

## PROGRAMA DE CURSO REDES DE TRANSPORTE

### A. Antecedentes generales del curso:

Departamento	Ingeniería Civil (DIC)					
Nombre del curso	Redes de transporte	Código	CI5146	Créditos	6	
Nombre del curso en inglés	<i>Transportation networks</i>					
Horas semanales	Docencia	3	Auxiliares	2	Trabajo personal	5
Carácter del curso	Obligatorio	X		Electivo		
Requisitos	MA3701/IN3171/MA3711/EL4114					

### B. Propósito del curso:

El curso tiene como propósito que los y las estudiantes apliquen herramientas fundamentales de optimización para enfrentar problemas de flujo en redes genéricas, también para modelar problemas de equilibrio en redes de transporte y resolver problemas equivalentes de optimización, tanto en caso de vehículos particulares como de usuarios de transporte público.

El curso tributa a las siguientes competencias específicas (CE) y genéricas (CG):

CE1: Concebir, formular y aplicar modelos para la resolución de problemas relacionados con obras y sistemas de ingeniería civil.

CE2: Interpretar y evaluar los métodos, herramientas y tecnologías utilizados y sus resultados, siendo estas computacionales, experimentales, numéricas o analíticas, en la resolución de problemas asociados a obras y sistemas de ingeniería civil.

CE4: Identificar e incorporar los elementos de incertidumbre inherentes a todo proyecto de ingeniería civil, en la concepción, diseño, ejecución y administración de los proyectos.

CET6: Modelar el comportamiento de viaje de las personas y el rendimiento de las redes de transporte.

~~CET7: Estimar el impacto que un proyecto de transporte puede tener en las elecciones de las personas, en términos de origen, destino, ruta, modo y hora de los viajes, así como sobre el uso de su tiempo.~~

CET9: Estimar el impacto de políticas de uso de suelo en el sistema de transporte, y el impacto de políticas de transporte en el sistema de actividades, en el uso del suelo y

en el uso del tiempo.

**CG1: Comunicación académica y profesional**

Comunicar en español de forma estratégica, clara y eficaz, tanto en modalidad oral como escrita, puntos de vista, propuestas de proyectos y resultados de investigación fundamentados, en situaciones de comunicación compleja, en ambientes sociales, académicos y profesionales.

**CG2: Comunicación en inglés**

Leer y escuchar de manera comprensiva en inglés una variedad de textos e informaciones sobre temas concretos o abstractos, comunicando experiencias y opiniones, adecuándose a diferentes contextos y a las características de la audiencia.

**CG3: Compromiso ético**

Actuar de manera responsable y honesta, dando cuenta en forma crítica de sus propias acciones y sus consecuencias, en el marco del respeto hacia la dignidad de las personas y el cuidado del medio social, cultural y natural.

### C. Resultados de aprendizaje:

Competencias específicas	Resultados de aprendizaje
CE1, CE2	RA1: Formula y resuelve problemas de optimización en redes (ruta mínima, de máximo flujos entre otros), considerando algoritmos de mejora a costos primal y dual y técnicas de Network simplex.
CET6, <del>CET7</del>	RA2: Formula modelos de flujo en redes y de equilibrio en redes de transporte, a fin de resolver problemas reales de transporte privado y transporte público, utilizando herramientas o algoritmos de optimización, según contexto.
CE4, CET6	RA3: Modela equilibrios en redes de transporte con incertidumbre en la percepción de los usuarios y los resuelve con algoritmos de naturaleza estocástica, adaptados al tipo de problema.
CE4, CE6, CG3	RA4: Implementa computacionalmente algoritmos para resolver equilibrios de transporte en redes reales, analizan dilemas éticos asociados al uso de datos sensibles y modelos de redes.
CET7, CET9	RA5: Cuantifica el impacto proyectos de transporte a nivel táctico (elección de rutas, selección de estrategias, horarios de viaje, entre otros), en los sistemas de actividades y uso de suelo.
Competencias genéricas	Resultados de aprendizaje
CG1	RA5: Produce ensayos respecto de temas específicos asociados a cada unidad, donde entrega una visión crítica respecto de metodologías en el estado del arte publicadas en revistas científicas o libros. RA6: Elabora un resumen ejecutivo, sintetizando los resultados de una implementación computacional, evidenciando en sus textos claridad, coherencia y cohesión, así como el uso preciso de conceptos y modelos de redes de transporte.
CG2	RA7: Lee en inglés diversos textos y papers sobre redes de transporte público y privado, a fin de extraer y sintetizar información complementaria a los contenidos del curso.

