
Formulario de aprobación de curso de posgrado/educación permanente

Asignatura: Modelos y Simulación en Ingeniería aplicada a la Medicina y la Biología

(Si el nombre contiene siglas deberán ser aclaradas)

Modalidad:

(posgrado, educación permanente o ambas)

Posgrado

☒

Educación permanente

☐

Profesor de la asignatura ¹: Dr. Ing. Ricardo Luis Armentano. Profesor Gr. 5 con Dedicación Total (CenUR Litoral Norte, Udelar).

(título, nombre, grado o cargo, instituto o institución)

Profesor Responsable Local ¹: Dr. Ing. Martin Pedemonte. Profesor Gr. 4 con Dedicación Total (INCO, Facultad de Ingeniería, Udelar).

(título, nombre, grado, instituto)

Otros docentes de la Facultad:

(título, nombre, grado, instituto)

Docentes fuera de Facultad:

(título, nombre, cargo, institución, país)

¹ Agregar CV si el curso se dicta por primera vez.

(Si el profesor de la asignatura no es docente de la Facultad se deberá designar un responsable local)

[Si es curso de posgrado]

Programa(s) de posgrado: Maestría y Doctorado en Ingeniería Eléctrica

Instituto o unidad: IIE

Departamento o área: Departamento de Ingeniería Biológica.

Horas Presenciales: 90

(se deberán discriminar las horas en el ítem Metodología de enseñanza)

Nº de Créditos: 10

[Exclusivamente para curso de posgrado]

(de acuerdo a la definición de la Udelar, un crédito equivale a 15 horas de dedicación del estudiante según se detalla en el ítem Metodología de enseñanza)

Público objetivo: Estudiantes de Maestría y Doctorado de UDELAR

Cupos:

mínimo 3 máximo 10 (El cupo máximo está en relación con la realización de TP demostrativos)

Descripción general

Este curso aborda la brecha existente entre la formación matemática tradicional y las competencias necesarias para el modelado y la simulación en contextos biomédicos. A través de un enfoque interdisciplinario, integra conceptos de ingeniería, matemáticas y ciencias biológicas para desarrollar en el estudiante la capacidad de representar, analizar y simular sistemas fisiológicos y biomédicos, desde modelos conceptuales hasta implementaciones computacionales.

La propuesta se centra en modelos determinísticos y estocásticos, modelos matemáticos y físicos, así como en la validación experimental y la interpretación de resultados. Además, enfatiza la aplicación

práctica de estos modelos en investigación médica, diagnóstico, pronóstico y desarrollo de tecnologías biomédicas.

Objetivo general

Formar profesionales capaces de diseñar, implementar y validar modelos y simulaciones de sistemas biológicos y médicos, aplicando principios de física, matemáticas y computación para la comprensión y resolución de problemas complejos.

Objetivos específicos

- Comprender los fundamentos de la modelización matemática aplicada a la medicina y biología.
- Diferenciar y aplicar modelos lineales, no lineales, distribuidos, compartimentales, estocásticos y variables en el tiempo.
- Desarrollar destrezas en la construcción, ajuste y validación de modelos biológicos y biomédicos.
- Utilizar herramientas computacionales y métodos numéricos para la simulación.
- Integrar datos clínicos y experimentales para la calibración y evaluación de modelos.
- Aplicar modelos a casos reales: cardiovascular, respiratorio, neurológico, endocrino y epidemiológico.

Conocimientos previos exigidos: Teoría de Redes, Señales y Sistemas, Sistemas de Control

Conocimientos previos recomendados: Fisiología Cuantitativa

Metodología de enseñanza:

(comprende una descripción de la metodología de enseñanza y de las horas dedicadas por el estudiante a la asignatura, distribuidas en horas presenciales -de clase práctica, teórico, laboratorio, consulta, etc.- y no presenciales de trabajo personal del estudiante)

Descripción de la metodología:
[Obligatorio]

Detalle de horas:

- Horas de clase (teórico): 40
- Horas de clase (práctico): 15
- Horas de clase (laboratorio mediciones): 15
- Horas de consulta: 10
- Horas de evaluación: 10
 - Subtotal de horas presenciales: 90
- Horas de estudio: 20
- Horas de resolución de ejercicios/prácticos: 20
- Horas proyecto final/monografía: 20
 - Total de horas de dedicación del estudiante: 150

Forma de evaluación:

El curso de modelo consta de 5 cuestionarios, 2 informes y 2 entregas de código/videos, donde se evalúan los siguientes puntos:

- o TP modelo poblacional: se introducen nociones de crecimiento exponencial y logístico, el estudiante utiliza datos de crecimiento bacteriano y censo de la población en USA para ajustar los parámetros de dichos modelos, justificando cuál ofrece el mejor ajuste considerando los supuestos que se plantean.
- o TP econométrico: el estudiante debe estudiar y explicar el modelo de oferta y demanda, los conceptos de elasticidad de la oferta y la demanda y el modelo tela de araña. Se les pide que lo implementen para un caso ficticio y corroboren los comportamientos del modelo tela de araña para variaciones en las elasticidades. Adicionalmente, se les incita a formular un modelo de satisfacción vs ingreso de un individuo familia.
- o TP de biogeografía de islas: Deben leer el artículo publicado por MacArthur y Wilson sobre biogeografía de islas y plantear ecuaciones que verifiquen los supuestos planteados por los autores. Deberán simular los puntos de equilibrio para variaciones de los parámetros y diseñar una experiencia donde puedan verificarse los supuestos del modelo.
- o TP presa-predador: Se les pide que resuelvan en Matlab el modelo de Lotka Volterra clásico y con limitación de herbívoros. Además, deberán identificar en la literatura un modelo de comportamiento celular que responda a las ecuaciones de Lotka-Volterra, explicar el comportamiento a modelar, así como el nuevo significado de los parámetros del modelo.
- o TP de modelos epidemiológicos: Los estudiantes deberán plantear los supuestos, ecuaciones e implementación en Simulink del modelo SIR, y una variante del modelo de acuerdo a los supuestos que se les exija ese año (ver ejemplo de 2024). Los resultados de la implementación deberán estar debidamente analizados. Además, deberán buscar en la literatura el uso de este tipo de modelos en la pandemia COVID19, discutir si son aplicables, sus limitaciones y qué aspectos es necesario tener en cuenta al momento de aplicarlos en la población uruguaya. Por último, deberán utilizar ajuste de parámetros en el modelo usado, con datos de la pandemia en Uruguay.
- o TP sobre modelos compartimentales: El estudiante deberá optar por contestar para el modelo de glucosa insulina o para el modelo de dinámica del VIH.
- o TP Glucosa-Insulina: Presentar el modelo, aclarando sus supuestos y debilidades. Simular para individuos sanos, suponiendo una ingesta de comida periódica. Comparar para simulaciones de individuos con diabetes mellitus tipo 1 y 2.
- o TP Dinámica del VIH: Plantear los modelos de dinámica de VIH sin tratamiento, bajo tratamiento antirretroviral y bajo antirretroviral con inhibidores de transcriptasa reversa y efecto del sistema inmune. Deberán explicar la cantidad de compartimentos para cada caso, cómo se vinculan entre ellos, qué representan, y señalar las ecuaciones y sus parámetros. Simular los modelos probando distintas efectividades en el tratamiento. Explique con sus palabras qué ocurre en casa caso y vincular con lo observado en la clínica.
- o TP modelo de potencial de acción: Explicar implementar y simular el modelo LIF simple, con período refractario y con adaptaciones. Reportar comportamiento del sistema ante estímulos subumbrales así como ante estímulos supraumbrales continuos (curvas it e if).
- o TP sobre toma de decisiones: Plantear, implementar y simular el modelo deriva difusión con barreras fijas y barreras que colapsan. Calcular probabilidades de decisión y tiempo medio de respuesta y comparar con resultados empíricos.
- o TP sobre modelado de sala de espera: Simular el tiempo medio de espera de los pacientes en una guardia médica durante 24 horas. Determinar el número de consultorios adecuado. La práctica se realiza mediante el método de montecarlo, considerando las distribuciones de probabilidad para los tiempos de llegada de pacientes a la guardia y los tiempos de atención en el consultorio

Defensa final: Consiste en un trabajo de modelos y simulación basado en un sistema biológico o aplicado a la medicina donde se evaluarán los contenidos teóricos y prácticos vistos en el curso, pudiendo pedirse que se presenten en un tiempo limitado algunos de los trabajos realizados, así como que se desarrollen conocimientos teóricos aprendidos en el curso. Se valorará positivamente que el alumno:

- Responda con pertinencia a las preguntas que se formulen.
- Muestre que es capaz de establecer vínculos dentro y fuera de la enseñanza evaluada, de aportar una visión personal, de desarrollar su espíritu crítico, de sorprender por su creatividad.

- Exponga de manera coherente, sintética y proporcionada, organizando bien el tiempo entre sus diferentes partes.
- Demuestre que ha entendido la materia de la enseñanza y se la ha apropiado.
- Emplee un registro de lengua formal y adecuado a la ocasión.

En cambio, se valorará negativamente:

- La inconexión en el discurso.
- La exposición caótica o sin rumbo.
- La repetición de ideas sin comprender su alcance real, sin apropiación.
- Las ambigüedades.
- El hablar de cosas que no convienen expresamente a lo que se pide.
- Las palabras o frases sin sentido o vacías.
- La mala repartición de tiempo entre teoría y comentario, si es que se da el caso.
- La mala adecuación en el tiempo utilizado

Temario:

Unidad 1 – Introducción y Conceptos Fundamentales

- Definición de sistema y entidad.
- Elementos, atributos y relaciones.
- Sistemas abiertos, cerrados y aislados.
- Ejemplos en ingeniería, biología y física.
- Modelos y realidad.
- Modelos determinísticos y estocásticos.
- Dinámica poblacional.
- Construcción, ajuste y operación de un modelo.

