

Modelación y análisis de sistemas de Infraestructura

Mauricio Sánchez-Silva
Departamento de ingeniería Civil y Ambiental
Universidad de Los Andes

ICYA-4440 (CRN: 40367) Horario: Lun. y Mie. 8:00-9:15 am

4 de agosto de 2025

1. Aspectos generales

1.1. Introducción

En el mundo moderno, la infraestructura es esencial para el desarrollo socioeconómico de cualquier país. La infraestructura debe ser eficiente, confiable y sostenible en el tiempo. La modelación y manejo de infraestructura es diferente del tratamiento que se le da a los proyectos individuales. Cuando se enfrenta un problema de infraestructura es indispensable tener en cuenta las interacciones entre componentes; la complejidad de los sistemas y su comportamiento en el tiempo (e.g., del ciclo de vida). Adicionalmente, dado el tamaño de la infraestructura y los desarrollos tecnológicos que permiten la adquisición de grandes cantidades de datos, hoy en día el manejo y análisis de información juega un papel crucial en la planeación diseño y operación. Este curso integra todos estos conceptos con el fin de proporcionar a los estudiantes un mayor entendimiento de diferentes tipos de sistemas (transporte, servicios públicos, generación y distribución de energía) y las herramientas necesarias para que puedan comprender y modelar su comportamiento.

1.2. Requisitos

El curso es electivo de pregrado y posgrado. El curso no tiene pre-requisitos formales; la mayoría los conocimientos teóricos necesarios se impartirán en clase o en sesiones complementarias. Sin embargo, es recomendable que los estudiantes tengan un conocimiento básico de programación y de software especializado como Matlab, Python, **R**, Mathcad; y probabilidad y estadística.

1.3. Objetivos

El objetivo del curso es estudiar los elementos centrales que conforman un *sistema de infraestructura*, su comportamiento y su importancia para el desarrollo socioeconómico de una región o un país. En el curso se revisa el significado del término *infraestructura* (desde una perspectiva sistémica); y se hace una caracterización de la infraestructura civil principalmente¹. Además, se estudia su comportamiento en el tiempo con el fin de optimizar el diseño y la operación (i.e., mantenimiento). La caracterización y modelación de los sistemas de infraestructura se realiza desde una perspectiva analítica y se complementa con nociones básicas de *Ciencia de Datos*. Finalmente, en el curso se

¹Es importante resaltar que los temas tratados en este curso se pueden extender a diversos sistemas de infraestructura, más allá de la Ingeniería Civil.

discute la importancia de integrar aspectos físicos con conceptos de matemática financiera; esto permite explorar ideas relacionadas con *Ciclo de Vida*, *Resiliencia* y *Flexibilidad*.

2. Programa-general

El programa del curso se presenta a continuación.

Programa del curso por semanas.

Semana	Tema
1-2	Introducción. Definiciones de infraestructura Infraestructura Sostenible y Resiliente
3	Introducción a la ciencia de datos Preprocesamiento Datos faltantes y datos duplicados Detección de anomalías Aprendizaje supervisado: regresiones/Clasificación (Regresión logística, PCA) Taller datos: Manejo de bases de datos de infraestructura.
4	Técnicas de aprendizaje estadístico. Regresiones/clasificación K-Means, SVM) Taller datos: problemas de clasificación Redes Neuronales
5	Toma de decisiones en infraestructura Tipos de decisiones, actores, requerimientos, impacto, etc.
6	Modelación de sistemas de infraestructura. Análisis de sistemas simples. Modelación de redes (indicadores bbásicos)
7	Modelación de redes: Confiabilidad/flujo y ejemplos de optimización.
8	Caminatas aleatorias: ejemplos y aplicaciones Taller datos: Manejo de datos en redes de infraestructura: redes ficticias (clusterización), Análisis de flujo (análisis con matrices tipo origen-destino)
9	Modelación dinámica de componentes de infraestructura Conceptos báicos de probabilidad y procesos estocásticos. Desempeño de componentes en el tiempo (Cadenas de Markov, Caso continuo) Mecanismos y modelos de deterioro Distribución del tiempo a la falla
10	Taller datos: Evaluación con base on observaciones del sistema - Aproximación ciencia datos

- 11 Revision de conceptos básicos de *Engineering Finance*.
 - 12 Análisis de ciclo de vida:
Definiciones y conceptos básicos (utilidad/tasas de descuento/misión)
Evaluación de costos
 - 13 Análisis de costo de ciclo de vida: Mantenimiento y operación de sistemas.
Taller datos: Aprendizaje estadístico en la operación de infraestructura:
Introducción a las redes neuronales
 - 14 Diseño y manejo flexible de sistemas de infraestructura.
Resiliencia y estrategias de cambio.
Conceptos básicos de opciones reales y flexibilidad Optimización (diseño y operación)
 - 15 Examen Final
-

