



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
UNIDAD DE POSGRADO

---

# MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MODELIZACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL

---

PLAN DE ESTUDIOS

2025

# Índice

<b>1. Programa de Estudios</b>	<b>3</b>
1.1. Lineamientos . . . . .	3
1.2. Proceso de admisión . . . . .	4
1.3. Perfil del ingresante . . . . .	4
1.4. Para obtener el Grado de Maestro en Ciencias . . . . .	4
<b>2. Objetivos educacionales</b>	<b>5</b>
<b>3. Perfil del graduado</b>	<b>5</b>
<b>4. Plan curricular</b>	<b>5</b>
<b>5. Malla Curricular</b>	<b>7</b>
<b>6. Sumilla de los cursos (Contenidos referenciales)</b>	<b>8</b>
6.1. Cursos de pre-maestría . . . . .	8
6.2. Cursos de Maestría . . . . .	9
6.3. Cursos de Investigación . . . . .	20
<b>7. Plana docente</b>	<b>21</b>
<b>8. Líneas de investigación</b>	<b>22</b>

# MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MODELIZACIÓN MATEMÁTICA Y COMPUTACIONAL

## 1. Programa de Estudios

El IMCA (Instituto de Matemática y Ciencias Afines) en su propósito de promover la integración con sectores productivos del país desarrolla eventos académicos en conjunto con entidades de los sectores energía, economía, minero, agroindustria y otros. Producto de esta experiencia se ha puesto de manifiesto la necesidad de formación de especialistas e investigadores de alto nivel que puedan ocuparse de los problemas complejos de cada sector, por ejemplo relacionados al planeamiento integrado de largo plazo, la modelización de la operación de corto plazo o modelos de simulación numérica, la ubicación óptima de instalaciones, la optimización de proyectos de inversión, el planeamiento de redes inteligentes, modelos predictivos y otros problemas provenientes de la ingeniería, la economía, la meteorología, la sociología, la ecología o de la incorporación de nuevas tecnologías en los sistemas.

Debido a los requerimientos científicos interdisciplinarios que venimos de subrayar, este programa busca establecer un eje común de investigación en modelización matemática y computacional, tanto determinista como estocástica. Por ello proyectamos en los próximos años, que a partir de este eje común se potenciarán y diversificarán nuevos ámbitos de aplicación más especializados que responderán de forma más eficiente a las necesidades científicas y tecnológicas de nuestro país.

Si la línea de especialización y el tema de tesis así lo requiere, el estudiante deberá realizar una pasantía de investigación en una empresa o en un centro de investigación (o de innovación tecnológica) de reconocido prestigio.

Igualmente, dado el caso, el estudiante podrá recibir cursos específicos complementarios en otras instituciones con las cuales el IMCA tiene relación de cooperación académica, esto implica la Co-Asesoría (Co-tutela) con académicos e investigadores de experiencia internacional.

El programa de la Maestría en MMC (Modelización Matemática y Computacional) contará con un responsable que coordinará un tutor o asesor para cada alumno a fin de seleccionar los cursos electivos, acorde a sus requerimientos para el proyecto de investigación y desarrollo, correspondiente.

En síntesis, este programa busca formar especialistas de alto nivel en el desarrollo e implementación de modelos matemáticos rigurosos y técnicas computacionales que provean soluciones integrales a los problemas complejos de los sectores productivos del país.

### 1.1. Lineamientos

La maestría enfatizará diferentes ramas de la matemática aplicada, la modelización y la computación como herramienta, según el requerimiento del alumno, en relación a su proyecto de tesis o investigación. Dichos proyectos se realizarán en las siguientes áreas: optimización, simulación estocástica, economía matemática, teoría de juegos, sistemas

dinámicos, teoría de control, algoritmos computacionales, aprendizaje de máquina, modelos de proyección e inteligencia artificial.

## **1.2. Proceso de admisión**

Las modalidades de admisión a la Maestría en Ciencias en Modelización Matemática y Computacional, son:

- Evaluación de méritos y conocimientos
- Pre-maestría
- Segunda maestría
- Segunda especialización profesional
- Convenio
- Traslado externo
- Traslado interno

## **1.3. Perfil del ingresante**

- Demuestra madurez y disposición para dedicarle el tiempo necesario a las actividades que se proponen en el plan curricular y al desarrollo de la tesis.
- Demuestra conocimientos adecuados de matemática y programación.
- Eventualmente, dependiendo del proceso de admisión, debe poseer un tema de investigación que puede ser tratado desde al menos una de las líneas de investigación que el IMCA posee (o una de las entidades colaboradoras del IMCA).

## **1.4. Para obtener el Grado de Maestro en Ciencias**

Para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias, el estudiante debe cumplir con las siguientes obligaciones:

- Completar como mínimo 48 créditos;
- La nota en cada curso debe ser mayor o igual a 12 (sobre 20);
- El promedio ponderado debe ser mayor o igual a 14 (sobre 20);
- Sustentar y aprobar la Tesis correspondiente;
- Acreditar suficiencia de un idioma extranjero (de preferencia, inglés).

El grado que se otorga es de:

**Maestro en Ciencias en Modelización Matemática y Computacional**

## 2. Objetivos educativos

Formar especialistas e investigadores multidisciplinarios de alto nivel que puedan ocuparse de los problemas técnicos actuales y futuros, relacionados a la modelización matemática y computacional de los sistemas industriales complejos, como por ejemplo los de energía, recursos hídricos, transporte, telecomunicaciones, minería, pesca, entre otros.

