

# SUMARIO

<b>PARTE I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 1. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE ENERGÍA .....</b>	<b>3</b>
1.1 Concepto y definición de energía .....	3
1.2 Formas de la energía .....	3
1.3 Calidad de la energía .....	7
1.4 Unidades de medida de la energía .....	8
1.5 Leyes de conservación y disipación de la energía.....	9
1.6 Eficiencia de la energía, trabajo y potencia .....	12
1.7 Principios de la termodinámica .....	13
1.7.1 Primer principio de la termodinámica .....	15
1.7.2 Segundo principio de la termodinámica .....	18
<b>CAPÍTULO 2. RECURSOS NATURALES.....</b>	<b>21</b>
2.1 Tipos de recursos naturales .....	21
2.2 El Sol como fuente primaria .....	22
2.3 Recursos energéticos .....	23
2.3.1 Petróleo .....	24
2.3.2 Carbón .....	27
2.3.3 Gas natural .....	29
2.4 Reservas y consumo de combustibles fósiles de algunos países latinoamericanos .....	30
2.5 Impactos ambientales de los hidrocarburos fósiles .....	31
<b>CAPÍTULO 3. ENERGÍA ELÉCTRICA .....</b>	<b>37</b>
3.1 Elementos de electrostática .....	37
3.2 Corriente eléctrica .....	39

3.3	Magnetismo y electromagnetismo .....	47
3.3.1	Campo magnético .....	48
3.3.2	Fuerza electromotriz inducida .....	55
3.4	Máquinas eléctricas .....	57
3.4.1	Generador eléctrico .....	60
3.4.2	Motor eléctrico .....	64
3.4.3	Transformadores .....	69
3.5	Transmisión y distribución de la energía eléctrica .....	71
3.6	Situación de la energía eléctrica en algunos países latinoamericanos	75
3.6.1	México .....	76
3.6.2	Colombia .....	77
3.6.3	Argentina .....	79
3.6.4	Chile .....	81
	Ejercicios y preguntas .....	83
<b>CAPÍTULO 4. ENERGÍA ELECTROQUÍMICA .....</b>		<b>85</b>
4.1	Reacciones de oxidación y reducción .....	85
4.2	Celdas electroquímicas .....	87
4.3	Potencial estándar de electrodos .....	90
4.3.1	Potencial estándar del electrodo de hidrógeno.....	91
4.3.2	Potencial estándar de otros electrodos .....	92
4.4	Potenciales de electrodos en condiciones no estándar .....	96
4.5	Pilas, baterías y celda de combustión .....	99
4.5.1	Baterías o pilas primarias .....	99
4.5.2	Baterías secundarias .....	101
4.5.3	Celda de combustible .....	106
4.6	Usos y características de las pilas y baterías .....	108
4.7	Impacto ambiental de las pilas y baterías usadas .....	110
	Ejercicios y preguntas.....	111

<b>2ª PARTE. FUENTES DE ENERGÍAS NO RENOVABLES. APLICACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>CAPÍTULO 5. ENERGÍA TÉRMICA .....</b>	<b>115</b>
5.1 Calor latente y calor específico .....	115
5.1.1 Calor latente .....	115
5.1.2 Calor específico .....	117
5.2 Transferencia de calor .....	118
5.2.1 Conducción del calor .....	119
5.2.2 Convección del calor .....	120
5.2.3 Radiación del calor .....	121
5.2.4 Transferencia general de calor .....	122
5.3 Termoquímica .....	122
5.4 Máquinas térmicas .....	127
5.4.1 Fundamento de las máquinas térmicas .....	127
5.4.2 Eficiencia energética de la máquina de vapor .....	132
5.4.3 Eficiencia energética de los motores Otto y Diesel .....	136
5.4.4 Eficiencia energética de refrigeradores, acondicionadores de aire y bombas de calor .....	138
5.5 Centrales termoeléctricas .....	141
5.5.1 Centrales termoeléctricas de un ciclo .....	142
5.5.1.1 Caldera de vapor .....	142
5.5.1.2 Turbina de vapor.....	145
5.5.1.3 Condensador .....	146
5.5.2 Centrales de ciclo combinado .....	148
5.6 Impacto ambiental de las centrales termoeléctricas y tecnologías de abatimiento de emisiones .....	149
Ejercicios y preguntas .....	152
<b>CAPÍTULO 6. ENERGÍA NUCLEAR .....</b>	<b>155</b>
6.1 Estructura del átomo.....	155
6.2 Isótopos .....	157