#### D. Unidades temáticas:

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
1	RA1	Conceptos fundamentales en problemas de redes	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
1.1. Concepto de grafo y flujo en grafos. 1.2. Divergencia, costos y restricciones de capacidad. 1.3. Problema de flujo a costomínimo. 1.4. Formulación de problemas tipo: transporte, asignación, vendedor viajero, máximo flujo, rutas mínimas.		El/la estudiante: Usa notación relevante, definiciones básicas y modelación analítica de los problemas clásicos de optimización en redes. Formula distintas versiones del problema de flujo de costo mínimo.	
Bibliografía de la unidad		[1], [4],[7], [11]	



Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
2	RA1, RA6, RA7, RA8	Problemas y algoritmos de optimización en redes	5,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>2.1. Dualidad del problema de flujo a costo mínimo.</p> <p>2.2. Network SIMPLEX.</p> <p>2.3. Aplicación NS: El problema de transporte de Hitchcock, casos sin y con nodos de transferencia.</p> <p>2.4. Problemas de rutas mínimas y algoritmos de solución.</p> <p>2.5. Problemas de flujo máximo y algoritmos de solución.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formula los problemas fundamentales de flujo en redes.</li> <li>2. Aplica algoritmos de solución (Network simplex, dualidad y mejora al costo primal) en problemas de rutas mínimas, máximo flujo, problema de transporte, etc.</li> <li>3. Lee en inglés sobre redes de transporte, para extraer conceptos aplicables a diversos problemas de flujo en redes.</li> <li>4. Produce textos complejos propios del área profesional (ensayo crítico) sobre algún tópico en optimización en redes, considerando claridad, coherencia y cohesión en su exposición y argumentación.</li> <li>5. Redacta un avance del resumen ejecutivo de la tarea computacional sobre redes de transporte, considerando claridad, coherencia y cohesión en su escritura.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[1], [4], [5], [7], [11]	



Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
3	RA2, RA4, RA6, RA8	Equilibrio y asignación determinista en redes de transporte privado	3,5 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>3.1.Redes de transporte privado en el ámbito urbano: conceptos básicos.</p> <p>3.2.Formulación del problema de equilibrio como una desigualdad variacional.</p> <p>3.3.Equilibrio de usuario (EU) y óptimo del sistema (OS): caso determinístico.</p> <p>3.4.Revisión de problemas de minimización y algoritmos básicos de optimización.</p> <p>3.1.Método de combinaciones convexas para resolver problemas EU y OS (Frank-Wolfe).</p> <p>3.2.Extensión a caso equilibrio de usuario con demanda variable.</p> <p>3.3.Tarificación vial.</p> <p>3.4.Extensión al caso general de EU: funciones no diagonales de rendimiento, caso determinista.</p> <p>3.5.Asignación dinámica de tráfico.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formula modelos deterministas de equilibrio y asignación en redes urbanas.</li> <li>2. Resuelve los equilibrios, usando métodos de combinaciones convexas.</li> <li>3. Extiende estos métodos a casos con demanda variables y redes no diagonales.</li> <li>4. Formula y resuelve modelos de asignación dinámica de tráfico.</li> <li>5. Lee en inglés sobre redes de transporte, para extraer conceptos aplicables a diversos problemas de equilibrio deterministas en redes de transporte privado.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[3], [13], [15]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
4	RA3, RA4, RA6, RA8	Equilibrio y asignación estocásticas en redes de transporte privado	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
<p>4.1. Modelos de asignación estocástica en redes.</p> <p>4.2. Equilibrio de usuario: caso estocástico (EUE).</p> <p>4.3. Algoritmos de solución modelo de carga estocástica para caso Logit (algoritmos de Dial; Baillon y Cominetti).</p> <p>4.1. Algoritmo de solución para EUE, caso Logit (MSA).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analiza el comportamiento estocástico de los usuarios en la percepción de los niveles de servicio de las redes de transporte.</li> <li>2. Formula modelos estocásticos de equilibrio y asignación en redes urbanas.</li> <li>3. Resuelve problemas, usando algoritmos de programación dinámica y MSA.</li> <li>4. Lee en inglés sobre redes de transporte, para extraer conceptos aplicables a diversos problemas de equilibrio estocástico en redes de transporte privado.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		[2], [3], [13], [15]	



Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
5	RA2, RA3, RA4, RA6, RA7, RA8	Equilibrio y asignación en redes de transporte público	2 semanas
Contenidos		Indicador de logro	
5.1. Conceptos de rutas, hiper-rutas y líneas comunes en transporte público. 5.2. Modelos alternativos de equilibrio: rutas mínimas y estrategias óptimas. 5.1. Modelo estocástico de equilibrio en transporte público.		El/la estudiante: 1. Formula modelos para resolver problemas de equilibrio y asignación de pasajeros a sistemas de transporte público. 2. Resuelve problemas de asignación de transporte público, usando herramientas de programación dinámica. 3. Produce textos complejos propios del área profesional (ensayo crítico) sobre algún tópico en equilibrios en transporte privado y transporte público, considerando claridad, coherencia y cohesión en su exposición y argumentación. 4. Redacta la versión final del resumen ejecutivo de la tarea computacional sobre redes de transporte, considerando considerando claridad, coherencia y cohesión en su escritura.	
Bibliografía de la unidad		[6], [8], [9], [10], [12], [14], [16]	

Número	RA al que tributa	Nombre de la unidad	Duración en semanas
6	RA5, RA7, RA9	Tópicos avanzados y análisis de proyectos tácticos de asignación en redes de transporte	1 semana
Contenidos		Indicador de logro	
6.1. Modelamiento para evaluación de proyectos tácticos. 6.2. Modelos de asignación y microsimulación de tráfico. 6.3. Aspectos avanzados en asignación dinámica de tráfico.		El/la estudiante: 1. Cuantifica el impacto de proyectos tácticos de transporte sobre los sistemas urbanos. 2. Formula modelos de asignación en conjunto con simulación de tráfico 3. Distingue métodos avanzados de asignación dinámica de tráfico, considerando el uso que se hace de estos modelos. 1. Determina los alcances, impactos y responsabilidades, derivados de la toma de	

	decisiones sobre los beneficios de proyectos de modelamiento de redes de transporte
Bibliografía de la unidad	[16] [17]

### E. Estrategias de enseñanza - aprendizaje:

<p>El curso considera las siguientes estrategias:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Clase expositiva: se presentan los temas de la unidad correspondiente, se entregan ejemplos de problemas simples que se analizan; se demuestran los teoremas.</li> <li>▪ Resolución de problemas: se trabaja con modelos de comportamiento de problemas de flujo en redes y algoritmos de solución. También se da un problema de tamaño real que debe ser resuelto en una tarea, dividida en dos etapas (primero se resuelven los algoritmos de optimización y en una segunda etapa los modelos de equilibrios en redes).</li> </ul>
---