## 3. Perfil del graduado

El egresado de la Maestría, deberá estar capacitado para:

- Interactuar con equipos multidisciplinarios que busquen solucionar problemas complejos de los sectores productivos, relacionados al planeamiento de la operación y la expansión de unidades de producción, estaciones, equipos, redes o activos, según corresponda a cada sector industrial.
- Desarrollar herramientas que apoyen la toma de decisiones, mediante modelación y simulación computacional para el correspondiente análisis cualitativo y cuantitativo de planes estratégicos, políticas y regulaciones y en especial de proyectos financieros de inversión en infraestructura de relevancia nacional (privada y estatal).
- Desarrollar herramientas que apoyen la toma de decisiones, mediante modelación y simulación computacional para el correspondiente análisis cualitativo y cuantitativo de planes estratégicos, políticas y regulaciones y en especial de proyectos financieros de inversión en infraestructura de relevancia nacional (privada y estatal).
- Entender problemas que se presentan en otros campos en donde la matemática aplicada es una herramienta y así facilitar la transferencia tecnológica de las consultorías internacionales ejecutadas para el Perú.
- Ejercer investigación en universidades y centros de desarrollo científico industrial, nacionales o extranjeros.
- Realizar estudios de Doctorado siguiendo los lineamientos de este programa de maestría.

## 4. Plan curricular

El plan curricular comprende cursos obligatorios (básicos) y cursos electivos (según la línea de investigación relacionada al proyecto de tesis), cada curso contará con clases teóricas y proyectos aplicados. El trabajo de investigación es conducente a la tesis y eventualmente a la producción de artículos científicos en revistas indexadas del área correspondiente. Para la obtención del Grado Académico de Maestro en Ciencias, el estudiante debe completar como mínimo un total de 48 créditos.

### Primer Ciclo

Código	Curso	Condición	Horas	Créditos	Prerequisito
MMC003	Métodos Computacionales	Obligatorio	48	3	Ninguno
MMC004	Modelos Aleatorios y Simulación	Obligatorio	48	3	Ninguno
MMC002	Análisis	Obligatorio	64	4	Ninguno

### Segundo Ciclo

Código	Curso	Condición	Horas	Créditos	Prerequisito
MMC006	Análisis de Datos y Estadística Inferencial	Obligatorio	48	3	Ninguno
MMC007	Optimización	Obligatorio	48	3	Ninguno
MMC008	Ecuaciones Diferenciales Aplicadas	Obligatorio	48	3	Ninguno

### Tercer Ciclo

Código	Curso	Condición	Horas	Créditos	Prerequisito
MMC009	Problema de la Industria	Obligatorio	48	3	Ninguno
MMC101	Seminario de tesis I Cursos electivos**	Obligatorio	112	7	Ninguno

### Cuarto Ciclo

Código	Curso	Condición	Horas	Créditos	Prerequisito
MMC102	Seminario de tesis II Cursos electivos**	Obligatorio	112	7	MMC101

\*\*El estudiante debe aprobar cursos electivos hasta acumular un mínimo de 48 créditos en total.

### CURSOS ELECTIVOS

Código	Curso	Horas	Créditos
MMC201	Teoría y Modelos del Aprendizaje Automático	64	4
MMC202	Programación Estocástica	64	4
MMC203	Modelamiento Estadístico Predictivo	64	4
MMC204	Programación Dinámica	64	4
MMC205	Métodos Avanzados en Optimización Estocástica	64	4
MMC206	Análisis de Datos Multidimensional Avanzado	64	4
MMC207	Análisis y Predicción de Series Temporales	64	4
MMC208	Análisis Funcional	64	4

MMC209	Método de Elementos Finitos para la solución de EDPs	64	4
MMC210	Medidas de Riesgo y Optimización	64	4
MMC211	Aproximación Variacional	64	4
MMC212	Teoría de Juegos	64	4
MMC213	Juegos Estocásticos	64	4
MMC214	Otros Modelos del Aprendizaje Automático	64	4
MMC215	Economía Matemática	64	4
MMC216	Finanzas Matemáticas	64	4
MMC217	Simulación Estocástica	64	4
MMC301	Tópicos especiales I*	16	1
MMC302	Tópicos especiales II*	32	2
MMC303	Tópicos especiales III*	48	3
MMC304	Tópicos especiales IV*	64	4
MMC305	Tópicos especiales V*	80	5
MMC001	Análisis Real en Varias Variables †	64	4
MMC005	Probabilidad y Procesos Estocásticos †	64	4

\* Estos cursos pueden ofrecerse varias veces con diferentes contenidos, con códigos cambiados MMC301A, MMC302B, MMC303C... .

† Cursos que se mantienen como legado.

## 5. Malla Curricular

Primer semestre	Segundo semestre	Ciclo de verano	Tercer semestre	Cuarto semestre
Métodos Computacionales	Análisis de Datos y Estadística Inferencial	Teoría y Modelos del Aprendizaje Automático*	Problema de la Industria	Seminario de tesis II
Modelos Aleatorios y Simulación	Optimización	Programación Estocástica*	Seminario de tesis I	Cursos electivos
Análisis	Ecuaciones Diferenciales Aplicadas		Cursos electivos	

Cursos obligatorios

Seminarios de Tesis

Cursos electivos

\* Cursos sugeridos

## 6. Sumilla de los cursos (Contenidos referenciales)

### 6.1. Cursos de pre-maestría

#### Álgebra Lineal

Marco general a través de ejemplos ( $\mathbb{R}^2, \mathbb{R}^3$ ). Álgebra matricial. Espacios y sub espacios vectoriales (generadores). Independencia lineal y bases de espacios vectoriales (determinantes). Transformaciones lineales. Sistemas de ecuaciones lineales. Cambio de base. Auto espacios, auto valores y auto vectores. Polinomio característico y diagonalización. Descomposición LU de matrices. Producto interno. Ortogonalización Gram-Schmidt. Descomposición singular de matrices.

