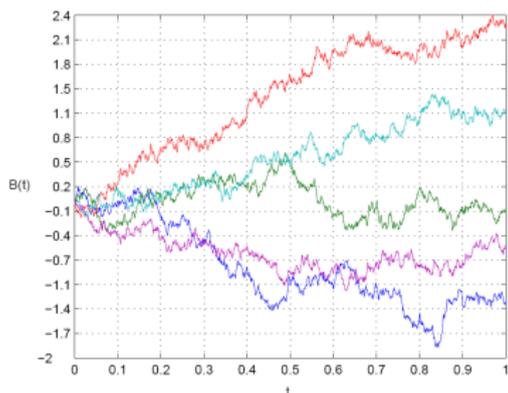
Problemas de Ingeniería en máquinas rotatorias

- **Objetivo:** aprender a modelar las vibraciones de las máquinas rotatorias (y otras estructuras) y utilizar el análisis de estas vibraciones para decir cosas sobre la máquina (detección de fallos, etc).
- **Modelo matemático:** Ecuaciones Diferenciales Ordinarias, autovalores y autovectores generalizados, transformada de Fourier.
- **Aplicaciones:**
 - cerchas (estructura reticular de barras rectas)
 - máquinas rotatorias.
- **Metodología:**
 - ajuste de parámetros del modelo.
 - resolución numérica.

Índice de la Sección

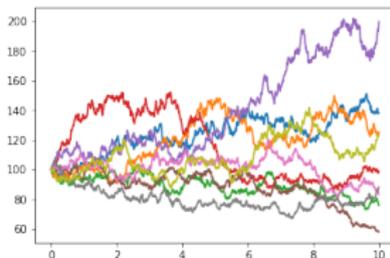
3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

Aplicaciones del cálculo estocástico (1)



- Importancia de los fenómenos aleatorios.
- En ciertas circunstancias el promediado estadístico no es adecuado.
- Ejemplo: difusión de pequeñas partículas en el seno de un fluido. Proceso de Wiener.

Aplicaciones del cálculo estocástico (2)



- **Objetivo:** aprender los rudimentos del cálculo estocástico y su aplicación a problemas de ingeniería.
- **Modelo matemático:** Cadenas de Markov, Ecuaciones Diferenciales Estocásticas.
- **Aplicaciones:**
 - Problemas de viscoelasticidad.
 - Modelos en genética.
 - Valoración de ciertos activos financieros (Ecuación Black-Scholes).
- **Metodología:**
 - resolución analítica
 - resolución numérica.

Índice de la Sección

3	Descripción estudios de caso actuales	10
•	Predicción de la demanda y producción de energía	10
•	Aplicaciones a la ingeniería del Análisis de Fourier	12
•	Modelos de combustión	15
•	Problemas de ingeniería en máquinas rotatorias	17
•	Aplicaciones ingenieriles del cálculo estocástico	18
•	Modelos en ingeniería y dinámica de poblaciones	20

poblaciones (1)

- Problema de Stefan clásico:
 - Problema de transición de fase, por ejemplo, agua-hielo.
 - La frontera entre las dos fases va variando con el tiempo (frontera libre).

- Modelos similares (no lineales) en dinámica de poblaciones:
 - Una especie situada inicialmente en una región se mueve por difusión y se va expandiendo bajo una cierta condición tipo Stefan.
 - ¿Invade la especie el hábitat? ¿Con qué velocidad?

poblaciones (2)

- **Objetivo:** estudio de modelos para la expansión de especies en un hábitat.
- **Modelo matemático:** Ecuaciones en Derivadas Parciales: ecuaciones de Reacción-Difusión.
- **Metodología:**
 - Estudio analítico de algunos casos especiales.
 - Simulación numérica.
 - Métodos de diferencias finitas.
 - Métodos espectrales.

