



### 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	Total de horas	Créditos
MMC001	Análisis	Obligatorio	64	4
MMC002	Métodos Computacionales	Obligatorio	48	3
MMC003	Modelos aleatorios y Simulación	Obligatorio	48	3

#### SEGUNDO CICLO

Código	Curso	Condición	Total de horas	Créditos
MMC004	Análisis de Datos y Estadística Inferencial	Obligatorio	64	4
MMC005	Optimización	Obligatorio	48	3
MMC006	Ecuaciones Diferenciales Aplicadas	Obligatorio	48	3

#### CICLO VERANO

Código	Curso	Condición	Total de horas	Créditos
MMC007	Teoría y Modelos del Aprendizaje Automático (*)	Electivo	48	3
MMC008	Programación Estocástica (*)	Electivo	48	3

#### TERCER CICLO

Código	Curso	Condición	Total de horas	Créditos
MMC009	Modelamiento Estadístico Predictivo (*)	Electivo	64	4
	Problema de la Industria	Obligatorio	48	3
		Electivo		

#### CUARTO CICLO

Código	Curso	Condición	Total de horas	Créditos
MMC010	Seminario de tesis	Obligatorio	160	10

\* Cursos sugeridos (debe llevar cursos electivos hasta completar al menos 48 créditos).

#### CURSOS ELECTIVOS

Código	Curso	Total de horas	Créditos
MMC012	Programación Dinámica	64	4
MMC013	Métodos Avanzados en Optimización Estocástica	64	4
MMC014	Análisis de Datos Multidimensional Avanzado	64	4



MMC015	Análisis y Predicción de Series Temporales	64	4
MMC016	Análisis Funcional	64	4
MMC017	Método de Elementos Finitos para la solución de EDPs	64	4
MMC018	Medidas de Riesgo y Optimización	48	3
	Aproximación Variacional	64	4
MMC019	Teoría de Juegos	64	4
MMC020	Juegos Estocásticos	64	4
	Otros Modelos del Aprendizaje Automático		
MMC021	Programación Paralela	64	4
MMC022	Economía Matemática	64	4
MMC024	Finanzas Matemáticas	64	4
MMC026	Tópicos especiales I**	16	1
MMC027	Tópicos especiales II**	32	2
MMC028	Tópicos especiales III**	48	3
MMC029	Tópicos especiales IV**	64	4

\*\* Estos cursos pueden brindarse varias veces, pero con diferentes contenidos.

### Malla Curricular

PROPEDEÚTICO (Pre-Maestría)	PRIMER CICLO	SEGUNDO CICLO	CICLO VERANO	TERCER CICLO	CUARTO CICLO
Programación Análisis Álgebra Lineal	Análisis Real (O; 64h; 4C)	Análisis de Datos y Estadística Inferencial (O; 64h; 4C)			Seminario de tesis (O; 160h; 10C)
	Métodos Computacionales (O; 48h, 3C)	Optimización (O; 48h; 3C)		Problema de la Industria (O; 64h; 4C)	
	Modelos aleatorios y Simulación (O, 48h, 3C)	Ecuaciones Diferenciales Aplicadas (O; 48h; 3C)			

donde (i;j;k) indica: i=obligatorio (O) o electivo (E); j=total de horas y k=total de créditos.

  Cursos específicos de la pre-maestría en MMC

  Cursos obligatorios de la maestría en MMC

  Cursos electivos conducentes al tema de tesis (IMCA)



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ciencias

	Cursos electivos complementarios (cursados en otras facultades o universidades)
--	---

<b>TOTAL DE CRÉDITOS</b>	<b>48</b>
--------------------------	-----------

Los cursos electivos serán programados por el IMCA y la Unidad de Posgrado de la FC-UNI según la disponibilidad y la demanda hecha por el estudiante de la maestría. La convalidación de un curso procede cuando los objetivos y el contenido son similares a los de este programa.



### V. Sumillas de los cursos

#### 5.1 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. Strang, G., Introduction to Linear Algebra, Fifth Edition, Cambridge Press, 2016.
2. Tsukada, M. et al., Linear Algebra with Python, Springer, 2023.
3. Lang, S., Álgebra Lineal, 3<sup>rd</sup> ed., Springer, 2010.
4. Strang, G., Linear Algebra for Everyone, Cambridge Press, 2020.
5. Elon L. Lima. Álgebra Lineal, Textos del IMCA, 1998.

