

Prefacio	15
1. Introducción	17
1.1. Breve historia de la energía	17
1.2. Energía y potencia	22
1.2.1. ¿Qué es la energía?	22
1.2.2. Potencia	23
1.2.3. Las fuerzas fundamentales	23
1.2.4. Formas de energía	24
1.2.5. ¿Qué son las fuentes de energía renovable?	27
1.2.6. Unidades de energía y potencia	28
1.2.7. Órdenes de magnitud y prefijos métricos	29
1.3. Conversión de la energía	31
1.3.1. Introducción	31
1.3.2. Energía primaria, secundaria y final	32
1.3.3. Procesos de conversión	33
1.3.4. Usos de la energía final	34
1.3.5. Eficiencia de las transformaciones y factor de planta	39
1.3.6. Balance de energía	41
1.4. Impacto ambiental	43
1.4.1. Introducción	43
1.4.2. Combustibles fósiles, efecto invernadero y cambio climático	45
1.4.3. ¿Cómo medir el impacto ambiental?	53
1.5. Costo nivelado de energía	56
1.6. Clasificación del potencial energético	58
1.6.1. Potencial según factibilidad de extracción	58
1.6.2. Potencial según certeza de ocurrencia	61
1.7. Prospección	62
2. Energía Solar Térmica	65
2.1. ¿Qué es la energía solar térmica?	65
2.2. Breve historia	66
2.3. Recurso solar	67
2.3.1. Introducción	67
2.3.2. Geometría solar	70

2.3.3. Interacción atmosférica	74
2.3.4. Orientación, inclinación y seguimiento de sistemas solares	76
2.4. Sistemas de concentración solar	79
2.4.1. Introducción	79
2.4.2. Principios de la conversión termosolar	80
2.4.3. Cilindros parabólicos	88
2.4.4. Reflectores lineales Fresnel	89
2.4.5. Disco Stirling	90
2.4.6. Torre solar	91
2.4.7. Otros sistemas - pozas solares	93
2.5. Impacto ambiental	94
2.6. Prospección	94
3. Energía Fotovoltaica	97
3.1. ¿Qué es la energía fotovoltaica?	97
3.2. Breve historia	98
3.3. Conversión fotovoltaica	99
3.3.1. Semiconductores y dopaje	99
3.3.2. La magia está en la juntura p-n	101
3.3.3. Eficiencia de una celda	103
3.3.4. Muchas celdas, un módulo	106
3.3.5. Características eléctricas de las celdas fotovoltaicas	107
3.4. Tipos de celdas fotovoltaicas	116
3.4.1. Introducción	116
3.4.2. Celdas de silicio cristalino	116
3.4.3. Otras celdas de juntura simple	117
3.4.4. Celdas de película delgada	118
3.4.5. Celdas de multijuntura	119
3.4.6. Celdas emergentes	120
3.4.7. Resumen	121
3.5. Sistemas fotovoltaicos (FV)	122
3.5.1. Introducción	122
3.5.2. Conectados a la red	122
3.5.3. Sistemas aislados	125
3.5.4. Pérdidas de energía en un sistema fotovoltaico	127
3.6. Impacto ambiental	130
3.7. Prospección	132
4. Energía Eólica	135
4.1. ¿Qué es la energía eólica?	135
4.2. Breve historia	136
4.3. Recurso eólico	137
4.3.1. Características globales	137
4.3.2. Características locales	139

4.3.3. Variabilidad del viento	142
4.4. Conversión eólica	144
4.4.1. Potencia del viento y potencia de un aerogenerador	144
4.4.2. Curva de potencia	144
4.4.3. Aerodinámica de una turbina	146
4.5. Generadores eólicos	149
4.5.1. Tipo de turbina	149
4.5.2. Control de potencia mecánica	150
4.5.3. Velocidad de giro	150
4.5.4. Tipo de generador	150
4.6. Parques eólicos	154
4.6.1. Introducción	154
4.6.2. Pronóstico de la generación eólica	155
4.7. Impacto ambiental	157
4.8. Prospección	158
5. Energía Hidroeléctrica	161
5.1. ¿Qué es la energía hidroeléctrica?	161
5.2. Breve historia	162
5.3. Recurso hidroeléctrico	163
5.3.1. Potencial hidroeléctrico en el mundo	163
5.3.2. Ciclo hidrológico y año hidrológico	165
5.3.3. Escorrentía	165
5.3.4. Altura de caída	169
5.4. Conversión hidroeléctrica	170
5.4.1. Potencia hidráulica	170
5.4.2. Turbinas hidráulicas	172
5.5. Centrales hidroeléctricas	175
5.5.1. Equipamiento básico	177
5.5.2. Central hidroeléctrica de embalse	177
5.5.3. Central hidroeléctrica de pasada	178
5.5.4. Central hidroeléctrica de bombeo	180
5.5.5. Grandes y pequeñas centrales hidroeléctricas	181
5.5.6. Cavitación y golpe de ariete	182
5.6. Impacto ambiental	182
5.6.1. Ventajas ambientales de la hidroelectricidad	182
5.6.2. Embalses, una barrera en el ecosistema	183
5.6.3. Impacto de superficies inundadas	184
5.6.4. Alteración hidrológica	185
5.6.5. Comentarios finales	185
5.7. Prospección	186
5.7.1. Resumen y potencial remanente	186
5.7.2. Hidroelectricidad sustentable y gestión integrada de cuencas	187