#### Bibliografía

- [1] Lang, S., *Álgebra Lineal*, 3rd ed., Springer, 2010.
- [2] Strang, G., *Introduction to Linear Algebra*, Fifth Edition, Cambridge Press, 2016.
- [3] Tsukada, M. et al., *Linear Algebra with Python*, Springer, 2023.
- [4] Strang, G., *Linear Algebra for Everyone*, Cambridge Press, 2020.

#### Análisis Real

Conjuntos finitos e infinitos, Números reales, Sucesiones de números reales, Series de números reales, Algunas nociones de topología, Límites de funciones, Funciones continuas, Derivadas, Fórmula de Taylor y aplicaciones de la derivada, La integral de Riemann, Cálculo con integrales, Sucesiones de funciones.

#### Bibliografía

- [1] Elon L. Lima, *Análisis Real*, Textos del IMCA, 1997.
- [2] Lebl, J., *Basic Analysis I, II*, Creative Commons, 2023.
- [3] Spivak M., *Cálculo Infinitesimal*, 2 vols. Ed. Reverté, Barcelona, 1970.
- [4] Lang S., *Analysis 1*, Addison-Wesley, Reading Massachussets. 1969.

#### Programación

Introducción a Python y R: Sintaxis, estructuras de control de flujo, tipos de datos nativos, uso de la Documentación, Programación Dinámica, Algoritmos Greedy, Introducción a la Programación Numérica: numpy, matplotlib, tidyverse.



## Bibliografía

- [1] Documentación de Python y R.
- [2] Langtangen, Hans Petter, *A Primer on Scientific Programming with Python*, Springer, 2016.
- [3] Erickson, J., *Algorithms*, Creative Commons, 2019.

## 6.2. Cursos de Maestría

### MMC003 Métodos Computacionales

Paquetes de Python (numpy, matplotlib, tidyverse) y R. IDE (Jupyter, Rstudio), Git. Estructuras de datos y algoritmos, Complejidad computacional (notación  $O$ ), quicksort ( $n^2$  vs  $n \log n$ ). Divide and conquer (Algoritmo divide y vencerás). Paradigma procedimental. Programación en Paralelo. Programación estadística. Problemas de predicción y optimización.

## Bibliografía

- [1] Langtangen, Hans Petter, *A Primer on Scientific Programming with Python*, Springer, 2016.
- [2] Cormen T., Leiserson, C., Rivest, R., Stein, C., *Introduction to Algorithms*, 3rd Edition, Mit Press (2009).
- [3] Bruce P., Bruce A., Gedek P., *Practical Statistics for Data Scientists: 50+ Essential Concepts Using R and Python*, O'Reilly Media; 2nd edition (June 16, 2020).

### MMC002 Análisis

Topología en el espacio euclidiano. Funciones reales. Continuidad y diferenciabilidad. Bases y bases ortogonales. Funciones de varias variables. Transformaciones lineales. Sympy y otros paquetes de cálculo simbólico. Función implícita, función inversa. Integrales dobles y triples. Integrales de línea.

## Bibliografía

- [1] Elon L. Lima. *Análisis Real*, Textos del IMCA, 1997.
- [2] Tom M. Apostol. *Análisis matemático*. Editorial Reverte.
- [3] Davidson, K., Donsig, A., *Real Analysis with Real Applications*, Prentice Hall, 2002.
- [4] W. Rudin. *Principles of Mathematical Analysis (International Series in Pure & Applied Mathematics)*. McGraw-Hill Education.

## MMC004 Modelos Aleatorios y Simulación

Experimento aleatorio, espacio de probabilidad y variable aleatoria (sigma álgebra, medibilidad, medida). Función de distribución. Distribuciones conocidas. Esperanza (Integral de Lebesgue). Independencia y probabilidad condicional (medida producto). Distribuciones multidimensionales. Simulación de Monte Carlo de variables conocidas. Tipos de convergencia. Desigualdades básicas. Ley de grandes números. Convergencia débil y función característica, Teorema del límite central.

Esperanza condicional. Martingalas en tiempo discreto. Tiempos de Parada. Teoremas de Convergencia. Cadenas de Markov en tiempo discreto. Propiedad de Markov Fuerte. Cadenas de Markov en tiempo continuo. Markov Chain Monte Carlo. Procesos de Salto. Ejemplos: proceso de Poisson, de nacimiento y muerte.

### Bibliografía

- [1] James, B. R. - Probabilidad: un curso de nivel intermedio, Textos del IMCA, 2004.
- [2] Jeffrey S. Rosenthal. A First Look at Rigorous Probability Theory, World Scientific, Second Edition, 2006.
- [3] Jean Jacod, Philip Protter. Probability Essentials, Springer, Second Edition, 2004.
- [4] Geoffrey Grimmett, David Stirzaker. Probability and Random Processes, Oxford, Third Edition, 2001.
- [5] Barbu, Zhu, Monte Carlo Methods, Springer (2020).