##### Análisis

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:

6. Elon L. Lima Análisis Real, Textos del IMCA, 1997.
7. Lebl, J., Basic Analysis I, II, Creative Commons, 2023.
8. M. Spivak. *Cálculo Infinitesimal*, 2 vols. Ed. Reverté, Barcelona, 1970.
9. S. Lang. *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.

## 5.2 Cursos de la Maestría (Contenidos referenciales)

### **Análisis Real**

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 *Curso de Análise*. Projeto Euclides.
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,

### **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).

### 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. 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. Erickson, J., Algorithms, 2019.
3. Murphy, K., Machine Learning A Probabilistic Perspective, The MIT Press, 2012.

### Optimización

Problema de Programación lineal, eliminación Fourier Motzkin, Teorema de la Infactibilidad, Método Simplex, Método del punto interior, Dualidad, Análisis de Sensibilidad, Formulaciones de Programación entera, Optimalidad, relajación y cotas, Programación dinámica, Branch and bound, Algoritmo de plano de corte, Desigualdades validas, Dualidad Lagrangiana, Generación de columnas.

Convexidad: Conjuntos convexos, propiedades topológicas, conos asintóticos. Semicontinuidad y convexidad de funciones, funciones asintóticas, conjugación y Subdiferencial. Dualidad convexa: esquema general, noción Lagrangiana. Ejm, dualidad en programación lineal, cuadrática.

Optimización sin y con restricciones: condiciones de optimalidad, dualidad lagrangiana. Algoritmos de descenso: búsqueda lineal, método del gradiente, método de Newton, método quasi-Newton, Método del gradiente conjugado, método de Frank-Wolfe, método de Gauss-Seidel. Lagrangiano aumentado: Algoritmo de Uzawa, método del Lagrangiano aumentado, región de confianza.

### 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. 2ª 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.

### 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.

### 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 (2005), *Statistics – An Introduction using R*, Hoboken, 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.

### **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.

### **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. Sobre-ajuste 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* (2<sup>nd</sup> 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*.

### Modelamiento Estadístico Predictivo

Métodos de preprocesamiento de datos. Técnicas de tratamiento de datos faltantes. Sobreajustamiento 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* (2<sup>nd</sup> Ed.).
4. Kaplan, D. T. (2009) *Statistical Modeling, a Fresh Approach*. (1<sup>st</sup> Ed).
5. Kroese, D. P., and Chan, J. (2014) *Statistical Modeling and Computation*. (1<sup>st</sup> Ed.)
6. Kuhn, M., and Johnson K. (2018) *Applied Predictive Modeling* (2<sup>nd</sup> Ed.).
7. B.F. Manly (2007), *Randomization, bootstrap and Monte Carlo methods in biology*, Boca Raton, Chapman and Hall.

### 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.

### 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. *Discrétisations 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.

### 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.

### Métodos Avanzados en Optimización Estocástica

Problemas de optimización estocástica multietapa en redes. Decomposition-coordination methods: iterative (in parallel or sequentially) resolution of subproblems. Background on convex optimization and duality theory necessary for devising these methods. Special cases of scenario decomposition (Progressive Hedging with multiple scenarios), temporal decomposition (dynamic programming with multiple time scales), spatial decomposition (Dual Approximate Dynamic Programming with multiple units).

### 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 (2<sup>nd</sup> 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.

### **Análisis y Predicción de Series Temporales**

Tipos de estacionariedad. Autocorrelacion. 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 multivariadas. 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 (2<sup>nd</sup> Edition)* Otexts.
4. Shumway., R. and Stoffer., D (2010), *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples. (3<sup>rd</sup> Ed.)* Springer Texts in Statistics.

### **Problema de la Industria**

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

### **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 S. Russell (2020). Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall.
5. Ravichandiran, S. (2018). Hands-On Reinforcement Learning with Python, Packt. Publishing Ltd.
6. Sutton, Barto (2018). Reinforcement Learning, second edition: An Introduction, BradfordBooks.

### **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.

### **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.

### Juegos Estocásticos

From Markov chains to stochastic games. Stationary strategies. Stochastic Linear pursuit-evasion differential games. Two person Zero-sum stochastic games. N-person Noncooperative 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.

