

ANEXO I

PLAN DE ESTUDIOS

DOCTORADO EN INGENIERÍA MATEMÁTICA

El plan de estudios del Doctorado en Ingeniería Matemática está compuesto por las siguientes instancias:

- Aprobación de cursos de formación. Veinticuatro (24) UCAs correspondientes al Plan de Cursos. Para cumplimentar con los requisitos solicitados, el/la estudiante deberá aprobar cursos de posgrado, obteniendo al menos doce (12) UCAs con la aprobación de cursos dictados en la FIQ. Un mínimo de ocho (8) UCAs deben corresponder a los cursos denominados básicos.
- Aprobación de la Defensa de la propuesta y grado de avance de Tesis Seis (6) UCAs
- Realización y aprobación de la Tesis. Setenta (70) UCAs.

Las actividades académicas están estructuradas en base a unidades de crédito académico (UCA). La cantidad de UCAs asignada a cada una de las instancias citadas arriba se hará teniendo en cuenta las disposiciones al respecto contempladas en el Reglamento de la Carrera de Doctorado en Ingeniería Matemática.

El Doctorado en Ingeniería Matemática enfatiza principalmente las disciplinas Análisis Numérico, Control Matemático, Estadística e Investigación Operativa. Al tratarse de una carrera personalizada, la/el estudiante con el aval de su director/a de tesis, elige los cursos dentro de la oferta de cursos básicos y específicos. Cabe mencionar que se dictarán cursos especiales cuando se cuente con la visita de algún docente externo (visitante nacional o internacional), como así también se contempla la aceptación de cursos tomados fuera de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) o fuera de la Universidad Nacional del Litoral (UNL), en unidades académicas o institutos nacionales o internacionales, previa conformidad del Comité Académico de la carrera.

Resumen

Tarea	UCAS mínimas	Horas mínimas
Aprobación de cursos de Formación Básica.	Al menos 8 UCAs	Al menos 120 horas
Aprobación de cursos de formación especializada.	En conjunto con los cursos de formación básica al menos 24 UCAs	En conjunto con los cursos de formación básica de al menos 360 horas
Aprobación de la Defensa de la propuesta y Grado de Avance de Tesis	6 UCAs	90 horas
Realización y aprobación de una Tesis.	70 UCAs	1050 horas

Listado de cursos tentativos propuestos

A continuación se presenta una lista de cursos de posgrado posibles, indicando Profesor/a responsable, duración en horas, objetivos, contenidos mínimos y bibliografía. Primero se presentan los cursos propuestos como cursos básicos y a continuación los otros cursos de formación complementaria.

Cursos básicos.

Según consta en el Reglamento de la carrera, los/as alumnos/as deben cumplimentar un mínimo número de UCAs mediante la realización de cursos básicos.

Los cursos básicos son los siguientes:

- 1. Álgebra Lineal Numérica**

2. **Control Avanzado**
3. **Elementos de Computación**
4. **Estadística en Alta Dimensión**
5. **Matemática Aplicada**
6. **Optimización**
7. **Regresión y técnicas multivariadas**
8. **Sistemas Dinámicos**
9. **Programación Entera**
10. **Teoría de grafos y aplicaciones**

Álgebra Lineal Numérica

- Responsable: Miguel Sebastián Pauletti
- Duración: 60 horas
- Objetivos: estudiar cómo las operaciones matriciales se pueden usar para crear algoritmos computacionales que proporcionen respuestas aproximadas a preguntas matemáticas de manera eficiente y precisa.
- Contenidos mínimos: Métodos iterativos para sistemas de ecuaciones lineales. Jacobi, Gauss-Seidel, SOR, Richardson. Métodos iterativos para matrices SDP. Descenso más pronunciado, gradiente conjugado. Gradiente conjugado para problemas no simétricos. GMRes. Precondicionadores genéricos: diagonal, Gauss-Seidel, factorización incompleta. Gradiente conjugado precondicionado. Métodos numéricos para problemas de autovalores. Repaso. Método de las potencias. Métodos de las potencias inversas y algoritmo QR.
- Bibliografía básica del curso:
 - Lloyd N. Trefethen, David Bau, III, Numerical Linear Algebra, SIAM, 1997
 - Alfio Quarteroni, Riccardo Sacco, Fausto Saleri Numerical Mathematics, Volume 37 of Texts in Applied Mathematics Springer, 2017

Control Avanzado

- Responsable: Alejandro H. Gonzalez
- Docente colaborador: Marcelo Actis, Alejandro Anderson, Agustina D´Jorge
- Duración: 60 horas.
- Objetivos: Presentar los fundamentos teóricos del control óptimo, con restricciones. Analizar soluciones (mediante programación dinámica, DP y horizonte deslizante, RHC, como base del MPC). Presentar las condiciones de optimalidad, factibilidad recursiva y estabilidad de regiones invariantes del espacio de estado, para el lazo cerrado de control resultante. Analizar particularidades. Introducir la formulación para sistemas híbridos (impulsionales y switching). Presentar y analizar diferentes aplicaciones de interés.
- Contenidos mínimos: Caracterización de sistemas dinámicos con restricciones, en espacio de estado. Equilibrios, conjuntos invariantes y conjuntos controlables/estabilizables. Formulación de control óptimo con

restricciones. Solución mediante programación dinámica (DP). Solución mediante horizonte deslizante (RHC), como base del control predictivo basado en modelos (MPC). Análisis de optimalidad, factibilidad recursiva y estabilidad mediante Lyapunov. Caso regulación y caso de seguimiento de referencias. Formulación para la incorporación de objetivos adicionales al seguimiento de referencias. Control por zonas y con objetivos tipo conjunto. Caso robusto y estocástico. Uso explícito de conjuntos invariantes probabilísticos. Formulación para sistemas híbridos (impulsionales y switching). Aplicación (mediante simulación numérica y/o sistemas de laboratorio) a sistemas de interés (sistemas hidráulicos/mecánicos, sistemas químicos, sistemas eléctricos, sistemas biológicos y biomédicos).

- Bibliografía básica del curso:
 - Lewis, F.L.; Vrabie, D.; Syrmos, V.L.: Optimal control. John Wiley and Sons, 2012.
 - Rawlings, J.B.; Mayne, D. Q.; Diehl, Moritz: Model predictive control: theory, computation, and design. Nob Hill Publishing; 2017.
 - Sontag, E.D.: Mathematical control theory: deterministic finite dimensional systems (Vol. 6). Springer; 2013.
 - Goodwin, G.C.; Seron, M. M.; De Doná, J.: Constrained control and estimation. An optimization approach. Springer; 2005.
 - Kouvaritakis, B; Cannon, M.: Model predictive control. Classical, robust and stochastic. Springer; 2016.
 - Blanchini, F.; Miani, S.: Set-Theoretic Methods in Control, Birkhauser, 2009.