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Índice de la Sección

4	Otras propuestas de estudios de caso	22
	● Mejora diseño baterías	22
	● Contención de brotes epidémicos	24
	● Modelos de circulación general del océano	26
	● Estudio de materiales auxéticos	28

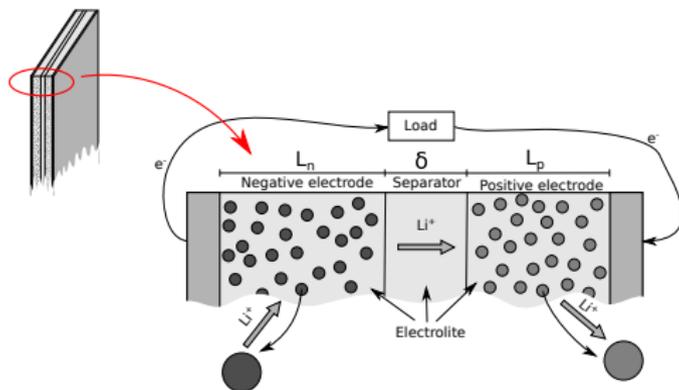
Mejora del diseño de baterías (1)



● Baterías:

- Convierten energía química en energía eléctrica y viceversa.
- Formadas por una o más celdas electroquímicas conectadas en serie o paralelo para conseguir la tensión y la intensidad requerida.
- **Objetivo:** usar modelos matemáticos para optimizar el diseño de la celda, ahorrando así tiempo-dinero en experimentos.

Mejora del diseño de baterías (2)

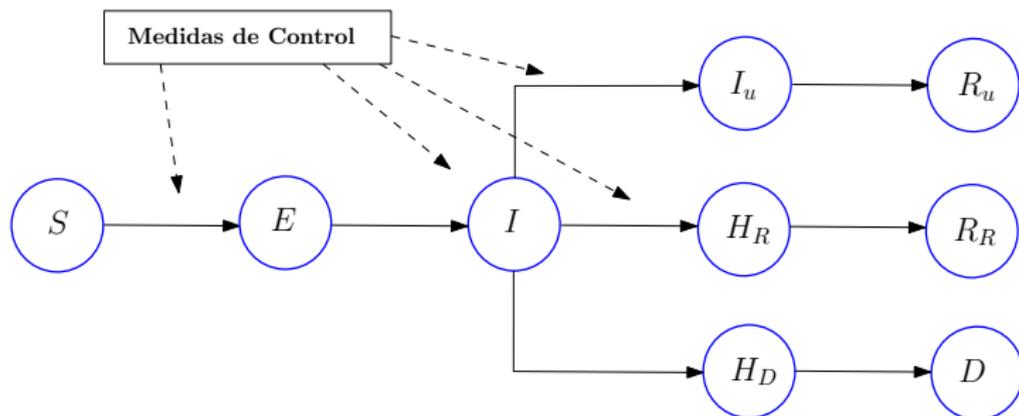


- **Variables de diseño:** radio de las partículas, longitud electrodos y separador.
- **Función a maximizar:** por ejemplo la energía por unidad de volumen.
- **Herramientas:**
 - Modelo matemático (EDPs)
 - Uso de técnicas numéricas de resolución de EDPs
 - Algoritmos de optimización.

Índice de la Sección

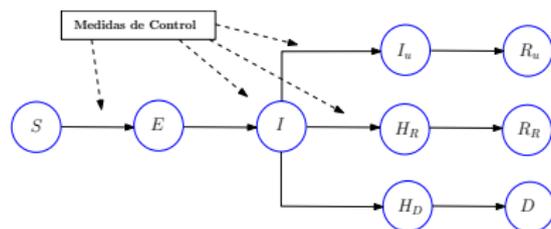
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
	● Mejora diseño baterías	22
	● Contención de brotes epidémicos	24
	● Modelos de circulación general del océano	26
	● Estudio de materiales auxéticos	28

Contención de brotes epidémicos (1)



- S : Susceptibles.
- E : Expuestos: Infectados en periodo de incubación (sin síntomas). Pueden infectar.
- I : Infecciosos: Infectados que empiezan a manifestar síntomas clínicos.
 - I_u : Infecciosos no detectados. Se recuperan.
 - H_R : Infecciosos detectados que son hospitalizados o están en aislamiento y se recuperan.
 - H_D : Infecciosos detectados que son hospitalizados y mueren.

Contención de brotes epidémicos (2)



Medidas de control:

- Aislamiento-Cuarentena.
- Rastreo.
- Aumento recursos sanitarios.

Objetivos:

- Proponer modelo matemático: sistema ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales.
- Estimar parámetros a partir de los datos.
- Predecir comportamiento en ausencia de medidas de control.
- Diseño estrategia intervención para garantizar que el sistema sanitario no colapsa.