6.3	Radiactividad .....	158
6.4	Fisión nuclear .....	161
6.5	Reactores nucleares.....	163
6.5.1	Reactor de agua a presión .....	163
6.5.2	Otros reactores de fisión nuclear.....	166
6.6	Enriquecimiento del uranio-235 .....	167
6.7	Manejo de los productos de desintegración del uranio-235 .....	168
6.8	Fusión nuclear .....	172
6.9	Impacto ambiental de las centrales de fisión nuclear .....	174
6.9.1	Accidentes nucleares más significativos .....	175
6.9.2	Ventajas del combustible nuclear sobre los combustibles fósiles .....	177
6.10	Situación de la energía nuclear en algunos países latinoamericanos .....	178
6.10.1	México .....	178
6.10.2	Argentina .....	179
	Ejercicios y preguntas.....	180

### **3ª PARTE. FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES.**

#### **APLICACIONES ..... 181**

CAPÍTULO 7. LA TIERRA Y LA BIÓSFERA .....	183
7.1 Origen, dimensiones y movimientos de la Tierra.....	183
7.2 Líneas divisorias de la Tierra y posicionamiento geográfico.....	185
7.3 Componentes de la Tierra .....	188
7.4 Características de los ecosistemas .....	189
7.5 Factores bióticos y abióticos de los ecosistemas .....	190
7.5.1 Factores bióticos.....	190
7.5.2 Factores abióticos.....	191
7.6 Flujo de energía en los ecosistemas .....	192
7.7 Estructura trófica de los ecosistemas.....	192
7.8 Impacto ambiental por empleo de energía.....	195
7.8.1 Impacto en la atmósfera.....	195

7.8.2	Impacto en la hidrósfera .....	197
7.8.3	Impacto en el suelo.....	197
7.8.4	Impacto sobre la biósfera .....	198
7.9	Consumo de energía en la sociedad actual .....	199
7.10	Huella ecológica .....	201
	Ejercicios y preguntas.....	203
<b>CAPÍTULO 8. ENERGÍA SOLAR .....</b>		<b>205</b>
8.1	El Sol: principal fuente de energía de la Tierra .....	205
8.2	Características de la radiación solar .....	206
8.3	Flujo y balance de energía en la Tierra .....	211
8.4	Energía solar como regulador del clima y la biota .....	217
8.5	Radiación solar en algunos países latinoamericanos .....	223
8.5.1	México .....	224
8.5.2	Colombia.....	227
8.5.3	Argentina .....	228
8.5.4	Chile.....	229
8.6	Estimación y medición de la radiación solar .....	230
8.7	Captación de la energía solar térmica.....	238
8.8	Utilización de la energía solar térmica.....	240
8.8.1	Fundamento de la utilización de la energía solar térmica en colectores solares planos .....	241
8.8.2	Tecnologías de la energía solar térmica para calentar agua y para calefacción .....	243
8.8.3	Diseño de un sistema solar térmico con colectores planos para obtener agua caliente sanitaria .....	249
8.8.3.1	Características de la vivienda y cálculo de su consumo energético .....	249
8.8.3.2	Dimensionamiento de la instalación .....	253
8.8.3.3	Componentes y características del sistema solar térmico.....	258
8.8.3.4	Viabilidad económica del proyecto.....	264