## MMC001 Análisis Real en Varias Variables

Topología en el espacio euclidiano. Funciones vectoriales de variable real. Funciones de varias variables. Integrales dobles y triples. Aplicaciones de varias variables. Integrales curvilíneas. Superficies y sub-variedades. Integrales de línea y de superficies.

### Bibliografía

- [1] Elon L. Lima. *Análisis Real*, Textos del IMCA, 1997.
- [2] Tom M. Apostol. *Análisis matemático*. Editorial Reverte.
- [3] W. Rudin. *Principles of Mathematical Analysis (International Series in Pure & Applied Mathematics)*. McGraw-Hill Education.

## MMC005 Probabilidad y procesos estocásticos

Concepto y propiedades de conjuntos medibles. Concepto y propiedades de funciones medibles. Definición y propiedades de la integral de Lebesgue. Convergencias en espacios medibles: diferentes tipos de convergencias. Espacio producto. Experimento aleatorio y espacio de probabilidad. Probabilidad condicional e independencia. El teorema de Bayes.

Variables aleatorias, funciones de distribución, de repartición y de densidad. Estadísticas de variables aleatorias. Esperanza, varianza, cuantiles. Distribuciones: Uniforme, Bernoulli, Binomial, Poisson, Normal, chi-cuadrado, F de Fisher, familia exponencial, Gamma, Beta. Distribuciones multidimensionales. Desigualdades básicas. Tipos de convergencias. Ley de los grandes números. Teorema del límite central.

Esperanza condicional, Martingalas en tiempo discreto, Tiempos de Parada, Teoremas de Convergencia, Cadenas de Markov en tiempo discreto, Propiedad de Markov Fuerte, Cadenas de Markov en tiempo continuo, Procesos de Salto.

## **Bibliografía**

- [1] James, B. R. - Probabilidade: um curso em nível intermediário. Projeto Euclides, IMPA, Rio de Janeiro, 1981.
- [2] Jeffrey S. Rosenthal. A First Look at Rigorous Probability Theory, Wors Scientific, Second Edition, 2006.
- [3] Jean Jacod, Philip Protter. Probability Essentials, Springer, Second Edition, 2004.
- [4] Sylvie Méléard. Aléatoire Introduction à la Théorie et au Calcul des Probabiliés, École Polytechnique, 2014.
- [5] Geoffrey Grimmett, David Stirzaker. Probability and Random Processes, Oxford, Third Edition, 2001.
- [6] Paul G. Hoel, Sidney C. Port, Charles J. Stone. Introduction to Stochastic Processes, Univesity of California, Los Angeles.
- [7] Nils Berglund, Martingales et calcul stochastique, Master 2 Recherche de Mathématiques, Université d'Orléans.

## **MMC006 Análisis de Datos y Estadística Inferencial**

Datos experimentales y su organización. Análisis exploratorio unidimensional (estadística descriptiva), bidimensional (tablas de contingencia, covarianza y correlación) y multidimensional (análisis de componentes principales, clasificación). Estadística inferencial: estimadores, intervalos de confianza, pruebas de hipótesis, tests estadísticos, inferencia estadística. Modelos lineales: regresión lineal, análisis de varianza y de covarianza. Diagnósticos de modelos.

## **Bibliografía**

- [1] X. Bry (1995), Analyses factorielles simples, Paris, Economica.
- [2] M.J. Crawley (2015), Statistics. An Introduction using R, J. Wiley and Sons.
- [3] Fox, J., (2016). Applied regression analysis and generalized linear models, Third Edition. ed. SAGE, Los Angeles.

- [4] Pardoe, I., (2012) Applied Regression Modeling. Second Edition. Ed. Wiley and Sons.
- [5] C. Langrand, L.M. Pinzón (2000), Análisis de datos ? Métodos y ejemplos, Bogotá, Escuela Colombiana de Ingeniería.
- [6] D.C. Montgomery, E.A. Peck, G.G. Vining (2006), Introducción al Análisis de Regresión Lineal, Azcapotzalco, Compañía Editorial Continental.
- [7] G. Saporta (2006), Probabilité, Analyse des données et Statistique, Paris, Technip.

## MMC007 Optimización

Programación convexa: Propiedades de conjuntos convexos y funciones convexas, Conjugación y subdiferencial, Dualidad y noción lagrangiana, Método del subgradiente, método proximal. Programación lineal: Ejemplos de aplicaciones diversas, Propiedades de programación lineal, Método Simplex (primal, dual, ...), Análisis de sensibilidad, Métodos de puntos interiores, Programación entera: Branch and bound, Método de Benders, Generación de columnas. Programación diferenciable: Condiciones de optimalidad, Algoritmos de descenso, búsqueda lineal, método del gradiente, método del gradiente proyectado, método del gradiente conjugado, método de Newton, método quasi-Newton, método de Frank-Wolfe, método de Gauss Seidel. Algoritmo de Uzawa, método del lagrangiano aumentado, método de región de confianza. Métodos de puntos interiores

## Bibliografía

- [1] L. A. Wolsey, Integer programming, Wiley, 1998.
- [2] L. A. Wolsey, G. L. Nemhauser, Integer and combinatorial optimization. John Wiley & Sons. 2014.
- [3] Chvatal, V., & Chvatal, V. (1983). Linear programming. Macmillan.
- [4] Dantzig, G. B., & Thapa, M. N. (2006). Linear programming. Springer Science & Business Media.
- [5] Bertsekas. Nonlinear Programming, Athena Publishing, 1999.
- [6] J.-P. Crouzeix, E. Ocaña. Análisis convexo. UNI. 2018.
- [7] Luenberger. Linear and Non-linear Programming. 2 ed. Addison-Wesley Reading, 1984.
- [8] Izmailov, Solodov. Optimization Theory, IMPA, 2005.
- [9] Nocedal J., Wright S. Numerical optimization, 2nd ed. Springer, New York, 2006.