Elementos de Computación

- Carga horaria: 60 horas.
- Responsable: M. Sebastian Pauletti
- Objetivos: Aprender las buenas prácticas actuales de programación, incluyendo la modularización y encapsulación de datos, programación defensiva y herramientas de desarrollo colaborativo. Aprender un enfoque sistemático para organizar, escribir, testear y depurar programas de tamaño medio. Aprender algoritmos útiles y técnicas de reducción de problemas (mecanismos de descomposición y abstracción). Desarrollar un entendimiento de la complejidad computacional. Usar herramientas computacionales (incluyendo de estadística, visualización y aprendizaje maquinal) para modelar y entender datos. Aprender los conceptos básicos de bases de datos relacionales y no relacionales.
- Contenidos mínimos: Buenas prácticas modernas de programación, versionado de código, herramientas colaborativas, testeo y depuración. Tipos de datos abstractos y clases. Tablas hash, árboles, colas LIFO, FIFO y con prioridad. Complejidad computacional y escalabilidad. Algoritmos de búsqueda y orden. Modelos gráficos. Programación dinámica. Bases de datos relacionales y no relacionales. Algoritmos para calcular estadísticas sobre flujos de datos.
- Bibliografía básica:

- Introduction to Computation and Programming Using Python: With Application to Understanding Data. John Guttag (2016)
- Introduction to Algorithms, 3rd Edition. Thomas H. Cormen (2009)
- Mathematics of Big Data. Spreadsheets, Databases, Matrices, and Graphs. Jeremy Kepner and Hayden Jananathan (2018)
- Pro Git. Scott Chacon and Ben Straub (2014)

Estadística en alta dimensión

- Responsable: Diego Tomassi
- Duración: 60 horas.
- Objetivos: Los métodos estadísticos clásicos suponen que la muestra de datos disponible para el análisis es suficientemente grande comparada con la cantidad de variables intervinientes en el problema bajo estudio. En muchas aplicaciones actuales, sin embargo, resulta relativamente fácil medir una gran cantidad de variables pero no así aumentar significativamente la cantidad de casos observados. Esto da lugar a problemas en los que la cantidad de variables es comparable al número de observaciones, o incluso mucho mayor. En este contexto resultan necesarias nuevas metodologías estadísticas capaces de mitigar la alta dimensionalidad. El objetivo de este curso es presentar al estudiante los desafíos que impone la alta dimensionalidad, formas de solucionarlos y nuevas herramientas para el análisis teórico de los métodos estadísticos adaptados a este contexto.
- Contenidos mínimos: Modelos lineales en alta dimensión. Estimación de grandes matrices de covarianza. Reducción de dimensiones. Selección de modelos. Fenómenos de concentración y teoría no asintótica. Resultados básicos de la teoría de matrices aleatorias.
- Bibliografía básica:
 - S. Boucheron, G. Lugosi, and P. Massart (2013). Concentration Inequalities: A Nonasymptotic Theory of Independence. Oxford University Press.
 - P. Bühlmann and S. van de Geer. Statistics for High-Dimensional Data: Methods, Theory and Applications. Springer Series in Statistics. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
 - T. Hastie, R. Tibshirani, and M. Wainwright. Statistical Learning with Sparsity: The Lasso and Generalizations. Chapman Hall/CRC Monographs on Statistics Applied Probability. CRC Press, 2015.
 - B. Li. Sufficient Dimension Reduction: Methods and Applications with R. Chapman Hall/CRC Monographs on Statistics and Applied Probability. CRC Press, 2018.
 - R. Vershynin. High-Dimensional Probability: An Introduction with Applications in Data Science. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics. Cambridge University Press, 2018.
 - M.J. Wainwright. High-Dimensional Statistics: A Non-Asymptotic Viewpoint. Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics. Cambridge University Press, 2019.

Matemática Aplicada

- Responsable: Pedro Morin

- Duración: 60 horas
- Objetivos: Conocer el comportamiento cualitativo de las soluciones de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales lineales, siendo capaces de determinarlo dependiendo del tipo de ecuación (elíptica, parabólica, hiperbólica). Familiarizarse con métodos analíticos de resolución, que permiten hallar formas cerradas de las ecuaciones y obtener conclusiones acerca de su comportamiento cualitativo. Se espera que la modelización, la teoría y los métodos de resolución participen de manera balanceada en el desarrollo del curso.
- Contenidos mínimos: Modelos matemáticos. Leyes de conservación. Transporte. Difusión. Ondas. Ecuaciones de primer orden. Método de las características. Ecuación del calor. Método de energía y separación de variables. Principio de Duhamel. Series de Fourier. Ecuaciones elípticas. Principio del máximo y aplicaciones. Función de Green. La ecuación de ondas en una dimensión. Separación de la variable tiempo. Problemas de autovalores para el Laplaciano.
- Bibliografía básica del curso:
 - Strauss, W., Partial Differential Equations: An Introduction, 2018. John Wiley and Sons, Ltd.
 - Haberman, R., Applied Partial Differential Equations with Fourier Series and Boundary Value Problems, 2012, Prentice Hall.

Optimización

- Responsable: Pío Aguirre
- Docentes colaboradores: Gabriela Corsano, Diego Cafaro.
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Introducir al alumno en la disciplina de la optimización sujeta a restricciones. Revisar conceptos de programación lineal y dualidad. Retomar condiciones de óptimo local de primer y segundo orden para programas no lineales sin restricciones. Desarrollar nociones de convexidad, pseudo-convexidad y quasi-convexidad. Presentar condiciones de Lagrange para programas no lineales condicionados por restricciones de igualdad. Desarrollar las condiciones de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) para programas no lineales con restricciones de desigualdad. Calificación de restricciones (Constraint Qualification) y cono de direcciones factibles. Desarrollar habilidades para el modelado matemático de problemas de optimización en GAMS.
- Contenidos mínimos: Condiciones de óptimo local de primer y segundo orden para programas no lineales sin restricciones. Convexidad, pseudo-convexidad y quasi-convexidad. Condiciones de Lagrange para programas no lineales condicionados por restricciones de igualdad. Problema dual. Condiciones de Karush-Kuhn-Tucker (KKT) para programas no lineales con restricciones de desigualdad. Calificación de Restricciones (Constraint Qualification) y cono de direcciones factibles.
- Bibliografía básica del curso:
 - M.S. Bazaraa, H.D. Sheraly, C.M. Shetty . “Nonlinear Programming: Theory and Algorithms”. Wiley-Interscience (2006).
 - M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, H.D. Sheraly. “Linear Programming and Network Flows”. Wiley (2009).

- D.P. Bertsekas. "Nonlinear Programming". 2da. Edición. Edit. Athena Scientific, Massachusetts (1999).
- D.G. Luenberger. "Linear and Nonlinear Programming". Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 2da. Edición (1984).
- M. Avriel. "Nonlinear Programming: Analysis and Methods". Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J. (1976).
- C.A. Floudas. "Nonlinear and Mixed-Integer Optimization: Fundamentals and Applications". Edit. Oxford University Press (1995).
- K. Marriot y P.J. Stuckey. "Programming with Constraints: An Introduction". The MIT Press, Cambridge, Massachusetts (1999).
- Biegler, L.T. "Nonlinear Programming: Concepts, Algorithms, and Applications to Chemical Processes". MOS-SIAM Series on optimization, 2010.