8.8.3.5	Beneficio ambiental del sistema solar térmico .....	267
8.8.4	Tecnologías para la conversión de energía solar térmica en energía eléctrica.....	267
8.8.4.1	Concentradores Cilindros Parabólicos (CCP) .....	268
8.8.4.2	Concentradores discos parabólicos .....	270
8.8.4.3	Concentradores de torre central con campo de helióstatos .....	271
8.8.4.4	Almacenamiento de calor mediante sales fundidas .	273
8.9	Energía solar fotovoltaica.....	276
8.9.1	Fundamento de la energía solar fotovoltaica.....	276
8.9.2	Tecnologías para la utilización de la energía solar fotovoltaica .....	281
8.9.3	Diseño de una planta de energía solar fotovoltaica aislada....	286
8.9.3.1	Definición del tipo de planta.....	286
8.9.3.2	Determinación del consumo .....	289
8.9.3.3	Caracterización de la localización.....	290
8.9.3.4	Caracterización y dimensionado de los componentes .....	292
8.10	Impactos ambientales de la energía solar térmica y solar fotovoltaica .....	301
8.11	Aprovechamiento de la energía solar en algunos países latinoamericanos .....	302
8.11.1	México .....	303
8.11.2	Colombia.....	303
8.11.3	Argentina .....	304
8.11.4	Chile.....	305
	Ejercicios y preguntas.....	306
<b>CAPÍTULO 9. ENERGÍA DE LA BIOMASA.....</b>		<b>309</b>
9.1	Ciclo biológico del carbono .....	309
9.2	Producción y productividad de biomasa.....	312
9.3	Clasificación de la biomasa .....	314
9.4	Características de la biomasa aprovechable .....	316

9.5	Composición y combustión de la madera .....	318
9.6	Características de los biocombustibles líquidos .....	322
9.6.1	Biometanol.....	323
9.6.2	Bioetanol.....	324
9.6.3	Biobutanol .....	324
9.6.4	Biodiesel.....	325
9.7	Características de los biocombustibles gaseosos .....	326
9.7.1	Biogás .....	326
9.7.2	Biohidrógeno .....	326
9.8	Tecnologías para el aprovechamiento de los biocombustibles .....	327
9.8.1	Combustión directa .....	329
9.8.1.1	Combustión en hornos para secado .....	329
9.8.1.2	Combustión en calderas para generar electricidad... ..	330
9.8.1.3	Combustión mixta.....	331
9.8.1.4	Combustión de residuos forestales para centrales termoeléctricas .....	331
9.8.2	Procesos termoquímicos .....	333
9.8.2.1	Pirólisis .....	334
9.8.2.2	Gasificación .....	334
9.8.2.2.1	Biometanol vía gas de síntesis .....	340
9.8.2.2.2	Biohidrógeno vía gas de síntesis .....	340
9.8.2.2.3	Biodiesel vía gas de síntesis .....	341
9.8.3	Diseño de planta piloto para generar electricidad vía gas de síntesis .....	341
9.8.3.1	Descripción del sistema .....	342
9.8.3.2	Cálculo del gasificador de flujo descendente .....	345
9.8.3.3	Dimensionamiento de los equipos principales .....	351
9.8.3.4	Balances de materia y energía .....	353
9.8.4	Procesos bioquímicos .....	357
9.8.4.1	Bioetanol .....	358
9.8.4.2	Biobutanol.....	362
9.8.4.3	Biodiesel.....	363
9.8.4.4	Biogás .....	365

9.9	Producción y aprovechamiento de biocombustibles en algunos países latinoamericanos .....	370
9.9.1	México.....	370
9.9.2	Colombia.....	371
9.9.3	Argentina .....	372
9.9.4	Chile.....	374
9.10	Impacto ambiental de los biocombustibles .....	375
	Ejercicios y preguntas.....	376

## CAPÍTULO 10. LA ATMÓSFERA Y LA ENERGÍA EÓLICA ..... 379

10.1	Atmósfera: estructura, composición y propiedades .....	379
10.1.1	Estructura .....	380
10.1.2	Composición .....	381
10.1.3	Propiedades .....	383
10.2	Clima y tiempo atmosférico .....	385
10.2.1	Factores que determinan el clima y el tiempo atmosférico ....	385
10.2.2	Contaminación del aire .....	388
10.3	Cambio climático .....	391
10.3.1	Gases de efecto invernadero .....	393
10.3.2	Cambio climático producido por los GEI .....	399
10.3.3	Impactos globales producidos por el cambio climático .....	400
10.3.4	Energía y cambio climático .....	401
10.4	Clasificación y distribución de los climas en algunos países latinoamericanos .....	403
10.4.1	México .....	403
10.4.2	Colombia .....	404
10.4.3	Argentina.....	406
10.4.4	Chile.....	408
10.5	Antecedentes históricos del uso del viento .....	409
10.6	Circulación general de la atmósfera.....	412
10.7	Dirección y velocidad del viento .....	418
10.8	Tipos de vientos inmediatos a la superficie .....	422



