

## 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	CI3242: Análisis de datos para Ingeniería					

### 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 genéricos de optimización en redes, considerando algoritmos de mejora a costos primal y dual y técnicas de Network simplex.
CET6, CET7	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 apropiados.
CE4, CET6	RA3: Modela equilibrios en redes de transporte con incertidumbre en la percepción de los usuarios y los resuelve con algoritmos adaptados al tipo de problema.
CE4, CE6	RA4: Implementa computacionalmente algoritmos para resolver equilibrios de transporte en redes de tamaño real.
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	<p>RA6: 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.</p> <p>RA7: 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.</p>
CG2	RA8: 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.
CG3	RA9: Analiza dilemas asociados a decisiones de carácter profesional donde se debe trabajar éticamente con datos y modelos, considerando el impacto social en evaluación de proyectos tácticos que dependen de resultados de asignación en redes de transporte público y transporte privado.

#### 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	
<p>1.1. Concepto de grafo y flujo en grafos.</p> <p>1.2. Divergencia, costos y restricciones de capacidad.</p> <p>1.3. Problema de flujo a costo mínimo.</p> <p>1.4. Formulación de problemas tipo: transporte, asignación, vendedor viajero, máximo flujo, rutas mínimas.</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Usa notación relevante, definiciones básicas y modelación analítica de los problemas clásicos de optimización en redes.</li> <li>2. Formula distintas versiones del problema de flujo de costo mínimo.</li> </ol>	
Bibliografía de la unidad		<p>[1]</p> <p>[4]</p> <p>[7]</p> <p>[11]</p>	

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	
2.1. Dualidad del problema de flujo a costo mínimo. 2.2. Network SIMPLEX. 2.3. Aplicación NS: El problema de transporte de Hitchcock, casos sin y con nodos de transferencia. 2.4. Problemas de rutas mínimas y algoritmos de solución. 2.5. Problemas de flujo máximo y algoritmos de solución.		El/la estudiante: 1. Formula los problemas fundamentales de flujo en redes. 2. Aplica algoritmos de solución (Network simplex, dualidad y mejora al costo primal) en problemas de rutas mínimas, máximo flujo, problema de transporte, etc. 3. Lee en inglés sobre redes de transporte, para extraer conceptos aplicables a diversos problemas de flujo en redes. 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. 5. Redacta un avance del resumen ejecutivo de la tarea computacional sobre redes de transporte, considerando considerando claridad, coherencia y cohesión en su escritura.	
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	
3.1. Redes de transporte privado en el ámbito urbano: conceptos básicos. 3.2. Formulación del problema de equilibrio como una desigualdad variacional. 3.3. Equilibrio de usuario (EU) y óptimo del sistema (OS): caso determinístico. 3.4. Revisión de problemas de minimización y algoritmos básicos de optimización. 3.5. Método de combinaciones		El/la estudiante: 1. Formula modelos deterministas de equilibrio y asignación en redes urbanas. 2. Resuelve los equilibrios, usando métodos de combinaciones convexas. 3. Extiende estos métodos a casos con demanda variables y redes no diagonales. 4. Formula y resuelve modelos de asignación dinámica de tráfico.	

<p>convexas para resolver problemas EU y OS (Frank-Wolfe).</p> <p>3.6. Extensión a caso equilibrio de usuario con demanda variable.</p> <p>3.7. Tarifificación vial.</p> <p>3.8. Extensión al caso general de EU: funciones no diagonales de rendimiento, caso determinista.</p> <p>3.9. Asignación dinámica de tráfico.</p>	<p>5. Lee en inglés sobre redes de transporte, para extraer conceptos aplicables a diversos problemas de equilibrio deterministas en redes de transporte privado.</p>
Bibliografía de la unidad	<p>[3]</p> <p>[13]</p> <p>[15]</p>

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>4.4. Algoritmo de solución para EUE, caso Logit (MSA).</p>		<p>El/la estudiante:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>Analiza el comportamiento estocástico de los usuarios en la percepción de los niveles de servicio de las redes de transporte.</li> <li>Formula modelos estocásticos de equilibrio y asignación en redes urbanas.</li> <li>Resuelve problemas, usando algoritmos de programación dinámica y MSA.</li> <li>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		<p>[2]</p> <p>[3]</p> <p>[13]</p> <p>[15]</p>	

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
<b>Contenidos</b>		<b>Indicador de logro</b>	
5.1. Conceptos de rutas, hiper-rutas y líneas comunes en transporte público. 5.2. Modelos alternativos de equilibrio: rutas mínimas y estrategias óptimas. 5.3. Modelo estocástico de equilibrio en transporte público.		El/la estudiante: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Formula modelos para resolver problemas de equilibrio y asignación de pasajeros a sistemas de transporte público.</li> <li>2. Resuelve problemas de asignación de transporte público, usando herramientas de programación dinámica.</li> <li>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.</li> <li>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.</li> </ol>	
<b>Bibliografía de la unidad</b>		[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: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cuantifica el impacto de proyectos tácticos de transporte sobre los sistemas urbanos.</li> <li>2. Formula modelos de asignación en conjunto con simulación de tráfico</li> <li>3. Distingue métodos avanzados de asignación dinámica de tráfico, considerando el uso que se hace de estos modelos.</li> <li>4. Determina los alcances, impactos y responsabilidades, derivados de la toma de decisiones sobre los beneficios de proyectos de modelamiento de redes de transporte</li> </ol>	
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	RA asociado
<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</li> </ul>	Evalúa RA4, RA7, RA8.

clase y resolver un problema real de gran tamaño, cuyos resultados reporta en un resumen ejecutivo.	
• Examen: todo el contenido del curso.	Evalúa RA1, RA2, RA3, RA5.

## 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*. O'Reilly 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". ŽD. 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:	Cristián E. Cortés
Validado por:	Validador académico par: Alejandro Tirachini Validación general académicos del área de Transporte
Revisado por:	Área de Gestión Curricular