## MMC008 Ecuaciones Diferenciales Aplicadas

Aplicaciones de Ecuaciones Diferenciales de Primer Orden: Dinámica de una población, Enfriamiento, dilución, curvas de persecución. Propiedades generales de las ecuaciones: Interpretación geométrica, existencia, unicidad y dependencia continua. Campos vectoriales

y Formas diferenciales: Existencia de factor integrante. Aplicaciones de Ecuaciones Diferenciales de segundo orden: dinámica de una partícula (incluyendo el oscilador armónico y fuerzas centrales), circuitos electrónicos, amortiguamiento. Transformada de Laplace. Aplicaciones a la solución de ecuaciones con funciones discontinuas y funciones impulso. Sistemas autónomos en el plano. Sistemas de ecuaciones diferenciales: i) Exponencial de matrices; ii) Ecuación adjunta y alternativa de Fredholm; y iii) Linealización, estabilidad y funciones de Lyapunov.

Ecuaciones diferenciales parciales: ecuaciones parabólicas, elípticas e hiperbólicas. Teoremas de existencia y unicidad. Convergencia de la solución numérica, error de truncamiento, orden de un método, consistencia, convergencia y estabilidad. Métodos de un paso para problemas de valor inicial: Métodos de Euler implícito e explícito. Métodos de Runge-Kutta. Diferencias finitas y volúmenes finitos para ecuaciones diferenciales parciales con condiciones de frontera tipo Dirichlet, Newman, Robin.

## **Bibliografía**

- [1] D. Guedes de Figueiredo, & A. Freira Neves, Ecuaciones Diferenciales Aplicadas, Textos del IMCA 13, 2006.
- [2] M. Hirsch & S. Smale, Differential Equations, Dynamical Systems and Linear Algebra, Academic Press, 1974.
- [3] J. Sotomayor, Lições de Equações Diferenciais Ordinárias, Projeto Euclides, IMPA, 1979.
- [4] Richard Burden, Douglas Faires. Numerical Analysis. Ninth Edition.
- [5] Analysis of Numerical Methods. Eugene Isaacson. Herbert Bishop Keller.

## **MMC009 Problema de la Industria**

El curso se desarrolla con el objetivo del estudio y búsqueda de la solución a un problema proveniente de la actividad industrial, seleccionado en diálogo con empresas o entidades que desarrollan sus actividades en la actividad productiva local. El docente guía a los estudiantes en el estudio del problema y plantea etapas y rutas de abordaje del problema.

## **MMC201 Teoría y Modelos del Aprendizaje Automático**

Revisión de métodos de aprendizaje supervisado: modelo lineal generalizado y la familia exponencial. Métodos de regularización. El equilibrio entre sesgo y complejidad. Sobreajuste y validación de los modelos. Expansión de bases, y métodos basados en kernels. Métodos basados en árboles, Bagging, Boosting. Máquinas de vectores soporte.

## **Bibliografía**

- [1] Hastie, Tibshirani and Friedman (2009), The Elements of Statistical Learning (2nd Ed.) Springer-Verlag.

- [2] James, Witten, Hastie and Tibshirani (2023), Introduction to Statistical Learning with Applications in Python (1st Edition) Springer-Verlag
- [3] Wood (2017), Generalized Additive Models (2nd edition) Taylor & Francis Group.
- [4] Cristianini (2000), An Introduction to Support Vector Machines and other Kernel-Based Learning Methods.

## **MMC202 Programación Estocástica**

Introducción a los Modelos Estocásticos. Descripción de los Modelos Estocásticos de dos etapas y Multietapas: formulación de no-anticipatividad, condiciones de optimalidad, dualidad y aplicaciones a los problemas de planeación energético. Desarrollo e Implementación de los métodos de descomposición: L-Shaped Method, Progressive Hedging, Programación Dinámica, SDDP y Splitting Monotone Methods.

### **Bibliografía**

- [1] Birge, J. and Louveaux, F. Introduction to Stochastic Programming. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Second Edition, 2011.
- [2] Shapiro, A. and Dentcheva, D. and Ruszczyński, A. Lectures on Stochastic Programming: Modeling and Theory. MOS-SIAM Series on Optimization. Second Edition, 2014.
- [3] Dimitri Bertsekas. Dynamic Programming and Optimal Control, Vol I, Athena Scientific, 1995.
- [4] Carpentier, P., Chancelier, J.-P., Cohen, G., De Lara, M. Stochastic Multi-Stage Optimization. Springer-Verlag, 2015.

## **MMC203 Modelamiento Estadístico Predictivo**

Métodos de preprocesamiento de datos. Técnicas de tratamiento de datos faltantes. Sobre-ajustamiento y selección de parámetros. Modelos lineales generalizados. Validación y simplificación de modelos. Evaluación de los predictores, y selección de variables predictivas. Geometría estadística de modelos múltiples. Test de hipótesis de modelos completos. Métodos de muestreo Monte-Carlo, Bootstrap, randomización, etc. Métodos de clasificación lineales y no-lineales. Árboles de decisión. Introducción al aprendizaje de conjunto (ensemble learning).

### **Bibliografía**

- [1] Abbott, D., (2014). Applied predictive analytics: principles and techniques for the professional data analyst. Wiley, Indianapolis, IN.
- [2] J.J. Faraday (2006), Extending the Linear Model with R, Boca Raton, Chapman and Hall.