Regresión y técnicas multivariadas

- Responsable: Andrea Bergesio
- Profesor colaborador: Antonella Giego
- Duración: 60 horas
- Objetivos del curso: Adquirir herramientas básicas de Estadística para el planteo de modelos y posterior manejo y análisis de datos. Poder analizar datos provenientes de estudios reales usando metodología desarrollada en este curso. Desarrollar un pensamiento y metodología estadística que le permita enfrentarse con nuevas situaciones problemáticas no presentadas en el curso, así como también una lectura crítica de trabajos publicados.
- Contenidos mínimos: Regresión múltiple. Estimación. Predicción. Consideraciones del modelo de regresión: análisis de residuos, transformación de variables, variables predictoras categóricas, selección de variables. Bootstrap en modelos de regresión. Selección del modelo, validación cruzada. Métodos de clasificación. Regresión logística. Interpretación del modelo de regresión logístico ajustado. Análisis discriminante. Aprendizaje no supervisado. Análisis de componentes principales, clusters.
- Bibliografía:
 - Gareth, J., Witten, D., Hastie, T. and Tibshirani, R. (2013). An Introduction to Statistical Learning with Applications in R. Springer.
 - Weisberg, S. (2005). Applied Linear Regression, Wiley-Interscience.
 - Netter, J., Kutner, M., Nachtsheim, C. y Wasserman, W. (1996). Applied Linear Statistical Models}. Mc Graw Hill.
 - Ramsey, F. y Schafer, D. (2002). The Statistical Sleuth. A Course in Methods of Data Analysis. Thomson Learning.

Sistemas Dinámicos

- Responsable: Alejandro Hernán González
- Docente colaborador: Marcelo Actis, Alejandro Anderson, Agustina D´Jorge.
- Carga horaria: 60 horas.

- **Objetivos:** Presentar los fundamentos teóricos de los sistemas dinámicos (no lineales) en espacio de estado, en tiempo y discreto, autónomos y de control. Lograr una representación topológica adecuada (concepto de flujo, trayectoria de estado, punto fijo, órbita). Caracterizar los regímenes transitorios y estacionarios, analizando regiones de equilibrio e invarianza en el espacio de estado. Incorporar conceptos de la teoría de conjunto. Presentar los conceptos de controlabilidad, estabilizabilidad, estabilidad (Lyapunov) y atractividad. Presentar ejemplos de modelos de sistemas dinámicos de interés. Mostrar diferentes técnicas de identificación de parámetros en los modelos. Simular por computadora los sistemas estudiados.
- **Contenidos mínimos:** Concepto y caracterización de sistemas dinámicos (no lineales, con limitaciones en las variables), en tiempo continuo y discreto, autónomos y de control. Representación en el espacio de estados. Concepto de flujo y trayectoria. Vinculación con las ecuaciones diferenciales ordinarias o en diferencias que describen los sistemas físicos. Muestreo. Sistemas híbridos: impulsionales y switching. Caracterización de regiones de equilibrio e invariantes. Incorporación de la teoría de conjuntos para contemplar las limitaciones (restricciones) en las variables. Controlabilidad y estabilizabilidad en presencia de restricciones. Atractividad y estabilidad. Estabilidad asintótica global (teoría de Lyapunov). Funciones de Lyapunov de control y robustas. Sistemas (modelos) dinámicos particulares: sistemas hidráulicos/mecánicos, sistemas químicos, sistemas eléctricos, sistemas biológicos y biomédicos. Técnicas de identificación de parámetros, para modelos de estructura fija. Método de mínimos cuadrados, método de subespacios, regularización de datos. Simulación por computadora de los sistemas mencionados.
- **Bibliografía básica del curso:**
 - Strogatz, S.H.: Nonlinear dynamics and chaos, With applications to physics, biology, chemistry, and engineering. CRC press, 2018.
 - Sontag, E.D.: Mathematical control theory: deterministic finite dimensional systems (Vol. 6). Springer, 2013.
 - Goebel, R; Sanfelice, R.G; Teel A. R.: Hybrid Dynamical Systems. Princeton University Press, 2012.
 - Blanchini, F.; Miani, S.: Set-Theoretic Methods in Control, Birkhauser, 2009.
 - Ljung L.; System Identification, second ed., Prentice-Hall, 1999.
 - Vidyasagar, M.: Nonlinear systems analysis. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002.
 - Khalil, H.K.; Grizzle, J.W.: Nonlinear systems (Vol. 3). Upper Saddle River, NJ: Prentice hall, 2002

Programación Entera

- **Responsable:** Gabriela Corsano
- **Docentes colaboradores:** Diego Cafaro, Vanina Cafaro
- **Duración:** 60 horas
- **Objetivos:** Introducir al alumno en el conocimiento de la programación entera. La necesidad de incluir variables enteras. Presentar nociones

básicas del modelado matemático de problemas de programación entera. Introducir problemas clásicos: problemas de asignación, de la mochila, del cubrimiento y del viajante. Nociones de complejidad. Presentar estrategias de resolución de programas enteros y mixtos-enteros lineales (MILP). Ramificación-acotamiento y convexificación del dominio. Presentar algoritmos de resolución de programas matemáticos no-lineales mixto-enteros (MINLP). Método de Aproximaciones Exteriores (OA). Desarrollo de habilidades en GAMS para modelar problemas simples de programación entera.

- Contenidos Mínimos: Nociones básicas del modelado matemático de problemas de programación entera. Problemas clásicos: problemas de asignación, de la mochila, de cobertura y del viajante. Nociones de complejidad. Estrategias de resolución de programas enteros y mixtos-enteros lineales (MILP). Relajación. Estrategia de resolución por ramificación y acotamiento: pre-procesamiento y determinación de cotas, reglas de selección del nodo y de la variable de separación. Noción de cortes válidos, enteros y mixtos-enteros. Método de planos de corte de Gomory para programas enteros y mixtos-enteros. Descomposición generalizada de Benders. Estrategia de ramificación y cortes. Método de Aproximaciones Exteriores (OA) para programas no lineales mixtos-enteros con relajación convexa (MINLP). Método OA con relajación de restricciones de igualdad (OA/ER). Método OA/ER con función penalidad aumentada (OA/ER/AP).
- Bibliografía básica del curso:
 - L.A. Wolsey. "Integer Programming". J. Wiley and Sons (1998).
 - G.L. Nemhauser y L.A. Wolsey. "Integer and Combinatorial Optimization". J. Wiley & Sons (1988).
 - R.S. Garfinkel y G.L. Nemhauser. "Integer Programming". J. Wiley & Sons (1972).
 - C.A. Floudas. "Nonlinear and Mixed-Integer Optimization: Fundamentals and Applications". Oxford University Press (1995).
 - M. Conforti, G. Cornuejols y G. Zambelli . "Integer Programming". Springer International Publishing (2014).