10.8.1 Vientos o brisas costeras .....	423
10.8.2 Vientos de montaña .....	424
10.8.3 Vientos originados por una barrera orográfica .....	425
10.8.4 Vientos en valles encajonados .....	425
10.9 Principios de la conversión de energía eólica en eléctrica .....	426
10.10 Características técnicas de los aerogeneradores.....	430
10.10.1 Aerogeneradores de eje horizontal .....	431
10.10.2 Aerogeneradores de eje vertical .....	438
10.10.3 Aerogeneradores de tracción directa .....	439
10.11 Parques eólicos.....	439
10.12 Impactos ambientales de los parques eólicos.....	441
10.13 Potencial y estado actual de la energía eólica en países latinoamericanos .....	445
10.13.1 México .....	445
10.13.2 Colombia.....	446
10.13.3 Argentina .....	447
10.13.4 Chile.....	449
Ejercicios y preguntas.....	451
 <b>CAPÍTULO 11. LA HIDRÓSFERA Y LA ENERGÍA HIDRÁULICA .....</b>	<b>453</b>
11.1 La hidrósfera .....	453
11.1.1 Propiedades del agua y su importancia en la naturaleza.....	454
11.1.1.1 Estructura del agua .....	454
11.1.1.2 Propiedades físicas del agua.....	457
11.1.2 Ciclo hidrológico y precipitaciones.....	463
11.1.2.1 Ciclo hidrológico externo e interno .....	463
11.1.2.2 Fases del ciclo hidrológico.....	464
11.1.2.3 Alteraciones del ciclo hidrológico .....	466
11.1.2.4 Precipitaciones .....	467
11.1.2.5 Balance hídrico .....	468
11.1.3 Distribución y calidad del agua en la hidrósfera .....	470
11.2 Cuencas hidrográficas .....	471

11.2.1 Aguas superficiales .....	472
11.2.1.1 Ríos .....	472
11.2.1.2 Lagos .....	474
11.2.1.3 Glaciares .....	477
11.2.2 Aguas subterráneas .....	478
11.3 Gestión integrada del recurso hídrico. Huella hídrica .....	481
11.3.1 Gestión integrada del agua .....	481
11.3.2 Huella hídrica .....	485
11.4 Aprovechamiento del agua para generación de energía eléctrica .....	491
11.4.1 Principios de la conversión de energía hidráulica en eléctrica .....	492
11.4.2 Centrales hidroeléctricas .....	493
11.4.2.1 Centrales hidroeléctricas de embalse .....	493
11.4.2.2 Impactos ambientales de las centrales hidroeléctricas de embalse .....	498
11.4.2.3 Centrales hidroeléctricas de pasada .....	499
11.4.2.4 Bases para el diseño de una central minihidroeléctrica .....	504
11.5 Potencial y estado actual de la energía hidroeléctrica en algunos países latinoamericanos .....	507
11.5.1 México .....	507
11.5.2 Colombia .....	508
11.5.3 Argentina .....	510
11.5.4 Chile .....	511
Ejercicios y preguntas .....	512

## **4ª PARTE. OTRAS FUENTES DE ENERGÍAS RENOVABLES. APLICACIONES .....515**

CAPÍTULO 12. ENERGÍA DEL MAR .....	517
12.1 Distribución geográfica y características de las aguas oceánicas .....	517
12.2 Movimientos de las aguas marinas .....	519
12.3 Energía térmica oceánica .....	526

