

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	3
1.3. Alcance	3
1.4. Estructura	4
2. Estado del Arte	5
2.1. Producción de hidrógeno	6
2.2. Almacenamiento de hidrógeno	10
2.2.1. Compresión	11
2.2.2. Licuefacción	12
2.2.3. Compuestos químicos	12
2.3. Transporte de hidrógeno	12
2.3.1. Camiones	13
2.3.2. Barcos	14
2.3.3. Gasoductos	15
2.4. Usos finales	17
2.4.1. Minería	17
2.4.2. Industria	19
2.4.2.1. Refinería de petróleo	19
2.4.2.2. Producción de acero	20
2.4.2.3. Industria química	21
2.4.2.4. Calor industrial	22
2.4.3. Residencial	24
2.4.3.1. Uso en encimeras	24
2.4.3.2. Uso en hornos	25
2.4.3.3. Uso en sistemas de calefacción	25
2.4.3.4. Uso en calderas	26
2.4.4. Energía eléctrica	27
2.4.4.1. Fuel-cells	27
2.4.4.2. Hidrógeno en turbinas	28
2.4.4.2.1 Turbinas de gas natural	28
2.4.4.2.2 Turbinas a diésel	30
2.4.5. Transporte	32
2.4.5.1. Automóviles	34

2.4.5.2.	Camiones	35
2.4.5.3.	Buses	37
2.4.5.4.	Barcos	38
2.4.5.5.	Aviones	39
2.4.5.6.	Estaciones de carga	39
3.	Metodología de trabajo	42
3.1.	Descripción del modelo de planificación energética PMR	47
3.1.1.	Estructura general	48
3.1.2.	Funcionamiento general	49
3.2.	Definición del caso de estudio	51
3.2.1.	Sectores energéticos y usos de hidrógeno a considerar	51
3.2.2.	Caso de estudio	53
3.3.	Implementación del hidrógeno verde en el modelo PMR	54
3.3.1.	Modelamiento del hidrógeno verde como vector energético	54
3.3.1.1.	Aspectos económicos	55
3.3.2.	Definición de la forma y lugar de la producción del hidrógeno	57
3.3.2.1.	Caracterización de zonas geográficas	58
3.3.2.2.	Producción centralizada	60
3.3.2.2.1	Caracterización de la zona de producción	60
3.3.2.2.2	Caracterización de las rutas de transporte	62
3.3.2.3.	Producción descentralizada	63
3.3.2.4.	Modelo de elección del tipo de producción	64
3.3.3.	Modelamiento de los usos de hidrógeno	66
3.3.3.1.	Sector transporte	66
3.3.3.1.1	Automóviles	67
3.3.3.1.2	Buses urbanos con celdas de combustible	68
3.3.3.1.3	Camión de carga con celdas de combustible	69
3.3.3.1.4	Barco de carga con celdas de combustible	70
3.3.3.1.5	Avión comercial con celdas de combustible	71
3.3.3.2.	Sector industria	71
3.3.3.2.1	Hidrógeno en la siderurgia	71
3.3.3.2.2	Hidrógeno en la producción de amoníaco	73
3.3.3.3.	Sector residencial	74
3.3.3.4.	Sector de minería	76
3.3.3.5.	Sector generación eléctrica	77
4.	Resultados y discusión	79
4.1.	Impacto global del uso de hidrógeno verde en Chile	79
4.2.	Impacto sectorial del uso de hidrógeno en Chile	84
4.2.1.	Sector transporte	84
4.2.1.1.	Automóviles con celdas de combustible	84
4.2.1.2.	Buses Transantiago con celdas de combustible	87
4.2.1.3.	Camiones de carga con celdas de combustible	90
4.2.1.4.	Barcos de carga con celdas de combustible	92
4.2.1.5.	Aviones con celdas de combustible	94
4.2.2.	Sector minero	97

4.2.3.	Sector residencial	100
4.2.3.1.	Calderas y calefactores	100
4.2.4.	Sector industrial	103
4.2.4.1.	Producción de amoníaco	103
4.2.4.2.	Siderurgia	105
4.2.5.	Sector de generación eléctrica	106
5.	Conclusiones	110
	Bibliografía	112
	Anexos	114
A.	Formulaciones integradas en el modelo de optimización	114
B.	Parámetros de las medidas utilizadas	116
B.1.	Parámetros técnicos	116
B.2.	Parámetros económicos	119
C.	Evolución del precio del hidrógeno y otros energéticos	125
D.	Costos de transporte del hidrógeno verde	126