Teoría de Grafos y Aplicaciones

- Responsable: Ricardo Toledano
- Docentes colaboradores: Marian Marcovecchio, Luciana Melchiori
- Duración: 60 horas
- Objetivos: presentar resultados básicos de la teoría de grafos para luego utilizarlos en el estudio de los diversos modelos matemáticos que esta teoría ofrece para resolver problemas prácticos en las ciencias de la computación, la optimización y el diseño de algoritmos.
- Contenidos Mínimos: Nociones básicas de grafos. Matrices de incidencia y adyacencia. Isomorfismo. Grafos especiales. Caminos y ciclos. Grafos bipartitos. Ciclos eulerianos y hamiltonianos en grafos. Grafos ponderados. Algoritmo de Dijkstra. Árboles. Caracterización de árboles. Árboles de expansión. Algoritmos de búsqueda en profundidad y búsqueda a lo ancho. Árboles de expansión mínima. Algoritmo de Prim. Árboles binarios. Construcción de árboles de búsqueda binaria. Árboles

de decisión. Flujo en redes. Dualidad. Algoritmo de flujo máximo. Teorema de flujo máximo y corte mínimo. Flujos enteros. Algoritmo de Ford-Fulkerson. Algoritmo de Edmonds y Karp.

- Bibliografía básica del curso:
 - J. A. Bondy y U. S. R. Murty. Graph theory, volumen 244 de Graduate Texts in Mathematics. Springer, New York, 2008.
 - R. Diestel. Graph theory, volumen 173 de Graduate Texts in Mathematics. Springer, Heidelberg, Fourth Ed., 2010.
 - M. C. Golumbic. Algorithmic graph theory and perfect graphs, volumen 57 de Annals of Discrete Mathematics, Elsevier, Amsterdam, 2nd. Ed., 2004.
 - R. Grimaldi. Discrete and combinatorial mathematics. An applied introduction. Fifth Ed. Pearson. 2004.

Otros cursos de formación complementaria

Álgebra matricial para Data Science

- Responsable: Liliana Forzani
- Profesor colaborador: Miguel Marcos
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Aprender resultados clásicos y recientes del análisis matricial que resultan centrales en Data Science, especialmente para el tratamiento de big data.
- Contenidos mínimos: Conceptos fundamentales del álgebra lineal. Cálculo con grandes matrices. Rango bajo y Compressed Sensing. Perturbaciones de rango bajo en A y su inversa. Descomposición en valores singulares. Optimización. Minimización de una función paso por paso. Gradiente descendiente. Aprendiendo de los datos. Estructura de redes neuronales para aprendizaje profundo (deep learning). Backpropagation. Redes neuronales y la función de aprendizaje. Encontrando agrupamientos (clusters) en grafos.
- Prácticas: estas consistirán en guías de resolución de problemas.
- Bibliografía básica del curso:
 - Strang, G. Linear Algebra and Learning from Data. Wellesley-Cambridge Press; First edition (January 2, 2019).
 - Trefethen, L. y Bau, D. Numerical Linear Algebra. SIAM, 1997.

Algoritmos de Resolución de Programas Matemáticos

- Responsable: Diego Cafaro
- Docentes colaboradores: Gabriela Corsano, Pío Aguirre
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Introducir al alumno en el conocimiento de algoritmos de búsqueda de soluciones a problemas de optimización. Retomar los métodos simplex, simplex dual y de punto interior para programas lineales. Presentar métodos de búsqueda de soluciones locales a programas no lineales sin restricciones: descenso más empinado, direcciones conjugadas, métodos newtonianos y quasi-newtonianos.

Región de confianza. Búsqueda unidimensional: salto óptimo y salto aceptable. Presentar métodos de búsqueda de óptimos locales en programas matemáticos no lineales sujetos a restricciones de desigualdad: gradiente reducido, proyección del gradiente, aproximaciones cuadráticas, función lagrangiana aumentada, función penalidad y función barrera. Implementar modelos matemáticos no lineales en GAMS y evaluar el desempeño de diferentes resolvedores (“solvers”).

- Contenidos Mínimos: Métodos simplex, simplex dual y de punto interior para programas lineales. Métodos de búsqueda de soluciones locales a programas no lineales sin restricciones: descenso más empinado, direcciones conjugadas, métodos newtonianos y quasi-newtonianos. Método DFP y BFGS. Región de confianza. Búsqueda unidimensional: salto óptimo y salto aceptable. Reglas de Goldstein, Armijo y Wolfe. Métodos de búsqueda de óptimos locales en programas matemáticos no lineales sujetos a restricciones de desigualdad: gradiente reducido, proyección del gradiente, aproximaciones cuadráticas, función lagrangiana aumentada, función penalidad y función barrera.
- Bibliografía básica del curso:
 - J. Nocedal, S.J. Wright. “Numerical Optimization”. Springer (2006).
 - M.S. Bazaraa, H.D. Sheraly, C.M. Shetty . “Nonlinear Programming: Theory and Algorithms”. Wiley-Interscience (2006).
 - M.S. Bazaraa, J.J. Jarvis, H.D. Sheraly. “Linear Programming and Network Flows”. Wiley (2009).
 - R. Fletcher. “Practical Methods of Optimization”. Wiley (2000).
 - D.P. Bertsekas. “Nonlinear Programming”. 2da. Edición. Edit. Athena Scientific, Massachusetts (1999).
 - D.G. Luenberger. “Linear and Nonlinear Programming”. Ed. Addison-Wesley Publishing Company, 2da. Edición (1984).
 - C.A. Floudas. “Nonlinear and Mixed-Integer Optimization: Fundamentals and Applications”. Edit. Oxford University Press (1995).
 - Biegler, L.T. “Nonlinear Programming: Concepts, Algorithms, and Applications to Chemical Processes”. MOS-SIAM Series on optimization, 2010.

Algoritmos y Estructuras de Datos

- Responsable: Miguel Sebastian Pauletti
- Docentes colaboradores: Pedro Morin, Eduardo Garau
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Presentar diversas técnicas de diseño de algoritmos. Introducir las definiciones básicas de grafos y algoritmos en grafos. Discutir problemas que se pueden modelar como problemas de grafos. Presentar la definición de complejidad de algoritmos, de clasificación de problemas de acuerdo a su dificultad. Clases P, NP y NP-completo. Nociones de algoritmos aproximados y heurísticas. Resolver por

computador problemas de tamaño mediano, donde se ejerciten las nuevas técnicas aprendidas.

