

# Tabla de Contenido

<b>1. Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Definición del problema . . . . .	1
1.2. Objetivos . . . . .	6
1.2.1. Objetivo general . . . . .	6
1.2.2. Objetivos específicos . . . . .	6
1.3. Alcances . . . . .	7
1.4. Estructura de la tesis . . . . .	8
<b>2. Marco Conceptual</b>	<b>9</b>
2.1. Formulación del problema de diseño de redes . . . . .	10
2.1.1. Funciones de latencia . . . . .	12
2.2. Problemas de programación binivel . . . . .	14
2.3. Equilibrio en juegos de red . . . . .	17
2.3.1. Equilibrio de Wardrop . . . . .	17
2.3.2. Precio de la anarquía . . . . .	20
2.4. Optimización robusta . . . . .	21
2.4.1. Contraparte robusta . . . . .	23
2.4.2. Conjuntos de incertidumbre . . . . .	25
2.4.3. Métodos de resolución . . . . .	28
2.5. Trabajos relacionados . . . . .	29

<b>3. Modelos</b>	<b>34</b>
3.1. Modelos deterministas . . . . .	36
3.1.1. Modelo 1: Función de costo lineal y con restricciones de capacidad . .	37
3.1.2. Modelo 2: Función de latencia BPR y sin restricciones de capacidad .	42
3.2. Modelos robustos . . . . .	44
3.2.1. Extensión del modelo determinista a escenarios inciertos de demanda	44
3.2.2. Aproximación de la contraparte robusta ajustable . . . . .	45
<b>4. Resultados Computacionales</b>	<b>54</b>
4.1. Implementación . . . . .	55
4.1.1. Conjunto de incertidumbre . . . . .	55
4.1.2. Métricas de evaluación y tipos de análisis . . . . .	55
4.2. Resultados en redes pequeñas . . . . .	57
4.2.1. Soluciones gráficas y simulaciones . . . . .	59
4.2.2. Análisis variando presupuesto . . . . .	62
4.2.3. Análisis variando nivel de incertidumbre . . . . .	64
4.3. Resultados en red Sioux Falls . . . . .	66
4.3.1. Análisis variando la discretización de valores enteros . . . . .	68
<b>5. Conclusiones</b>	<b>72</b>
5.1. Conclusiones generales . . . . .	72
5.2. Trabajo futuro . . . . .	75
<b>Bibliografía</b>	<b>76</b>
<b>Anexos</b>	<b>82</b>
A . Aproximación de la distribución normal para simular demandas discretas . .	82
B . Costos de viaje óptimos para distintos presupuestos . . . . .	84
B .1. Red pequeña . . . . .	84
B .2. Red Sioux Falls . . . . .	84