3. Evaluación del curso

El curso se evaluará de la siguiente forma:

- 1 examen parcial + examen final (50 %)
- Talleres de datos (20 %)
- Tareas (30 %)

4. Referencias

4.1. Libros del curso

Las referencias principales del curso son las siguientes:

- Sánchez-Silva, M. and Klutke, G.-A. (2016). Reliability and Life-Cycle Analysis of Deteriorating systems. Springer.
- A. Goodman and M. Hastak, Infrastructure Planning Handbook, 1st edition, (McGraw-Hill, 2007)
- de Neufville, R. and Scholtes, S. (2011). Flexibility in Engineering Design. MIT Press.
- Blockley D.I. and Godfrey P. (2000) Doing it Differently: Systems for Rethinking Construction. Thomas Telford, London

4.2. Libros de referencia

Adicionalmente, a continuación se presenta una lista de referencias que complementan varios de los temas que se tratarán en el curso.

- Ang, A. H-S., and Wilson, H. Tang, Probability Concepts in Engineering , 2nd edición, J. Wiley, New York, 2007.
- Gatti, S. (2008). Project Finance in Theory and Practice. Elsevier.
- Kottegoda, N.T., and R. Rosso, Probability, Statistics, and Reliability for Civil and Environmental Engineers, McGraw-Hill, New York, NY, 1997.
- Blockley D. (1980), The nature of structural safety and Engineering. Ellis Horwood, Series in Civil Engineering.
- Keeney, R.L. and Raia, H. (1993); Decisions with Multiple Objectives: Preferences and ValueTradeos; Cambridge University Press.
- Hirshleifer, J. and Riley, J. (1992); The Analytics of Uncertainty and Information; Cambridge University Press.
- Hillier, F. and Lieberman, G. (1990); Introduction to Operations Research; Fifth Edition, McGraw-Hill.
- deNeufville, R. (1990); Applied Systems Analysis; McGraw Hill.
- Revelle, C.S., Whitlatch, E.E. and Wright, J.R. (2004); Civil and Environmental Systems Engineering; Prentice Hall.
- Dreyfus, S. and Law, A. (1977); The Art and Theory of Dynamic Programming; Academic Press.
- Bertsekas, D. (2000); Dynamic Programming and Optimal Control; Athena Scientific.
- Bather, J. (2000); Decision Theory: An Introduction to Dynamic Programming and Sequential Decisions; John Wiley & Sons, Ltd.
- Gibbons, R. (1992); Game Theory for Applied Economists; Princeton University Press.
- Della Isola, A. and Kirk, S. 2003. Life Cycle Costing for Facilities. Reed Construction Data,Kingston, MA.
- Sanchez-Silva M (2005), Introducción a la confiabilidad y evaluación de riesgos. Ediciones Uniandes.
- Deficiencies: The Case of Highway Bridges. Journal of Infrastructure Systems, Vol 1, No 2, ASCE, June, 1995.
- Smith, R. E., and Fallaha, K. M. (1992) Developing an Interface between Network- and Project-Level Pavement Management System for Local Agencies. Transportation Research Record (TRB) 1344, National Research Council, Washington, D.C., pp. 14-121.
- Danylo, N.H. (1998) Asset Management: A Tool for Public Works Officials. Journal of Infrastructure Systems, Vol. 4, No. 3, pp. 91-92.
- Gharaibeh, N. G. and Lindholm, D. B. (2012) A Condition Assessment Method for Roadside Assets. Structure and Infrastructure Engineering: Maintenance, Management, Life-Cycle Design and Performance, 2012, pp. 1-10.

- Uzarski, D.R., Grussing, M.N., and Clayton, J.B. Knowledge-Based Condition Survey Inspection Concepts. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 13, No. 1, 2007, pp. 72-79.
- Shahin, M.Y., Kohn, S.D., Lytton, R.L. and McFarland, M. Pavement M&R Budget Optimization using the Incremental Benefit-Cost Technique. In: *Procs., North American Pavement Management Conference*, Toronto, Ontario, 1985.
- Thompson, P.D., and Johnson, M.B. Markovian bridge deterioration: developing models from historical data. *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 1, No. 1, March 2005, pp. 85-91.
- Halfawy, M.M.R., Newton, L.A., Vanier, D.J. Review of Commercial Municipal Infrastructure Asset Management Systems. *ITcon*, Vol. 11, 2006, pp. 211-224.