Índice de la Sección

4	Otras propuestas de estudios de caso	22
•	Mejora diseño baterías	22
•	Contención de brotes epidémicos	24
•	Modelos de circulación general del océano	26
•	Estudio de materiales auxéticos	28

Modelos de circulación general del océano (1)

- **Problema:**

- En los mares-océanos hay grandes masas de agua con distintas temperaturas-densidades que se están moviendo constantemente → circulación oceánica.
- Este movimiento afecta de manera decisiva al clima, la pesca, etc.

- **Objetivo:** explicar-predecir el comportamiento de las masas de agua en los océanos.

- **Modelo:**

- Ecuaciones de Navier-Stokes
- Ecuaciones de convección-difusión

- **Herramientas:**

- Método de los Elementos Finitos: remallado, refinamiento adaptativo, etc

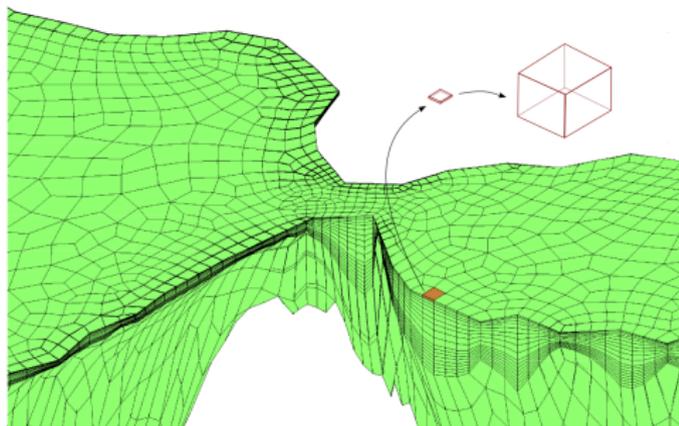
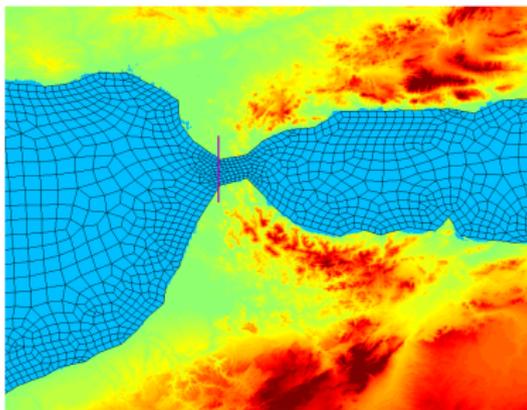
Modelos de circulación general del océano (2)

- **Modelo:**

- Ecuaciones de Navier-Stokes
- Ecuaciones de convección-difusión

- **Herramientas:**

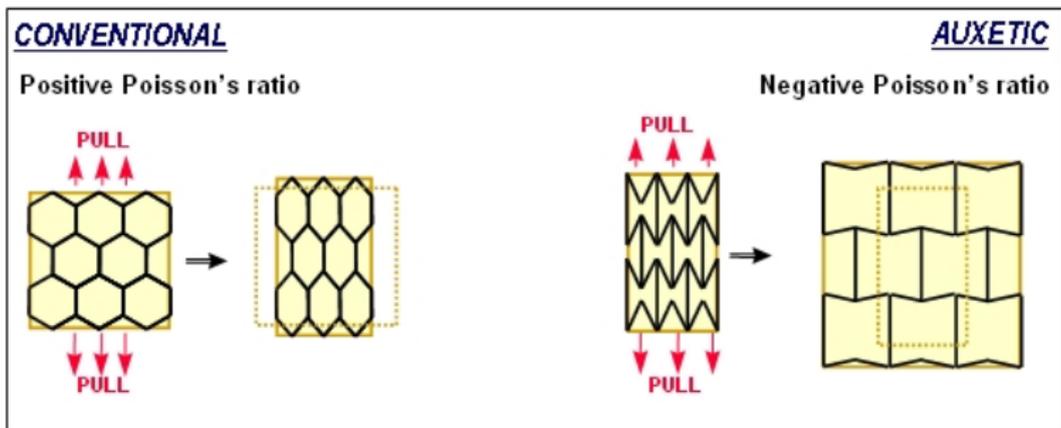
- Método de los Elementos Finitos: remallado, refinamiento adaptativo, etc



Índice de la Sección

4	Otras propuestas de estudios de caso	22
	● Mejora diseño baterías	22
	● Contención de brotes epidémicos	24
	● Modelos de circulación general del océano	26
	● Estudio de materiales auxéticos	28

Estudio de materiales auxéticos (1)



Fuente: Joseph N. Grima, University of Malta

Estiramiento de un material:

- Comportamiento estándar: estrechamiento en la dirección perpendicular (coeficiente de Poisson positivo).
- Comportamiento materiales auxéticos: alargamiento en la dirección perpendicular (coeficiente de Poisson negativo).