### 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.

### Programación Paralela

Arquitectura de cómputo paralelo. Conceptos de computo paralelo. Elementos esenciales de las arquitecturas y el hardware de computadoras en paralelo y modelos de programación estándar para computadoras en paralelo. Programación paralela en memoria compartida usando OpenMP. Programación paralela en memoria distribuida usando MPICH. Computación paralela híbrida



usando OpenMP y MPICH. Determinación óptima del número de procesos (MPICH) e hilos (OpenMP). Sistemas de programación heterogénea. Cuda y OpenCL.

### **Bibliografía:**

1. Using MPI and Using MPI-2. William Gropp, Ewing Lusk, Anthony Skjellum, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1999.
2. Parallel Programming in OpenMP, Rohit Chandra, Leo Dagum, Dave Kohr, Dror Maydan, Jeff McDonald, Ramesh Menon, Academic Press Morgan Kaufmann Publishers, San Diego, CA, 2001.
3. An Introduction to Parallel Programming, Peter S. Pacheco, 2011, 1st Edition, Morgan Kaufmann Publishers.
4. CUDA by Example: An Introduction to General-Purpose GPU Programming, Jason Sanders and Edward Kandrot, 2011, 1st Edition, AddisonWesley Professional.
5. Heterogeneous Computing with OpenCL, By Benedict Gaster, Lee Howes, David R. Kaeli, Perhaad Mistry, Dana Schaa, 2012, Morgan Kaufmann.

### **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.

### **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.

## **5.3 Cursos electivos especiales**



Si la línea de especialización y el tema de la tesis así lo requiere, el estudiante podrá recibir algunos cursos específicos complementarios, inclusive en otras instituciones con las cuales el IMCA tiene relaciones de cooperación académica, esto incluye Có-Asesoría (Co-tutela) con académicos e investigadores de experiencia internacional pertenecientes a estas instituciones. Asimismo, los alumnos de la maestría pueden llevar como electivos cursos de otras maestrías, con autorización del coordinador de la maestría en MMC.

El programa de la Maestría en MMC contará con un coordinador que gestionará un tutor o asesor para cada alumno a fin de orientarlo en la selección de los cursos electivos que sean acordes a sus requerimientos para su proyecto de tesis.

A modo de referencia se lista los enlaces web de las maestrías en instituciones afines:



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## Facultad de Ciencias

---

### **UNI – Escuela Central de Posgrado (Perú)**

- <https://www.uni.edu.pe/index.php/posgrado-uni/maestrias>

### **CMM – UCHILE (Chile)**

- <http://postgrado.dim.uchile.cl/magister/programa-de-estudios/>

### **IMPA (Brasil)**

- <https://impa.br/ensino/programas-de-formacao/mestrado-profissional-financas/>

### **ÉCOLE POLYTECHNIQUE (Francia)**

- <https://programmes.polytechnique.edu/master/a-propos-des-masters-of-science-and-technology/structure-des-masters-of-science-and>

### **ÉCOLE NORMALE SUPERIEURE / Universite PSL (Francia)**

- <https://www.psl.eu/en/education/master-s-degree-mathematics-and-applications>

### **CERMICS/ ÉCOLE DES PONTS – ParisTech (Francia)**

- <https://cermics-lab.enpc.fr/enseignement/>

### **ÉCOLE NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNIQUES AVANCEES – ParisTech (Francia)**

- <https://uma.ensta-paris.fr/mpro/master2>





### VII. Nómina de docentes

**Director del IMCA:** Prof. Félix Escalante del Águila

Apellidos y Nombres	Mayor Grado Académico del Docente	Universidad que Otorgó el Mayor Grado Docente
Eladio Ocaña Anaya	Doctor	Université Blaise Pascal & 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 & UNI
Ernesto Oré Albornoz	Doctor	Université Blaise pascal & UNI
Dimas Abanto Silva	Doctor	IMPA
Helmuth Villavicencio Fernández	Doctor	UNI
Benito Ostos Cordero	Doctor	UNI
Joe Palacios Baldeón	Doctor	University of Liverpool
Angel Ramirez Gutierrez	Doctor	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
Profesores asociados, invitados y visitantes		