Optional readings (listed alphabetically):

- Amekudzi, A. and McNeil, S. Capturing Data and Model Uncertainties in Highway Performance Estimation. *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 126, No. 6, November/December, 2000, pp. 455-463 Page 3 of 6
- Gharaibeh, N. G., Chiu, Y-C., and Gurian, P. L. Decision Methodology for Allocating Funds across Transportation Infrastructure Assets. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 12, No. 1, March 2006, pp. 1-9.
- Madanat, S. M. Incorporating Inspection Decisions in Pavement Management Systems. *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 27, No. 6, 1993, pp. 425-438.
- Mishalani, R.G. and Gong, L. Optimal Sampling of Infrastructure Condition: Motivation, Formulation, and Evaluation. *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 15, No. 4, December 1, 2009, pp. 313-320.
- Prozzi, J.A. and Madanat, S.M. Using Duration Models to Analyze Experimental Pavement Failure Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Vol. 1699, 2000, pp. 87-94.
- Shahin, M.Y., Darter, M.I., and Kohn, S.D. Pavement Condition Evaluation of Asphalt Surfaced Airfield Pavements. *Proceedings: Association of Asphalt Paving Technology*, Vol.47-78, 1978, p.190.
- Shahin, M.Y., Darter, M.I., and Kohn, S.D. Condition Evaluation of Jointed Concrete Airfield Pavement. *Transportation Engineering Journal*, Vol. 106, No. 4, 1980, pp. 381-399.

4.3. Revistas internacionales- i.e., Journals

Adicionalmente a los libros arriba mencionados, existe una serie de revistas relacionadas con el tema que son de interés y que se encuentran disponibles en la biblioteca:

- ASCE: *Journal of Construction Engineering and Management*
- ASCE *Journal of Infrastructure Systems*
- *Journal of Performance of Constructed Facilities*
- *Journal of Management in Engineering*

- CSCE Canadian Journal of Civil Engineering
- APWA Journal of Public Works Management and Policy
- Engineering, Construction and Architectural Management.
- Int. Journal of IT in Architecture, Engineering and Construction
- Structural safety
- Reliability Engineering & Systems Safety
- Probabilistic Engineering Mechanics
- IEEE Transactions on Reliability
- Civil Engineering and Environmental Systems
- ICE Journal of Structures and buildings

4.4. Material adicional - páginas Web

En las siguientes páinas web encontrán información adicional de gran utilidad sobre infraestructura:

- <https://www.coursera.org/learn/python-for-data-visualization> - Curso de visualización de datos en Python
- <https://www.coursera.org/learn/machine-learning> - Curso introductorio a Machine Learning en Matlab.
- see www.infraguide.ca - Best Practices published by InfraGuide (free download); **Este documento hace parte integral del curso**
- www.irc.nrc-cnrc.gc.ca/irccontents.html NRC Institute for Research in Construction: urban infrastructure research program (some of the latest research in the field) publications
- www.infrastructure.gc.ca : Infrastructure Canada's website
- www.IPWEA.org : Australia's Institute of Public Works Engineers (publishers of the International manual)
- http://www.pir.gov.on.ca/userfiles/HTML/cma_4_35659_1.html Ministry of Public Infrastructure Renewal, Ontario
- <http://www.fhwa.dot.gov/infrastructure/asstmgmt/resource.htm> US Federal Highway Administration asset management office
- Vanier, D.J.; Rahman, S. 2004. MIIP Report:Survey on Municipal Infrastructure Assets NRC Press, Client Report B-5123.2 <irc.nrc-cnrc.gc.ca/uir/miip/index.html>
- Vanier, D.J.; Rahman, S. 2004. MIIP Report:Primer on Municipal Infrastructure Asset Management. NRC Press, Client Report B-5123.3 <irc.nrc-cnrc.gc.ca/uir/miip/index.html>

5. Protocolo MAAD

El miembro de la comunidad que sea sujeto, presencie o tenga conocimiento de una conducta de maltrato, acoso, amenaza, discriminación, violencia sexual o de género (MAAD) deberá poner el caso en conocimiento de la Universidad. Esto, con el propósito de que se puedan tomar acciones institucionales para darle manejo al caso, a la luz de lo previsto en el protocolo, velando por el bienestar de las personas afectadas. Para poner en conocimiento el caso y recibir apoyo, usted puede contactar a:

- Línea MAAD: lineamaad@uniandes.edu.co
- Ombudsperson: ombudsperson@uniandes.edu.co
- Decanatura de Estudiantes: Correo: centrodeapoyo@uniandes.edu.co
- Red de Estudiantes: PACA (Pares de Acompañamiento contra el Acoso) paca@uniandes.edu.co.
- Consejo Estudiantil Uniandino(CEU) comiteacosoceu@uniandes.edu.co