- [3] Harrell, F. (2015) Regression Modeling Strategies : With Applications to Linear Models, Logistic and Ordinal Regression, and Survival Analysis (2nd Ed.).
- [4] Kaplan, D. T. (2009) Statistical Modeling, a Fresh Approach. (1st Ed).
- [5] Kroese, D. P., and Chan, J. (2014) Statistical Modeling and Computation. (1st Ed.)
- [6] Kuhn. M., and Johnson K. (2018) Applied Predictive Modeling (2nd Ed.).
- [7] B.F. Manly (2007), Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology, Boca Raton, Chapman and Hall.

### **MMC204 Programación Dinámica**

Modelos dinámicos de almacenaje (modelos de batería, modelos de presa). Control óptimo de sistemas estocásticos dinámicos multi-etapas. Programación dinámica estocástica. Ecuaciones de Bellman. La condena de la dimensionalidad. Implementación de algoritmos de programación dinámica estocástica.

### **MMC205 Métodos Avanzados en Optimización Estocástica**

Problemas de optimización estocástica multietapa en redes. Métodos de descomposición-coordinación: iterativos (en paralelo or secuenciales) resolución of subproblemas. Requisitos de optimización convexa y teoría de dualidad necesaria para estos métodos. Casos especiales de descomposición de escenarios (Progressive Hedging con escenarios múltiples), descomposición temporal (programación dinámica con escalas temporales múltiples), descomposición espacial (programación dinámica dual aproximada con unidades múltiples).

### **MMC206 Análisis de Datos Multidimensional Avanzado**

Análisis de componentes principales y factorial. Clasificación de variables. Análisis de datos cualitativos y modelos correspondientes. Análisis de correspondencias simple y múltiple. Análisis de tablas múltiple. Técnicas de análisis de dependencia e independencia entre varias variables. Métodos de selección y evaluación de modelos multivariados. Métodos PLS. Introducción a los modelos de ecuaciones estructurales.

### **Bibliografía**

- [1] X. Bry (1996), Analyses factorielles multiples, Paris, Economica.
- [2] M. Greenacre (2008), La práctica del análisis de correspondencias, Barcelona, Fundación BBVA.
- [3] Hair, J. F., et al. (2010). Multivariate data analysis (7th Eds.). NY: Pearson.?
- [4] Izenman, A. J. (2013), Modern Multivariate Statistical Techniques: Regression, Classification, and Manifold Learning (2nd Ed.).
- [5] L. Lebart, M. Piron, A. Morineau (2006), Statistiques exploratoire multidimensionnelle : Visualisations et inférences en fouille de données. Paris, Dunod.

[6] G. Sanchez (2013), PLS Path Modeling with R, Berkeley, Trowchez Editions.

[7] M. Tenenhaus (1998), La régression PLS, Paris, Technip.

## MMC207 Análisis y Predicción de Series Temporales

Tipos de estacionariedad. Autocorrelación. Análisis espectral. Modelos de regresión temporal. Modelos ARMA, ARIMA, GARCH, y otros. Especificación de modelos, y estimación de parámetros. Modelos espacio-estado. Introducción al análisis de series temporales multivariantes. Vectores auto-regresivos. Descomposición dinámica de modas.

### Bibliografía

[1] Box y Jenkins, G.C. Reinsel, G.M. Ljung (2016). Time Series Analysis, Forecasting and Control, Hoboken, J. Wiley and Sons.

[2] Brockwell y Davis (1991). Time Series: Theory and Methods (2nd Edition) Springer.

[3] Hyndman y Athanasopoulos (2013). Forecasting: Principles and Practice (2nd Edition) Otexts.

[4] Shumway., R. and Stoffer., D (2010), Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples. (3rd Ed.) Springer Texts in Statistics.

## MMC208 Análisis Funcional

Este curso tiene como objetivo proporcionar los fundamentos del análisis funcional orientado a aplicaciones con ecuaciones diferenciales parciales. Se repasarán los conceptos de teoría de la medida, estudio de espacios  $L_p$  y Hilbert, e integración en los mismos. A las vez se presentará el concepto de espacios de Sobolev, convexidad, puntos fijos, medidas de Haar, operadores compactos, operadores elípticos, y teoremas de integración entre espacios funcionales.

Para el estudio de convergencia de métodos numéricos, se presentará de manera formal el concepto de formulación variacional y el teorema de Babuška-Lax-Milgram.

### Bibliografía

[1] Erwin Kreyszig, Introductory Functional Analysis with Applications, Wiley, 1989.

[2] E. Lieb, M. Loss, Analysis, 2nd edition,AMS (2001).

[3] H. Brezis. Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations, Springer 2010.

## MMC209 Método de Elementos Finitos para la solución de EDPs

Curso práctico de elementos finitos para la solución de problemas de ciencias e ingeniería descritos mediante ecuaciones en derivadas parciales. Ecuación de elasticidad,



electromagnetismo (Maxwell), Ecuación de Navier-Stokes, entre otros. Técnicas avanzadas de programación y visualización. Curso orientado a estudiantes con experiencia en lenguajes de programación como C++ y Python.

## **Bibliografía**

- [1] D. Logan. A First Course in the Finite Element Method
- [2] H. Langtangen. Solving PDEs in Python: The FEniCS Tutorial I, Springer 2016
- [3] H. Bangerth et al., deal.II - a General Purpose Object Oriented Finite Element Library
- [4] F. Hecht et al. FreeFem++ documentation.

