

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	vii
Índice de Ilustraciones	ix
1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Alcance	2
1.4. Hipótesis	3
1.5. Estructura del documento	3
2. Marco teórico y antecedentes	4
2.1. Operación y planificación de los sistemas eléctricos	4
2.1.1. Planificación de largo plazo	5
2.2. Trabajos previos del grupo de investigación	6
2.2.1. Alcances de planificación	6
2.2.2. Escenarios Primera Fase	7
2.2.3. Escenarios Segunda Fase	7
2.3. Estudios de interconexiones latinoamericanas	8
2.3.1. Estudios interconexión: Arco Norte	9
2.3.2. Marco basado en excedentes para comercio transfronterizo	11
2.4. Interconexiones internacionales de sistemas eléctricos	12
2.4.1. Europa	12
2.4.2. Norteamérica	13
2.4.3. América Central	14
2.4.4. Sudamérica	15
2.5. Planes y metas para disminuir emisiones de la matriz energética en Latinoamérica	16
2.5.1. Planificación energética de largo plazo - IAA 2019	18
2.6. Aspectos específicos de la modelación	19
2.6.1. Cronologías según horizonte de tiempo	19
2.6.1.1. Cronología Muestreada	19
2.6.1.2. Cronología Ajustada	19
2.6.1.3. Cronología Parcial	20
2.6.1.4. Slicing block	21
2.6.2. Integración de sistemas de almacenamiento	22

2.6.2.1.	Bombeo hidroeléctrico	23
2.6.2.2.	Aire comprimido	24
2.6.2.3.	Almacenamiento térmico	25
2.6.2.4.	Supercondensador	26
2.6.2.5.	Volante de inercia	27
2.6.2.6.	Baterías	27
2.6.2.7.	Almacenamiento de hidrógeno	28
2.6.3.	Integración de generación distribuida	29
2.6.4.	Visualización de resultados	29
3.	Propuesta metodológica	30
3.1.	Visión general del modelo	30
3.2.	Descripción de etapas	30
3.2.1.	Etapa 1: Base de datos	31
3.2.2.	Etapa 2: Actualización base de datos	32
3.2.3.	Etapa 3: Selección de estrategias y árbol de escenarios	33
3.2.3.1.	Estrategias	33
3.2.3.2.	Escenarios	34
3.2.4.	Etapa 4: Simulación - Modelo de optimización	34
3.2.4.1.	Sistemas de transmisión	39
3.2.4.1.1.	Flujo de potencia DC linealizado	39
3.2.4.2.	Pérdidas por líneas	40
3.2.5.	Etapa 5: Obtención de resultados	40
3.2.5.1.	Visualización de resultados	41
3.2.6.	Etapa 6: Análisis y comparación de resultados	41
3.3.	Implementación y validación de las modificaciones	41
3.3.1.	Validación del modelo	42
3.3.1.1.	Validación de la cronología	42
3.3.1.2.	Implementación de sistemas de almacenamiento	44
3.3.1.3.	Intercambio de energía	45
4.	Caso de estudio	46
4.1.	Etapa 1: Base de datos	46
4.2.	Etapa 2: Actualización base de datos	47
4.2.1.	Proyección costos de combustibles	49
4.2.2.	Proyección costos de inversión generadores	53
4.2.3.	Incorporación sistemas de almacenamiento de energía	54
4.2.4.	Generación distribuida	55
4.3.	Etapa 3: Estrategias y árbol de escenarios	55
4.3.1.	Estrategias	55
4.3.2.	Escenarios	56
4.4.	Etapa 4: Simulación - Modelo de optimización	60
4.4.1.	Margen de suficiencia	61
4.4.2.	Capacidad instalada mínima de generación de un tipo de tecnología en una zona determinada	61
4.4.3.	Restricciones emisiones de CO ₂ anual	62
4.5.	Etapa 5: Obtención de resultados	63

4.6. Recomendaciones y comentarios	64
5. Resultados	65
5.1. Matriz energética	65
5.1.1. Capacidad instalada en Latinoamérica	65
5.1.1.1. Margen de suficiencia	67
5.1.1.2. Capacidad instalada solar	68
5.1.1.3. Capacidad instalada de almacenamiento	68
5.1.1.4. Generación en Latinoamérica	69
5.1.2. Capacidad instalada en Chile	70
5.1.2.1. Margen de suficiencia en Chile	72
5.1.2.2. Capacidad solar en Chile	73
5.1.2.3. Capacidad instalada almacenamiento en Chile	73
5.1.3. Generación anual en Chile	74
5.2. Capacidad de transmisión	75
5.2.1. Intercambio neto en Chile	76
5.2.1.1. Intercambio neto 2020	76
5.2.1.2. Intercambio neto 2025	77
5.2.1.3. Intercambio neto 2030	77
5.2.1.4. Intercambio neto 2035	78
5.2.1.5. Intercambio neto 2040	78
5.2.1.6. Intercambio neto acumulado todo el periodo de planificación	79
5.3. Costos del sistema	79
5.3.1. Costos totales del sistema en Latinoamérica	79
5.3.2. Costos totales en Chile	81
5.4. Emisiones GEI acumuladas	82
5.4.1. Emisiones de Latinoamérica	82
5.4.2. Emisiones de Chile	83
5.5. Costos marginales	84
5.5.1. Costos marginales ponderados de Latinoamérica	84
5.5.2. Costos marginales de Chile	86
5.6. Complementariedad recursos energéticos de Latinoamérica	87
5.6.1. Complementariedad diaria	87
5.6.2. Complementariedad estacional	89
5.7. Análisis integrado	90
5.7.1. Latinoamérica	90
5.7.1.1. Costos totales del sistema y emisiones	90
5.7.1.2. Costos variables de M&O y costos de inversión	92
5.7.1.3. Costos marginales y capacidad instalada solar	93
5.7.1.4. Recomendación en base al análisis en Latinoamérica	94
5.7.2. Chile	95
5.7.2.1. Costos totales del sistema y emisiones en Chile	95
5.7.2.2. Costos variables de M&O y costos de inversión en Chile	96
5.7.2.3. Costos marginales y capacidad instalada solar en Chile	98
5.7.2.4. Recomendación en base al análisis en Chile	98

6. Conclusiones	99
6.1. Conclusiones generales y recomendaciones	99
6.2. Trabajo futuro	101
Bibliografía	103
Anexo A. Glosario	107
A.1. Índices de variables y parámetros	107
A.2. Variables y parámetros de entrada	107
A.3. Abreviaciones y acrónimos	109