### F. Estrategias de evaluación:

El curso considera diversas instancias de evaluación:	
Tipo de evaluación	Resultado de aprendizaje asociado a la evaluación
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Controles</li> </ul>	Evalúan RA1, RA2, RA3, RA5.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ensayos asociados a los controles y un ensayo final sobre el modelamiento en redes de transporte, considerando aspectos técnicos y éticos.</li> </ul>	Evalúan RA6, RA8, RA9.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tarea computacional: el/la estudiante deberá programar algunos de los algoritmos vistos en clase y resolver un problema real de gran tamaño, cuyos resultados reporta en un resumen ejecutivo.</li> </ul>	Evalúa RA4, RA7, RA8.
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Examen</li> </ul>	Evalúa RA1, RA2, RA3, RA5.
<p><i>Al inicio del curso el cuerpo académico a cargo informará sobre el tipo de evaluación a realizar, la cantidad y ponderaciones correspondientes.</i></p>	

## G. Recursos bibliográficos:

### Bibliografía obligatoria:

- [1] Ahuja R.K., T.L. Magnanti y J.B. Orlin (1993). Network Flows. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- [2] Illon, J.B., y Cominetti, R. (2008) Markovian traffic equilibrium, Mathematical Programming 111(1-2), pp. 35-36.
- [3] Bell, M.G., Iida Y. (1997). Transportation Network Analysis, Wiley, England.
- [4] Bertsekas, D. (1998). Network Optimization. Athena Scientific, Belmont, Massachusetts.
- [5] Bertsimas y Tsitsikis (1997) Introduction to Linear Optimization, Athena Scientific, Belmont, Massachusetts.
- [6] Codina, E., & Rosell, F. (2019). A stochastic congested strategy-based transit assignment model with hard capacity constraints. Transportation Research Procedia, 37, 298-305.
- [7] Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., Stein C. (2009). Introduction to Algorithms, Third Edition. The MIT Press.
- [8] Cominetti, R. y J. Correa (2001) Common-Lines and Passenger Assignment in Congested Transit Networks. Transportation Science 35, 250-267.
- [9] Cortés C.E., Jara-Moroni P., Moreno E., Pineda C. (2013). Stochastic transit equilibrium, Transportation Research Part B, 51, 29-44.
- [10] De Cea J. y J.E. Fernández (1993) Transit assignment for congested public transport systems: and equilibrium model. Transportation Science 27 (2), 133-147.
- [11] Heineman G.T., Pollice G., Selkow S. (2008). Chapter 8: Network Flow Algorithms in Algorithms in a Nutshell. Oreilly Media. pp. 226–250. ISBN 978-0-596-51624-6.
- [12] Larrain, H., Suman, H. K., & Muñoz, J. C. (2021). Route based equilibrium assignment in congested transit networks. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 127, 103125.
- [13] Lindsey, R. and E. T. Verhoef, (2000) Congestion modelling, in “Handbooks in Transport, Volume 1: Handbook of Transport Modelling”. Ed. A. Hensher and K. J. Button, Eds., Elsevier, Amsterdam.
- [14] Pineda, C., Cortés, C. E., Jara-Moroni, P., & Moreno, E. (2016). Integrated traffic-transit stochastic equilibrium model with park-and-ride facilities. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 71, 86-107.
- [15] Sheffi, Y. (1985). Urban Transportation Networks. Prentice Hall.
- [16] Spiess, H. y M. Florian (1989) Optimal strategies: a new assignment model for transit networks. Transportation Research 23B, 83-102.

### Bibliografía complementaria

- [16] Barceló, J. (2010). Fundamentals of traffic simulation (Vol. 145, p. 439). New York: Springer.
- [17] Szeto, W., & Wang, Shuai. 2011. Dynamic traffic assignment: Model classifications and recent advances in travel choice principles. Central European Journal of Engineering, 2(03).

#### H. Datos generales sobre elaboración y vigencia del programa de curso:

Vigencia desde:	Otoño 2023
Elaborado por:	Cristian Cortés
Validado por:	Validador académico par: Alejandro Tirachini (2023) Validación general académicos del área de Transporte (2023)
Revisado por:	Área de Gestión Curricular