- Contenidos Mínimos: Técnicas de diseño de algoritmos: dividir y conquistar, backtracking, algoritmos golosos, programación dinámica. Complejidad. Grafos: definiciones básicas, arboles, grafos eulerianos y hamiltonianos. Coloreo, matching. Algoritmos en grafos y aplicaciones: búsqueda BFS DFS, , algoritmos de Prim y Kruskal, algoritmos para detección de circuitos, algoritmos de Dijkstra, Ford, Dantzig. Algoritmos aproximados. Heurísticas para el problema del viajante de comercio. Algoritmos para coloreo de grafos. Problemas NP-completos: P y NP. Máquinas de Turing no determinísticas. Problemas de grafos NP-completos.
- Bibliografía básica del curso:
 - Cormen, Thomas H.; Leiserson, Charles E.; Rivest, Ronald L.; Stein, Clifford. Introduction to Algorithms (3rd ed.). MIT Press and McGraw-Hill.(2009)
 - N. Wirth: Algoritmos y Estructuras de Datos, Prentice-Hall Hispanoamericana, 1987.
 - G. Brassard y P. Bratley: Fundamentals of Algorithmics, Prentice-Hall, 1996.
 - D. E. Knuth: The Art of Computer Programming, Addison-Wesley, 1973 (vol. 1), 1981 (vol. 2), 1975 (vol. 3).
 - B. M. E. Moret y H. D. Shapiro: Algorithms from P to NP, vol. 1, Benjamin/Cummings, 1991.

Análisis Funcional

- Responsable: Gladis Pradolini
- Carga horaria: 90 horas
- Objetivos: Introducir los conceptos relevantes del Análisis Funcional para su eventual aplicación al tratamiento avanzado de diversas ramas de la Matemática: análisis de Fourier, ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, ecuaciones integrales.
- Contenidos mínimos: Espacios de Hilbert. Espacios de Banach. Teorema de Hahn-Banach. Funcionales lineales acotados. Espacio dual. Teorema de representación de Riesz. Teoremas de la función abierta, del gráfico cerrado. Principio de la acotación uniforme. Convergencias débil y débil*. Teorema de Banach-Alaoglu. Operadores compactos en espacios de Banach. Caracterización del espectro de operadores compactos.
- Bibliografía básica del curso:
 - Bachman, G y Narici, L.: Functional Analysis, Academic Press, 1966.
 - Balakrishnan, A. V.: Applied Functional Analysis, Springer-Verlag 1976.
 - Brézis, H.: Análisis Funcional, Alianza Editorial, Madrid, 1984.
 - Cerdá, J.: Lineal Functional Analysis, AMS Graduate Studies in Math. Vol. 116, 2010.
 - Conway, J. A.: A course in Functional Analysis, Springer-Verlag, 1985.

- DeVito, C. L.: Functional Analysis, Academic Press, 1978.

Cálculo de variaciones

- Responsable: M. Sebastián Pauletti
- Carga horaria: 90 horas
- Objetivos: El cálculo de variaciones es uno de los temas clásicos de las matemáticas que continúa evolucionando. Más allá de su importancia para otras ramas de la matemáticas como geometría y ecuaciones diferenciales es también ampliamente usada en física, ingeniería, economía y biología. Se pretende que los alumnos conozcan las ideas básicas de los métodos clásicos y directos, como así también alguna de sus aplicaciones, especialmente el tema de superficie mínima.
- Contenidos mínimos: Métodos Clásicos. Ecuaciones de Euler-Lagrange. Formulación Hamiltoniana. Métodos Directos. Espacios de Sobolev. Teoremas de existencia y unicidad. Resultados de regularidad. Superficies Mínimas. Repaso de geometría diferencial. Método de Douglas-Courant-Tonelli. Regularidad.
- Bibliografía básica del curso:
 - Dacorogna, B.: Introduction to the Calculus of Variations. Imperial College Press, 2009.
 - Dacorogna, B. Direct Methods in the Calculus of Variations, 2008.

Control Lineal

- Responsable: Alejandro H. González
- Docentes colaboradores: Alejandro Anderson, Agustina D´Jorge.
- Carga horaria: 60 horas
- Objetivos: Proporcionar al cursante una visión sistemática del control lineal, profundizando los contenidos relacionados con diseño de controladores y de observadores de estado. Se introducen además los conceptos de control robusto.
- Contenidos mínimos: Sistemas en el espacio de estado. Análisis en tiempo continuo y discreto. Muestreo. Controlabilidad y Observabilidad. Realimentación del estado. Observadores de estado. Introducción al control robusto. Diseño de controladores usando observadores de estado.
- Bibliografía básica del curso:
 - Williams, R. L., Lawrence, D. A. (2007) Linear state-space control systems. John Wiley & Sons.
 - Ogata, K., Yang, Y. (2002). Modern control engineering (Vol. 4). India: Prentice hall.
 - Houpis, C. H., & Sheldon, S. N. (2013). Linear Control System Analysis and Design with MATLAB®. CRC Press.
 - Salgado, Mario E.; Yuz Juan I; Rojas, Ricardo A. (2005) Análisis de sistemas lineales – Prentice Hall – Pearson Education S.A. – España.
 - Domínguez Sergio; Campoy P. , Sebastián J.M. y Jiménez A. (2004) Control en el espacio de estado – Prentice Hall - Pearson Education S.A. – España.

Control No Lineal

- Responsable: Marcelo Actis
- Docentes colaboradores: Alejandro Anderson, Agustina D'Jorge, Alejandro Gonzalez.
- Carga horaria: 60 horas
- Objetivos: Representar los sistemas dinámicos mediante ecuaciones diferenciales lineales y no lineales. Analizar su comportamiento en el espacio de estados, tanto en tiempo continuo como discreto. Presentar los fundamentos para el análisis y diseño de sistemas de control no lineales, con énfasis en el estudio de la estabilidad.
- Contenidos mínimos: Sistemas de segundo y tercer orden. Ecuaciones diferenciales no lineales. Contracciones. Equilibrios. Existencia y unicidad de soluciones. Análisis aproximado. Teoría de Lyapunov. Estabilidad de la relación entrada-salida. Sistemas completos. Realizabilidad. Diseño de sistemas de control no lineales.
- Bibliografía básica del curso:
 - Vidyasagar M (2002) Nonlinear systems analysis, 2nd edn. SIAM Design Classics in Applied Mathematics
 - Slotine J.J., Li W. (1991). Applied nonlinear control. Prentice-Hall.
 - Nijmeijer H, van der Schaft AJ (2006) Nonlinear dynamical control systems, 3rd edn. Springer
 - Khalil HK (2002) Nonlinear systems, 3rd edn. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ
 - Sontag, E. D. (1998). Mathematical Control Theory. Deterministic Finite-Dimensional Systems. New York.: Springer-Verlag, 2nd ed

Diseño y análisis de experimentos.

- Responsable: Sabrina Duarte
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Adquirir conocimientos básicos de Estadística para el planteo de modelos y posterior manejo y análisis de datos, especialmente para el diseño de experimentos y regresión. Desarrollar un pensamiento crítico y una metodología de trabajo en el área de Estadística que le permita enfrentarse con nuevas situaciones problemáticas no presentadas en el curso, así como también una lectura crítica de trabajos publicados en el área de conocimiento del alumno.
- Contenidos mínimos: Modelos lineales. Estimación y distribución de los estimadores. Test para los parámetros del modelo. Regresión. Inferencia y predicción. Experimentos con un factor. Análisis de la varianza. Comparaciones múltiples. Validación del modelo. Modelos de efecto fijo y efecto aleatorio. Diseños con bloques. Diseño de experimentos multifactorial. Diseños mixtos. Diseños anidados. Datos no balanceados. Diseño factorial 2k. Confusión en el diseño factorial 2k. Diseños fraccionales. Superficie de respuesta.
- Bibliografía:
 - Dean, A., Voss, D. y Draguljic, D. (2017). Design and Analysis of Experiments. Springer.
 - Kuehl, R. (2001). Diseño de Experimentos. Thomson Learning.

