

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación y contexto	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. Alcances	2
2. Marco teórico y estado del arte	4
2.1. Energías renovables en Chile	4
2.2. Concepto de complementariedad	5
2.2.1. Complementariedad espacial	5
2.2.2. Complementariedad temporal	6
2.2.3. Complementariedad en magnitud	6
2.3. Medición de la complementariedad	7
2.3.1. Correlación de Pearson	7
2.3.2. Índices de complementariedad	7
2.3.2.1. Índice de abastecimiento Solar-Eólico	7
2.4. Sistemas de almacenamiento de energía en baterías	8
2.4.1. Estado de carga	8
2.5. Servicios complementarios y flexibilidad	8
2.5.1. Definiciones de los conceptos	8
2.5.2. Marco normativo	9
2.5.2.1. Decreto Supremo 113	9
2.5.2.2. Norma técnica de servicios complementarios	9
2.5.2.3. Estrategia de flexibilidad para el Sistema Eléctrico Nacional	10
2.5.3. Estrategias en centrales renovables	10
2.5.3.1. Centrales solares	11
2.5.3.2. Centrales eólicas	11
2.5.4. Estrategias en BESS	11
3. Propuesta metodológica	12
3.1. Descripción general	12
3.2. Recursos computacionales	13
3.2.1. Python	13
3.2.1.1. Librerías empleadas	13
3.2.2. FICO Xpress Optimization	14
3.3. Preparación preliminar	14

3.3.1.	Preparación de base de datos	14
3.3.2.	Resultados preliminares del año 2021	14
3.4.	Medición de complementariedad	15
3.4.1.	Complementariedad espacial	15
3.4.2.	Complementariedad temporal	15
3.4.3.	Complementariedad en magnitud	15
3.4.4.	Factores de planta	15
3.5.	Incorporación de SSCC	16
3.5.1.	Descripción de modelo para mix óptimo ERNC	16
3.5.2.	Función objetivo	17
3.5.3.	Restricciones lineales	18
3.5.3.1.	Balance de demanda	18
3.5.3.2.	Generación de centrales eólicas y solares	19
3.5.3.3.	Operación de BESS	19
3.5.3.4.	Reservas en el sistema	20
3.5.4.	Costos de tecnologías consideradas	21
3.5.4.1.	Centrales solares y eólicas	22
3.5.4.2.	Tecnologías BESS	23
4.	Resultados	24
4.1.	Geolocalización de centrales	24
4.2.	Generación y demanda en el SEN	25
4.3.	Potencia instalada por tecnología	25
4.4.	Factores de planta	27
4.5.	Curvas de generación y demanda diaria	28
4.6.	Matrices de correlación	31
4.6.1.	Matrices de verano	32
4.6.2.	Matrices de otoño	34
4.6.3.	Matrices de invierno	35
4.6.4.	Matrices de primavera	37
4.6.5.	Observaciones generales	38
4.7.	Índice de abastecimiento Solar-Eólico	39
4.8.	Identificación geográfica de clusters solares y eólicos	42
4.9.	Propuesta de mix óptimo	44
4.9.1.	Incorporación de nuevas centrales ERNC	44
4.9.2.	Incorporación de BESS y nuevas centrales	44
4.9.3.	Competencia de tecnologías BESS	48
4.9.4.	Costos variables nulos	52
4.9.5.	Incorporación de reservas	54
5.	Conclusiones y trabajo futuro	56
	Bibliografía	58