6. Energía de Biomasa	189
6.1. ¿Qué es la energía de biomasa?	189
6.2. Breve historia	190
6.3. Fuentes de biomasa	191
6.3.1. Introducción	191
6.3.2. Biomasa primaria	193
6.3.3. Biomasa secundaria	197
6.4. Conversión de la biomasa	200
6.4.1. Introducción	200
6.4.2. Conversión termoquímica	201
6.4.3. Conversión bioquímica	204
6.4.4. Conversión fisicoquímica	206
6.5. Impacto ambiental	207
6.6. Prospección	208
7. Energía Geotérmica	211
7.1. Introducción	211
7.1.1. ¿Qué es la energía de geotérmica?	212
7.1.2. Conceptos básicos: gradiente geotérmico, fluido geotérmico, reservorio geotérmico y recurso geotérmico	212
7.2. Tipos de sistemas geotermiales	215
7.3. Recursos geotérmicos en su contexto geológico	218
7.4. Exploración de los recursos geotérmicos	222
7.4.1. Métodos geológicos	222
7.4.2. Métodos geoquímicos	222
7.4.3. Métodos geofísicos	223
7.5. Explotación del recurso geotérmico	224
7.5.1. Etapas de exploración/explotación. Manejo del riesgo	225
7.6. Generación de electricidad mediante geotermia	228
7.6.1. Tipos de tecnologías	228
7.6.2. Desarrollo actual de la generación de electricidad mediante geotermia en el mundo	237
7.7. Uso directo de la geotermia	239
7.7.1. Aplicaciones de la industria	240
7.7.2. Beneficios sociales	241
7.7.3. Bombas de calor geotérmicas	242
7.8. Estado de la geotermia en Chile	244
Bibliografía	249

ÍNDICE DE CAJAS

Caja 1: Equivalencia de unidades de energía y potencia	29
Caja 2: Prefijos métricos	31

Caja 3: ¿Cuántos litros de gasolina y diésel se obtienen a partir de un barril de petróleo?	35
Caja 4: Primera y segunda ley de la Termodinámica	40
Caja 5: Evaluación de impacto ambiental y evaluación ambiental estratégica en Chile	54
Caja 6: ¿Cuándo se nos acaba el petróleo?	61
Caja 7: La importancia del vidrio	81
Caja 8: Energía solar activa	84
Caja 9: Energía solar pasiva	85
Caja 10: Valorización de energía exportada a la red	123
Caja 11: Balance económico de sistemas fotovoltaicos	124
Caja 12: Evaluación estadística de la velocidad del viento	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Formas de energía, su portador y ejemplo de ecuaciones. Las formas de energía en negrita indican las formas fundamentales	27
Tabla 2: Consumo y potencia aproximada según carga, valores estimativos	30
Tabla 3: Fuentes naturales y artificiales de gases invernadero	49
Tabla 4: Tiempo de residencia en atmósfera y potencial de calentamiento global	52
Tabla 5: Mejores eficiencias según tipo de celda hasta fines de 2014	121
Tabla 6: Clasificación de los diferentes recursos geotermales según diferentes autores en función de su temperatura	214
Tabla 7: Capacidad instalada de geotermia a nivel mundial desde 1950 hasta 2015 y proyección a 2020. No existen mediciones en los años donde no hay valores de energía producida	238

ÍNDICE DE LABORATORIOS

Laboratorio 1: Energía solar térmica	87
Laboratorio 2: Curva característica de módulos fotovoltaicos	115
Laboratorio 3: Sistemas fotovoltaicos aislados con almacenamiento	129
Laboratorio 4: Turbina eólica	146
Laboratorio 5: Fuerza de sustentación y arrastre	148
Laboratorio 6: Generador síncrono	153
Laboratorio 7: Central hidroeléctrica	176