- Kutner, M. H., Nachtsheim, C. J., Neter, J., y Li, W. (2005). Applied linear statistical models. New York: McGraw-Hill New York.
- Montgomery, D.C. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Limusa- Wiley, México. 700 pp.
- Weisberg, S. (2005) Applied Linear Regression, Tercera Edición. Wiley-Interscience.

Introducción al aprendizaje automático

- Responsable: Diego Tomassi
- Duración: 90 horas.
- Objetivos: Las herramientas modernas de análisis de datos se encuentran muchas veces en la interfase entre la estadística y las ciencias de la computación. El objetivo de este curso es presentar los fundamentos estadísticos del aprendizaje a partir de datos y los principales enfoques y algoritmos modernos para el análisis exploratorio y predictivo de datos multivariados.
- Contenidos mínimos: Fundamentos de aprendizaje estadístico. Riesgo empírico y riesgo estructural. Regularización. El modelo PAC. Predicción con modelos lineales y modelos aditivos. Métodos basados en árboles de decisión. Estrategias de agregación: bagging; boosting; random forests. Maximización de margen y máquinas de vectores soporte. Estimación no paramétrica de densidades. Detección de observaciones atípicas. Análisis de agrupamientos.
- Bibliografía básica:
 - Blum, A., Hopcroft, J., and Kannan, R. (2020). Foundations of Data Science. Cambridge: Cambridge University Press.
 - T. Hastie, R. Tibshirani, and J.H. Friedman. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction. Springer series in statistics. Springer, 2009.
 - A.J. Izenman. Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learning. Springer Texts in Statistics. Springer New York, 2009.
 - M. Mohri, A. Rostamizadeh, and A. Talwalkar (2018). Foundations of Machine Learning. MIT Press, Second Edition.
 - S. Shalev-Shwartz, and S. Ben-David (2014). Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms. Cambridge University Press.

Métodos de Galerkin para ecuaciones diferenciales

- Responsable: Pedro Morin
- Docente colaborador: Marcelo Actis
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Estudiar la teoría y aplicaciones del método de elementos finitos y del método isogeométrico.
- Contenidos mínimos: El método de Galerkin para ecuaciones elípticas. Ortogonalidad. Lema de Cea. Elementos finitos. B-splines. Aproximación. Lema de Bramble-Hilbert. Cotas del error para problemas elípticos de 2do orden. Problemas de punto silla. Métodos mixtos. Ecuaciones de Stokes. Métodos de Galerkin para ecuaciones

parabólicas. Semidiscretización espacial. Discretizaciones espacio tiempo. Estabilidad. Problemas elípticos no lineales. Problemas parabólicos no lineales.

- Bibliografía básica del curso:
 - The Mathematical Theory of Finite Element. Methods. Brenner, Susanne, Scott, Ridgway, 2008.
 - Braess, D. Finite elements. Theory, fast solvers and applications in solid mechanics. 3ra edición. Cambridge. 2007
 - Larsson, S; Thomée, V. Partial differential equations with numerical methods. Springer. 2005.
 - Ciarlet, Ph. The finite element method for elliptic problems. SIAM. 2002
 - Beirao da Veiga, L., Buffa A., Sangalli, G. and Vazquez, R., Mathematical analysis of variational isogeometric methods, Acta Numerica 23, 157-287 (2014).
 - Schumaker, L., Spline Functions: Basic Theory, 2007.

Métodos de optimización global

- Responsable: Marian Marcovecchio
- Profesores colaboradores: Pío Aguirre, María Laura Taverna, Mariana Serván
- Duración: 60 horas
- Objetivos: El interés por resolver con garantías de optimalidad global problemas de optimización surge en diversos campos y tiene numerosas aplicaciones. En este curso se persiguen los siguientes objetivos: 1. Introducir los diferentes tipos de problemas de optimización y estudiar las condiciones que deben satisfacer para poder resolverse a optimalidad global a través de métodos de búsqueda local. 2. Presentar los principales métodos generales de optimización global para problemas de programación matemática del tipo No Lineal (NLP) y Mixto Entero No Lineal (MINLP). 3. Resolver problemas de diferentes dimensiones y complejidades. 4. Evaluar alcances y limitaciones de las técnicas existentes. Presentar aspectos del área que aún son temas abiertos de investigación.
- Contenidos mínimos:

Fundamentos sobre convexidad y problemas de optimización. Condiciones de optimalidad para problemas no restringidos y con restricciones. Dualidad. Técnicas de relajación convexa. Métodos de optimización global: aproximación interior y exterior, de descomposición primal dual, de tipo ramificación y acotamiento (“Branch and Bound”), de tipo ramificación y corte (“Branch and Cut”), aritmética de intervalos, optimización Lipschitz, algoritmos de descomposición.
- Bibliografía básica del curso:
 - A. Neumaier “Complete Search in Continuous Global Optimization and Constraint Satisfaction” A chapter for Acta Numerica 2004 (A. Iserles, ed.), Cambridge University Press 2004.
 - C.A. Floudas, “Deterministic Global Optimization. Theory, Methods and Applications”, Kluwer Academic Publishers, 1999.
 - C.A. Floudas, “Nonlinear and Mixer-Integer Optimization. Fundamentals and Applications”, Springer, 1998.

- C.A. Floudas, P.M. Pardalos, "Recent Advances in Global Optimization", Princeton University Press, Princeton, 1992.
- C.A. Floudas, P.M. Pardalos, "Encyclopedia of Optimization", Springer, 2nd Edition, 2009.
- M. Locatelli, F. Schoen, "Global Optimization: Theory, Algorithms and Applications", Volumen 15 de MOS-SIAM Series on Optimization, SIAM, 2013.
- R. Horst, P.M. Pardalos and N.V. Thoai, "Introduction to Global Optimization", Kluwer Academic Publishers, 2001, ISBN: 0-7923-6756-1 (2nd edition).