Unidad 2 – Modelización en Investigación Médica y Biológica

- Modelos mentales, verbales, escritos, matemáticos y físicos.
- Visualización de circulación y flujo sanguíneo.
- Propagación de la onda de pulso.
- Modelos computacionales, matemáticos y físicos.
- Modelos de biodiversidad y libre mercado aplicados desde la ingeniería.
- Modelado y simulación en proyectos de investigación.

Unidad 3 – Modelos y Control en Fisiología

- Lazo abierto y lazo cerrado.
- Análisis estático de sistemas fisiológicos.
- Regulación del volumen minuto.
- Determinación del punto operativo.
- Regulación por barorreceptores.

Unidad 4 – Modelización y Simulación del Aparato Contráctil

- Fisiología y reología muscular y conectiva.
- Reología del tejido vascular.
- Aparato contráctil del músculo liso.
- Modelización de la pared arterial.
- Ecuaciones constitutivas.
- Modelización en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- Identificación de sistemas y modelos paramétricos.

Unidad 5 – Modelización y Simulación mediante Analogías Eléctricas en el Sistema Arterial

- Ondas y circuitos en sistemas biológicos.
- Modelos elástico-resistivos y eléctricos del corazón.
- Acoplamiento ventrículo-arterial.
- Modelos de Windkessel (WK2e, WK3e, WK4e).
- Impedancia Arterial e Impedancia Pulmonar
- Circuitos distribuidos y líneas de transmisión.

Unidad 6 – Modelización Computacional del Sistema Cardiorespiratorio

- Modelos 3D y 1D aplicados a geometrías arteriales.
- Fractales y complejidad en fisiología respiratoria.
- Modelos de estructuras autosimilares en pulmón.
- Extensión de fractales a la impedancia arterial.
- Unidad 7 – Modelización de Datos Clínicos
 - Regresiones lineales y no lineales.
 - Regresión logística y modelos de supervivencia.
 - Riesgo y Odds Ratio.
 - Modelos paramétricos y de Cox.
 - Introducción a grandes bases de datos.
- Unidad 8 – Modelos del Sistema Nervioso y Redes Neuronales
 - Neuronas biológicas y artificiales.
 - Perceptrón simple y multicapa.
 - Aprendizaje supervisado y no supervisado.
 - Aplicaciones: reconocimiento de voz, modelado fisiológico, análisis biomédico.
 - Modelos de Hodgkin–Huxley y Morris–Lecar.
 - Modelado de circuitos neuronales y teoría del cable.
- Unidad 9 – Modelos Compartimentales
 - Aplicaciones en ingeniería eléctrica y biomédica.
 - Farmacocinética de la glucosa.
 - Modelos SIR, SIER y SIERD.
 - Modelado en espacio de estados.
- Unidad 10 – Modelos Estocásticos
 - Variables aleatorias y correlaciones.
 - Simulación Monte Carlo.
 - Modelos estocásticos para epidemias, fonación y señales biomédicas.
 - Generadores de números aleatorios y aplicaciones en biología.
 - Clases teórico-prácticas con ejemplos reales.
 - Uso de software de simulación y modelado (MATLAB, Simulink, Python, R).
 - Análisis de casos clínicos y experimentales.
 - Desarrollo de proyectos grupales de modelado y simulación.
 - Discusión crítica de artículos científicos.

Bibliografía:

BIBLIOGRAFÍA

1. A.M. Law, W.D. Kelton, "Simulation Modeling & Analysis", McGraw-Hill, Inc., 1991.
2. Bender E.A. An Introduction to mathematical Modeling. Dover Publications Inc. New York. 1978.
3. Eminyan M, Rubin K. Introducción a la Simulation de Systemes Physiques. Intereditions. París. 1994.
4. Enderle John. Class notes on Physiological Modeling. Universidad de Connecticut. 2008.
5. Khoo M.C.K. Physiological Control systems.. Ieee series in biomedical engineering. 2000.
6. Li John K. J.. Arterial System Dynamics. Biomedical Engineering series. New York: Univ. Press. 1987.
7. NIH Conference. Modeling in Biomedical Research: An assessment of current and Potential approaches. U.S. department of Health and Human Services. 1989.
8. Smith. J.M. Mathematical Modeling and Digital Simulation For Engineering and Scientist. Wiley Interscience. New York. 1987.

Datos del curso

Fecha de inicio y finalización:: 1 octubre al 20 de diciembre 2026

Horario y Salón: jueves de 9 a 13h, sala IEEE, IIE

Arancel:

[Si la modalidad no corresponde indique "no corresponde". Si el curso contempla otorgar becas, indíquelo]

Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad posgrado: no corresponde

Arancel para estudiantes inscriptos en la modalidad educación permanente: no corresponde