## **MMC210 Medidas de Riesgo y Optimización**

Decisión bajo incertidumbre: Representación de Preferencias y Aversión al Riesgo. Medidas de Riesgo, Dominancia Estocástica. Matemática de la frontera de portafolio. Modelos de riesgo medio. Medidas de riesgo coherentes. Optimización de Medidas de Riesgo. Propiedades estadísticas de las medidas de riesgo. Aplicaciones.

## **Bibliografía**

- [1] Shapiro, A. and Dentcheva, D. and Ruszczyński, A.: Lectures on Stochastic Programming: Modeling and Theory. MOS-SIAM Series on Optimization. Second Edition, 2014.
- [2] Huang, C. and Litzenberger, R.: Foundations for Financial Economics. Prentice-Hall, 1988.
- [3] Greengard, C. and Ruszczyński, A (eds): Decision Making Under Uncertainty: Energy and Power. IMA Volumes in Mathematics and its Applications, vol 128. Springer, New York, 2002.
- [4] Conejo, A., Carrión, M. and Morales, J.: Decision Making Under Uncertainty in Electricity Markets. Springer Science+Business, 2010.

## **MMC211 Aproximación Variacional**

Discretización de ecuaciones en derivadas parciales de tipo elíptica, espacios funcionales, Método de Galerkin, formulaciones variacionales, teorema de Lax-Milgram, estabilidad y convergencia. Método de diferencias finitas, método de volúmenes finitos, método de elementos finitos y de frontera.

Parte práctica: Solución numérica computacional de problemas de ciencias e ingeniería, usando software tal como FreeFem++.

Técnicas de programación en paralelo, MPI, software para la solución de problemas a gran escala. Aplicaciones en campos de ingeniería y ciencias aplicadas.

## Bibliografía

- [1] Y. Maday. Discretisations variationnelles de problèmes aux limites elliptiques 2000. A.
- [2] A. Ern, J.-L. Guermond, Theory and practice of finite elements, Springer 2004.
- [3] H. Brezis. Functional Analysis, Sobolev Spaces and Partial Differential Equations, Springer 2010.

## MMC212 Teoría de Juegos

Juegos no Cooperativos en forma extensiva y en forma estratégica. Estrategias mixtas y de comportamiento. Dominancia y dominancia iterativa. Equilibrio de Nash. Juegos de suma cero. Racionabilidad. Equilibrios Perfecto y Propio. Equilibrio Perfecto en Subjuegos e Inducción hacia atrás. Juegos Bayesianos. Juegos de señalización. Juegos repetidos. Juegos Cooperativos. Core, Nucleolus y Valor de Shapley. Extensión multilineal de juegos cooperativos.

## Bibliografía

- [1] Vega-Redondo, F. Economics and the Theory of Games. Cambridge University Press, 2003.
- [2] Fudenberg, D. and Tirole, J. Game Theory. The MIT Press, 1991.
- [3] Myerson, R. Game Theory: analysis of conflict. Harvard University Press, 1991.
- [4] Owen, G. Game Theory. Academic Press, Fourth Edition, 2013.

## MMC213 Juegos Estocásticos

From Markov chains to stochastic games. Stationary strategies. Stochastic Linear pursuit- evasion differential games. Two person Zero-sum stochastic games. N-person Non-cooperative differential games. Infinite-Horizon. Soluciones Dinámicamente Estables.

## Bibliografía

- [1] Ramachandran, K.M., and Tsokos, C. Stochastic Differential Games, Theory and Applications. Atlantis Press, 2012.
- [2] Petrosyan, L. and Zenkevich, N. Game Theory. World Scientific, Second Edition, 2016.
- [3] Neyman, A. and Sorin, S. Stochastic Games and Applications. Springer Science+Business, 2003.

## MMC214 Otros Modelos del Aprendizaje Automático

Aprendizaje Profundo. Redes Neuronales. Algoritmo Perceptrón. Retro-propagación. Gradiente descendiente estocástico. Perceptrones multicapa. Métodos de regularización. Redes neuronales convolucionales. Redes neuronales recurrentes. Modelos LSTM. Aprendizaje Reforzado. Procesos de decisión Markovianos. Objetivos y recompensas. Políticas y funciones valor. Programación dinámica. Iteración de valor. Iteración de políticas. Métodos de Montecarlo. Aprendizaje por diferencia temporal. SARSA y SARSA esperado.

### Bibliografía

- [1] Géron, A. (2019). Hands on Machine Learning with Sci-kit Learn, keras and Tensor Flow, O'Reilly.
- [2] Goodfellow, Bengio y Courville (2016) Deep Learning, first edition. MIT Press Books, 2018.
- [3] Norvig, P. and and S. Russell (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall.
- [4] Ravichandiran, S. (2018). Hands-On Reinforcement Learning with Python, Packt Publishing Ltd.
- [5] Sutton, Barto (2018). Reinforcement Learning, second edition: An Introduction, BradfordBooks.
- [6] Zhang, Lipton, Li, Smola (2023). Dive into Deep Learning. First edition, Cambridge Universitty Press.