Métodos numéricos para ecuaciones diferenciales

- Responsable: Eduardo Garau
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Comprender los fundamentos de métodos numéricos para ecuaciones diferenciales ordinarias y parciales.
- Contenidos mínimos: Métodos numéricos para problemas a valores iniciales. Euler. Runge-Kutta. Estabilidad. Métodos multipaso de Adams y Midpoint. Problemas a valores de borde en una y dos dimensiones. Diferencias finitas. Estabilidad, análisis e implementación. Métodos de diferencias finitas para problemas a valores iniciales y de borde. Método de Euler explícito, implícito y del trapecio.
- Bibliografía básica del curso:
 - Alfio Quarteroni, Riccardo Sacco, Fausto Saleri Numerical Mathematic Volume 37 of Texts in Applied Mathematics Springer, 2017

Modelación matemática y optimización de sistemas integrados de manufactura

- Responsable: Gabriela Corsano.
- Docente colaborador: Luciana Melchiori, Yanina Fumero
- Duración: 60 horas.
- Objetivos: Representar mediante modelos de programación matemáticas problemas frecuentes de la industria de procesos. Modelar decisiones discretas por medio de proposiciones lógicas y/o variables enteras/binarias. Identificar y transformar expresiones no lineales que pueden ser linealizadas. Implementar y resolver modelos en GAMS. Analizar los resultados obtenidos de la optimización y plantear diferentes escenarios de producción-distribución-gestión. Aplicar técnicas de resolución adecuadas para mejorar la performance en el proceso de resolución.
- Contenidos mínimos: Introducción a la Programación Entera. Formulación de problemas de programación entera. Casos especiales. Modelación de condiciones: "OR", "OR exclusivo", implicación, equivalencia. Procedimiento sistemático para derivar desigualdades lineales de proposiciones lógicas. Conversión de variables enteras a binarias. Expresión del producto de dos variables binarias. Expresión del producto de variable binaria por variable continua no negativa. Relajaciones del problema MILP. Relajación lagrangiana. Dualidad. Cotas del problema relajado y primal reducido. Método bi-level. Ejemplos

y ejercicios de aplicación. Implementación y resolución de modelos en GAMS.

- Bibliografía básica del curso
 - Biegler, L.T.; Grossmann, I.E.; Westerberg, A.W.. *Systematic Methods of Chemical Process Design*. Prentice Hall PTR, 1997.
 - Chen, D-S.; Batson, R.G.; Dang, Y. *Applied Integer Programming*. John Wiley & Sons Inc., 2010.
 - Brooke, A.; Kendrick, D.; Meeraus, A.; Raman, R. *GAMS, A User's Guide*; GAMS Development Corporation: Washington, DC, 2005.
 - Nemhauser G.; Wolsey L. *Integer and Combinatorial Optimization*. Wiley Interscience. 1999.
 - Winston,W.L., *Operations Research, Applications and Algorithms*, Duxbury Press, 2003.
 - Wolsey, L.A., *Integer Programming*, Wiley & Sons Inc., 1998.

Modelado Matemático para el Desarrollo de la Industria Energética

- Responsable: Vanina Cafaro
- Docente colaborador: Diego Cafaro
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Introducir al alumno en estrategias de modelado para la resolución de problemas de toma de decisiones relacionadas al desarrollo de la industria de recursos energéticos renovables y no-renovables. Presentar modelos Mixto Entero Lineales y No Lineales (MILP y MINLP) para el diseño de la cadena de producción de energía a partir de recursos renovables y no renovables. Discutir el impacto de las técnicas de extracción de recursos fósiles convencionales y no convencionales. Desarrollar y evaluar la sustentabilidad de planes de explotación de reservorios. Asistir en el diseño de la infraestructura de producción, transporte y procesamiento de recursos. Presentar modelos MILP para el diseño de cadenas de abastecimiento de insumos y servicios a las operaciones; redes de abastecimiento, captura, tratamiento y reutilización de recursos naturales involucrados. Presentar modelos de optimización del transporte de combustibles líquidos y gaseosos por ductos. Ductos simples, con uno y múltiples destinos. Ductos complejos, con más de un origen y más de un destino. Flujo bidireccional. Redes en árbol y malla.
- Contenidos mínimos: Modelos MILP y MINLP para el diseño de la cadena de producción de energía. Plan de desarrollo de recursos no convencionales. Diseño de la infraestructura de producción, transporte y procesamiento. Modelos MILP para el diseño de cadenas de abastecimiento de insumos y servicios a las operaciones. Diseño de redes de abastecimiento, captura, tratamiento y reutilización de recursos naturales involucrados. Modelos de optimización del transporte de combustibles líquidos y gaseosos por ductos.
- Bibliografía básica del curso:
 - L. Biegler, I.G. Grossmann, A. Westerberg. "Systematic Methods of Chemical Process Design". Prentice Hall (1997).
 - W.L. Winston, M. Venkataramanan, "Introduction to Mathematical Programming". Thomson Learning (2002).

- R.H. Ballow. "Business Logistics: Supply Chain Management". Prentice Hall (2003).
- A.F. Montagna, D.C. Cafaro (2019) "Supply chain networks servicing upstream operations in oil and gas fields after the shale revolution". AIChE Journal 65(12), e16762.
- V.G. Cafaro, P.C. Pautasso, J. Cerdá, D.C. Cafaro (2018) "Efficient planning of crude oil supplies through long-distance pipelines". Comput. Chem. Eng., 122, 203-217.
- D.C. Cafaro, I.E. Grossmann (2014) "Strategic Planning, Design and Development of the Shale Gas Supply Chain Network". AIChE Journal, 60, 2122-2142.

Modelado Matemático para la Gestión de Cadenas de Suministro Sustentables

- Responsable: Luis Javier Zeballos
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Presentar nociones básicas sobre estrategias de modelado matemático para la resolución de problemas de toma de decisiones relacionadas al diseño y planificación de cadenas de suministro sustentables. Presentar nociones básicas sobre estrategias de modelado de diseño de producto para la re-manufactura y su integración con la toma de decisiones asociadas al diseño y planificación de cadenas de suministro sustentables. Presentar las implicancias básicas en el modelado de considerar un enfoque de gestión basado en la responsabilidad extendida de los productores/fabricantes, la cual compromete física y financieramente a los productores/fabricantes por el impacto ambiental de sus productos después del final de la vida útil de los mismos.
- Contenidos mínimos: Modelos MILP y MINLP para el diseño y planificación de cadenas de suministro sustentables. Modelos MILP y MINLP para el diseño de productos para la re-manufactura. Integración de las decisiones asociadas al diseño y planificación de cadenas de suministro sustentables con las decisiones de diseño de productos. Incidencia en el modelado de considerar un enfoque de gestión basado en la responsabilidad extendida de los productores/fabricantes.
- Bibliografía básica del curso:
 - M.E. Ferguson, G.C. Souza. Closed-loop Supply Chains. New Developments to Improve the Sustainability of Business Practices. CRC Press (2010).
 - A.P. Barbosa Pova, A. Corominas, J.L. de Miranda. Optimization and Decision Support Systems for Supply Chains. Springer (2017).
 - R.H. Ballow. "Business Logistics: Supply Chain Management". Prentice Hall (2003).
 - K. Govindan, H. Soleimani. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus. Journal of Cleaner Production, 142(1), 371–384, (2017).
 - L.J. Zeballos, C.A. Méndez, A.P. Barbosa-Pova. Mixed-integer linear programming approach for product design for life-cycle

Modelos estadísticos multivariados

- Responsable: Pamela Llop
- Carga horaria: 90 horas
- Objetivos: Mientras que los problemas modernos de predicción permiten el uso de herramientas flexibles de análisis de datos que no buscan interpretar los fenómenos que subyacen a los datos, los procesos de inferencia que intentan explicar la relación entre distintas variables aleatorias usualmente necesitan la adopción de modelos que permitan caracterizar la incerteza asociada al muestreo. El objetivo de este curso es presentar al estudiante la teoría de modelos lineales y modelos lineales generalizados que facilitan el análisis inferencial en múltiples aplicaciones con datos.
- Contenidos mínimos: Distribución normal multivariada en espacios vectoriales. Modelos lineales. Inferencia en modelos lineales. Modelos lineales de rango reducido. Modelos lineales generalizados.
- Bibliografía básica:
 - A. Agresti. Foundations of Linear and Generalized Linear Models. Wiley, 2015.
 - M. L. Eaton, Multivariate Statistics: A Vector Space Approach. Institute of Mathematical Statistics, 2007.
 - G. C. Reinsel and R. P. Velu. Multivariate Reduced-Rank Regression. Springer, 1998.