Estudio de materiales auxéticos (2)



Fuente: www.bayly.com.au



Fuente: Bigspaggio18 - Own work, CC BY 4.0

● Propiedades:

- Alta capacidad absorción energía.
- Alta capacidad resistencia a la fractura.

● Modelado mediante redes de vigas no lineales.

● Objetivos:

- Estudio vigas no lineales.
- Generación de redes.
- Simulación de redes auxéticas.

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Semestre 6

● **Matemáticas de la Especialidad (4.5 ECTS)**

- Introducción al Cálculo Numérico para ingenieros.
- Herramientas para resolver problemas mediante algoritmos numéricos (todos menos las EDPs).
- Entronca con casi todas las asignaturas posteriores.

● **Ecuaciones en Derivadas Parciales (EDPs) y Análisis de Fourier (6 ECTS)**

- Continuación de la Asignatura de Ecuaciones Diferenciales del semestre 3.
- Las EDPs resultan de manera natural al plantear conservación de magnitudes físicas — > énfasis en la deducción rigurosa de las ecuaciones.
- Ecuaciones clásicas en la ingeniería: transporte, Poisson, calor, ondas.
- Series Fourier y Transformada de Fourier: útiles para trabajar con EDPs y también en el procesamiento de señales.

Semestre 7 (1)

- **El Método de los Elementos Finitos (MEF) en la Ingeniería (4.5 ECTS)**
 - Continuación de las Matemáticas de la Especialidad.
 - El MEF es la herramienta numérica fundamental para resolver EDPs.
 - Incorporado en todos los paquetes comerciales para resolver problemas ingenieriles.

- **Optimización y simulación en Ingeniería (4.5 ECTS)**
 - Hallar el vector $x \in \mathbb{R}^n$ para el que se alcanza el valor máximo (o mínimo) de una función objetivo $f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, con o sin restricciones.
 - La optimización está en la base del trabajo del ingeniero.
 - Enfoque analítico estudiado en Cálculo II. Aquí se estudia mediante técnicas numéricas.
 - Cálculo de variaciones: similar a la optimización en \mathbb{R}^n pero trabajando con funciones.

Semestre 7 (2)

- **Análisis de datos** (4.5 ECTS)

- Continuación de Estadística y Diseño de Experimentos y Modelos Regresión.
- Hoy en día se dispone de grandes cantidades de datos.
- Problema ¿Qué información podemos sacar de ellos?
- Se abordan distintas técnicas para predecir variables cuantitativas y cualitativas.
- Enfoque muy práctico: uso de R.

- **Mecánica de los medios continuos** (4.5 ECTS)

- Se puede considerar extensión de Resistencia de Materiales y Ampliación de Resistencia de Materiales por un lado y de Mecánica de Fluidos I por otro.
- Medios continuos: sólidos y fluidos.
- Ecuaciones de conservación de masa, cantidad de movimiento, momento angular, energía.
- Sólidos: elasticidad en pequeñas y grandes deformaciones.

Semestre 7 (3)