## MMC215 Economía Matemática

El objetivo de este curso es presentar de modo formalizado matemáticamente las teorías del consumidor y del productor para llegar al teorema de existencia del equilibrio general y a los teoremas de la teoría de bienestar. Conducta de los agentes económicos: relaciones de preferencia y teoría del consumidor; semi-continuidad superior e inferior para correspondencias; existencia de la correspondencia y de la función de demanda del consumidor; conjuntos de posibilidades de producción y teoría de la empresa; existencia de la correspondencia y de la función de oferta. Teoría de la decisión en presencia de incertidumbre: función de utilidad esperada de von Neumann; aversión al riesgo; riesgos crecientes y sus caracterizaciones. Conducta colectiva de los agentes económicos: teorema de imposibilidad de Arrow; existencia del equilibrio general competitivo de Walras; eficiencia paretiana; núcleo de una economía.

## MMC216 Finanzas Matemáticas

El objetivo de este curso es presentar matemáticamente formalizados los procesos de formación de precios en mercados financieros, sin y con arbitraje. Mercado de activos. La ley de un precio y ausencia de arbitraje. Primer y segundo teorema de formación de precios

de activos. El modelo de Markowitz. Modelos de equilibrio en mercados de capitales: CAPM (Capital Asset Pricing Model) y sus extensiones. El modelo APT (Arbitrage Pricing Theory). Instrumentos financieros derivados: Opciones y futuros. Estructura a términos de la tasa de interés.

### **MMC217 Simulación Estocástica**

Cadenas de Markov, Tiempos de Parada y Simulación de Cadenas de Markov. Cadenas de Markov en tiempo continuo, modelos de Colas y Simulación. Movimiento Browniano, Integral de Ito, Difusiones, fórmula de Ito. Ecuaciones Diferenciales Estocásticas y Simulación de EDEs.

### **Bibliografía**

- [1] Øksendal, B. 2003. Stochastic Differential Equations: An Introduction with Applications. Sixth edn. New York, NY: Springer.
- [2] Sarkka, Simo - Solin, Arno. Applied stochastic differential Equations, Cambridge University Press (2019).
- [3] Fred Espen Benth, Jurate Saltyte Benth, Steen Koekebakker - Stochastic Modeling of Electricity and Related Markets. World Scientific (2008).
- [4] Søren Asmussen, Peter W. Glynn. Stochastic Simulation Algorithms and Analysis-Springer (2010).
- [5] Stefano M. Iacus, Nakahiro Yoshida - Simulation and Inference for Stochastic Processes with YUIMA. A comprehensive R Framework for SDEs and other Stochastic Processes-Springer (2018).
- [6] Rubinstein, Reuven Y., Kroese, Dirk P. Simulation and the Monte Carlo Method, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc (2016).

### **6.3. Cursos de Investigación**

El objetivo de los cursos de investigación es abordar la tesis desde el tercer semestre, avanzar planificadamente cumpliendo con los entregables señalados para cada seminario, de tal modo que terminado el curso de Seminario de Tesis II, el estudiante haya podido culminar exitosamente su Tesis de Grado y se encuentre lista para ser sometida a revisión por dos docentes especialistas y pueda ser defendida satisfactoriamente finalizando el segundo año de estudios.

### **MMC101 Seminario de Tesis I**

El estudiante debe de entregar un informe conteniendo:

- Estado del arte del tema del proyecto haciendo una revisión de la bibliografía reciente y citando debidamente los artículos consultados.
- Justificación científica del tema de tesis.

- Identificación del aporte científico del proyecto (relacionado al cuadro resumen de resultados de otros autores).
- Objetivos generales y específicos.
- Plan de Tesis con las firmas del tesista y del asesor.

## MMC102 Seminario de Tesis II

El estudiante debe de entregar un borrador de la tesis y adjuntar los artículos científicos publicados o por publicar elaborados en el marco del trabajo de tesis, así como documentar su participación en eventos científicos relacionados.

## 7. Plana docente

Eladio Ocaña Anaya  
 Doctor Université Blaise Pascal & IMCA-UNI

Roger Metzger Alván  
 Doctor IMPA

Oswaldo Velásquez Castañón  
 Doctor Université de Bordeaux

Gonzalo Panizo García  
 Doctor IMPA

Luis Flores Luyo  
 Doctor Université d'Avignon & IMCA-UNI

Ernesto Oré Albornoz  
 Doctor Université Blaise pascal & IMCA-UNI

Dimas Abanto Silva  
 Doctor IMPA

Helmuth Villavicencio Fernández  
 Doctor IMCA-UNI

Benito Ostos Cordero  
 Doctor IMCA-UNI

Joe Palacios Baldeón  
 Doctor University of Liverpool

Angel Ramirez Gutierrez  
 Doctor IMCA-UNI

Alan Ayala Obregon  
 Doctor Paris 1

José Cerda Hernandez  
Doctor Universidade de São Paulo

José Braulio Calagua Mendoza  
Doctor IMPA

Tito Manrique Chuquillanqui  
Doctor Université de Montpellier

Jean-Bernard Baillon  
Doctor ENS (Ulm) & Paris VI

Sergio Camiz  
Doctor Universita di Roma, La Sapienza

Francisco Rosales Marticorena  
Doctor Georg-August-Universität Göttingen

Giancarlos Oviedo Valverde  
Doctor IMCA-UNI

## 8. Líneas de investigación

La especialización y sub-especialización estará enfocada en la modelización matemática y computacional (MMC) que requieran los sectores productivos del país, a fin de dar solución a los problemas concretos que enfrentan. Los sectores industriales que requieren de esta especialización son:

Energía	Transporte	Telecomunicaciones	Minería
Pesca	Agricultura	Agua	Forestal
Salud	Seguridad		

Las líneas de investigación son:

1. Inteligencia Artificial y Ciencia de Datos
2. Modelamiento Probabilístico
3. Optimización