Scheduling

- Responsable: Carlos A. Méndez
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Este curso presenta nociones básicas sobre el diseño y la operación de procesos complejos de producción y transporte e introduce metodologías alternativas basadas en optimización matemática para la resolución de problemas de programación, re-programación y diseño óptimo de procesos de producción y distribución de interés industrial.
- Contenidos mínimos: Procesos de manufactura, modelado matemático, representaciones alternativas, operaciones de distribución en la cadena de suministro, integración óptima de problemas de producción y distribución, problemas de diseño de redes de flujo.
- Bibliografía básica:
 - R. Dondo, C.A. Méndez, J. Cerdá, “Optimal management of logistic activities in multi-site environments”, Computers and Chemical Engineering, 32, 11, 2547 – 2569, (2008).
 - R. Dondo, C.A. Méndez, J. Cerdá, “Managing distribution in supply chain networks”, Industrial and Engineering Chemistry Research, 48, 22, 9961-9978, (2009).
 - G.M. Kopanos, C.A. Méndez, L. Puigjaner, “MIP-based decomposition strategies for industrial large-scale scheduling problems in multi-stage batch plants: A benchmark

pharmaceuticals scheduling problem”, *European Journal of Operational Research*, 207, 2, 644 – 655, (2010).

- Méndez, C.A., Cerdá, J., Harjunkoski, I., Grossmann, I.E. & Fahl, M. (2006). State-of-the-art review of optimization methods for short-term scheduling of batch processes. *Computers and Chemical Engineering*, 30, 6, 913 – 946,
- Harjunkoski, C. Maravelias, P. Bongers, P. Castro, S. Engell, I. Grossmann, J. Hooker, C. Méndez, G. Sand and J. Wassick. (2014). Scope for industrial applications of production scheduling and solution methods, *Computers and Chemical Engineering*, 62, 161 – 193.

Simulación de Eventos Discretos

- Responsable: Carlos A. Méndez
- Duración: 60 horas
- Objetivos: Comprender las etapas desarrollo de un modelo de simulación, estudiar aplicaciones de modelos de simulación, con énfasis en procesos de manufactura y servicios, conocer los problemas metodológicos y las técnicas de modelado de simulación y experimentación, comprender la arquitectura de los programas de simulación del tipo siguiente evento, conocer la posible utilización de lenguajes de simulación discreta y su aplicación a problemas industriales.
- Contenidos mínimos: Introducción a la simulación, conceptos generales en simulación de eventos discretos, modelos estadísticos en simulación, simulación de variables aleatorias, datos de entrada para modelos de simulación, verificación y validación de modelos de simulación, organización de experimentos y análisis de resultados de simulación, evaluación y optimización de sistemas por simulación, diseño mediante simulación, simulación de sistemas de fabricación y manipulación de materiales, casos de estudio para una variedad de áreas de aplicación: manufactura, logística, transporte, etc.
- Bibliografía básica:
 - Banks J., Carson J.S., Nelson B.L., Nicol D.M. "Discrete Event System Simulation" Fourth edition. Prentice-Hall International Series in Industrial and Systems Engineering (2004).
 - Kelton D., Sadowski, R.P., Sturrok, D.T. "Simulation With Arena" Fourth edition. McGraw-Hill series in Industrial Engineering and Management Science. (2006)
 - Khoshnevis, B. "Discrete Systems Simulation". McGraw-Hill series in Industrial Engineering and Management Science. (1994) .
 - Law A. M. "Simulation Modeling and Analysis". McGraw-Hill series in Industrial Engineering and Management Science. (2006)
 - Seppanen, M.S., Kumar, S., Chandra, C. "Process Analysis and Improvement. Tools and Techniques". McGraw-Hill/Irwin series Operations and decision sciences. (2005)
 - Seila, A.F., Ceric, V., Tadikamalla, P. "Applied Simulation Modeling". Brooks/Cole, Thomson Learning, Inc. (2003).

Teoría de Ecuaciones Diferenciales Parciales

- Responsable: Pedro Morin
- Carga horaria: 90 horas
- Objetivos: Se pretende que los alumnos conozcan el comportamiento cualitativo de las soluciones de las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales de primer y segundo orden, siendo capaces de determinarlo dependiendo del tipo de ecuación (elíptica, parabólica, hiperbólica). También se pretende que se familiaricen con algunos métodos analíticos de resolución, que en algunas circunstancias permiten hallar formas cerradas de las soluciones, y en otras permiten obtener conclusiones acerca de su comportamiento cualitativo.
- Contenidos mínimos: Ecuación de Laplace, Calor y Ondas. Características y teorema de Cauchy-Kovalevskaya. Leyes de conservación y Shocks. Principios del máximo para ecuaciones elípticas y parabólicas. Solución por separación de variables.
- Bibliografía básica del curso:
 - Renardy, M. and Rogers R.: An Introduction to Partial Differential Equations, Springer, 1993.
 - John F.: Partial Differential Equations, (4th. ed.), Springer-Verlag, 1982.
 - Evans L. C.: Partial Differential Equations, Graduate Studies in Mathematics Vol. 19, AMS, Providence, Rhode Island, 1991.

Teoría de Estadística

- Responsable: Liliana Forzani
- Duración: 60 horas
- Objetivos: La misión fundamental de la estadística es proveer métodos analíticos que, a partir de una muestra de datos, permitan inferir conclusiones válidas sobre la población de la cual provienen los datos. El objetivo de este curso es brindar los fundamentos matemáticos que sustentan los procedimientos clásicos de estimación a inferencia en estadística.
- Contenidos mínimos: Convergencia de variables aleatorias. Teoremas de límite. Estimación puntual. Estimadores de máxima verosimilitud. Teoría asintótica. Inferencia paramétrica. Suficiencia. Teoría de decisión y estimadores minimax.
- Prácticas: estas consistirán en guías de resolución de problemas.
- Bibliografía básica:
 - G. Casella and R. L. Berger. (2002). Statistical inference. Duxbury Pacific Grove.
 - T. Ferguson. (1996). A Course in Large Sample Theory. CRC Press.
 - L. Wasserman. (2010). All of Statistics: A Concise Course in Statistical Inference. Springer.