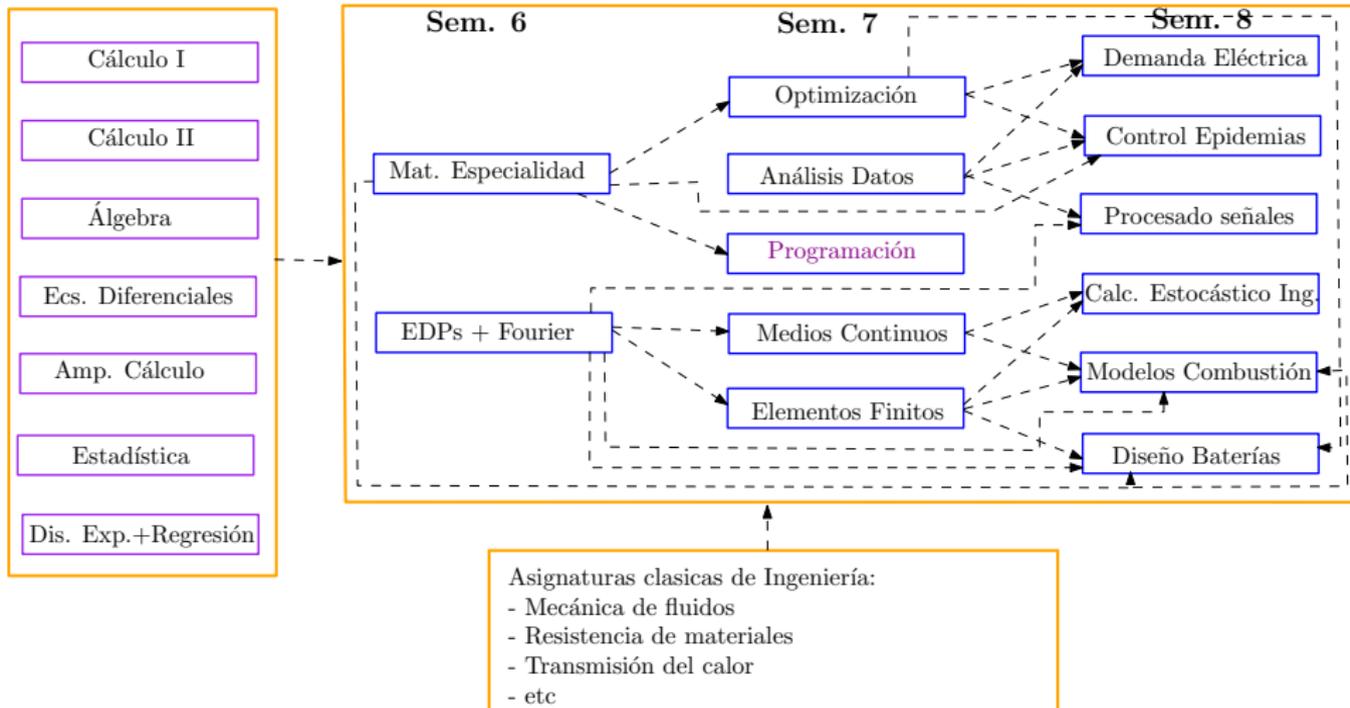
- **Programación en ingeniería** (3 ECTS, competencias, recomendada para los alumnos de esta Especialidad)
 - En la Especialidad la programación juega un papel esencial.
 - Matlab se va a utilizar en muchas de las otras asignaturas.
 - Trabajo en Python.
 - Muy útil para todas las asignaturas.

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Asignaturas y conexiones entre ellas

Nota: por falta de espacio, el semestre 8 muestra solo algunos de los posibles “estudios de caso”



Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Algunas ideas finales

- **¿Qué se va a hacer? Énfasis en la construcción, simulación y análisis de modelos matemáticos en ingeniería.**
- **¿Para quién es esta Especialidad?** ¿Me gustan las matemáticas, la programación y la simulación como herramientas para resolver problemas de ingeniería?
- **Experiencia de los dos primeros años y previsión:**
 - Entre 20 y 30 alumnos.
 - Alumnos con mucho interés.
 - Profesores muy contentos con el resultado.
 - Previsible grupo reducido: trato más personal e individualizado.

Índice de Secciones

1	Introducción	3
2	Asignaturas del último semestre	4
3	Descripción estudios de caso actuales	10
4	Otras propuestas de estudios de caso	22
5	Asignaturas semestres 6 y 7	30
6	Asignaturas y conexiones	34
7	Conclusión	35
8	Material Adicional	36

Material adicional sobre la Especialidad

- Diapositivas de esta presentación.
- Vídeo de esta presentación.
- Posible asistencia a exposiciones de los trabajos de los alumnos.
- Vídeo de las presentaciones de algunos de los trabajos
- Todo ello alojado en la página web del Depto:
<http://dmaii.etsii.upm.es/web/docencia-etsii-matematica-industrial/>
- Consultas a los profesores:
 - Alejandro Zarzo: alejandro.zarzo@upm.es
 - Luis Sanz: luis.sanz@upm.es
- Consultas a alumnos que han cursado la Especialidad:
 - Celia López de la Nieta: celia.lopezdelanieta.polonio@alumnos.upm.es
 - Daniel Lorenzo: daniel.lorenzo.fernandez@alumnos.upm.es