12.4	Energía de las mareas.....	527
12.4.1	Tipos y características de las mareas .....	528
12.4.2	Aprovechamiento de la energía de las mareas para producir electricidad .....	530
12.5	Energía de las olas .....	537
12.5.1	Tipos y características de las olas.....	537
12.5.2	Aprovechamiento de la energía de las olas para producir electricidad .....	539
12.5.2.1	Convertidores instalados en la costa.....	541
12.5.2.2	Convertidores instalados en el mar .....	543
12.6	Potencial de la energía del mar en algunos países latinoamericanos	547
12.6.1	México.....	548
12.6.2	Colombia.....	548
12.6.3	Argentina .....	549
12.6.4	Chile.....	549
	Ejercicios y preguntas.....	550
<b>CAPÍTULO 13. ENERGÍA GEOTÉRMICA .....</b>		<b>551</b>
13.1	Estructura interna de la Tierra .....	551
13.2	Origen y distribución de los recursos geotérmicos.....	556
13.3	Estructura de los recursos geotérmicos .....	558
13.4	Tipos de recursos geotérmicos según su naturaleza y aplicación .....	559
13.4.1	Recursos de alta temperatura .....	561
13.4.2	Recursos de temperatura media .....	562
13.4.3	Recursos de baja temperatura .....	562
13.5	Usos de la energía geotérmica.....	563
13.6	Exploración de reservorios geotérmicos para ejecutar un proyecto eléctrico.....	564
13.6.1	Estudios previos a la perforación exploratoria .....	564
13.6.2	Perforaciones de pozos exploratorios .....	566
13.7	Generación de electricidad mediante energía geotérmica .....	567
13.8	Tipos de centrales geotermoeléctricas .....	569

13.8.1 Centrales de <i>flash</i> simple .....	569
13.8.2 Centrales de <i>flash</i> doble .....	571
13.8.3 Centrales de ciclo binario.....	572
13.8.4 Centrales de rocas calientes secas.....	572
13.9 Uso directo del calor interno de la Tierra .....	573
13.9.1 Funcionamiento y eficiencia de la bomba de calor geotérmica .....	574
13.9.2 Tecnología del sistema bomba de calor geotérmica .....	578
13.9.2.1 Características de los captadores .....	579
13.9.2.2. Variables del intercambio de calor en los captadores. Material de fabricación.....	582
13.10 Diseño de un sistema de climatización geotérmico de una casa .....	584
13.10.1 Características de la casa.....	584
13.10.2 Determinación de cargas térmicas para climatización.....	585
13.10.2.1 Cálculo de la transmitancia térmica de los cerramientos.....	587
13.10.2.2 Cálculo de la transmitancia térmica de fachadas....	589
13.10.3 Determinación de cargas térmicas de refrigeración.....	591
13.10.3.1 Cálculo de la carga térmica externa de refrigeración .....	592
13.10.3.2 Cálculo de la carga térmica interna de refrigeración .....	594
13.10.4 Determinación de cargas térmicas de calefacción.....	595
13.10.5 Resultados del cálculo de climatización .....	598
13.10.6 Elección de la bomba de calor geotérmica y del sistema interior de refrigeración y calefacción .....	601
13.11 Diseño de un sistema geotérmico de agua caliente sanitaria .....	601
13.11.1 Cálculo para instalar un sistema geotérmico de agua caliente sanitaria .....	602
13.11.2 Diseño del intercambiador de calor enterrado de la bomba de calor geotérmica .....	603
13.12 Impacto ambiental de la explotación de la energía geotérmica .....	605

13.13 Situación de la energía geotérmica en algunos países latinoamericanos .....	608
13.13.1 México .....	608
13.13.2 Colombia.....	610
13.13.3 Argentina .....	611
13.13.4 Chile.....	612
Ejercicios y preguntas.....	615

## CAPÍTULO 14. EMPLEO EFICIENTE Y SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA . 619

14.1 Motivación para la eficiencia energética.....	619
14.2 Mejoras en la eficiencia energética de la industria .....	621
14.3 Eficiencia en la generación y distribución de la energía eléctrica .....	623
14.4 Eficiencia energética en el transporte.....	625
14.5 Eficiencia energética en la vivienda .....	626
14.6 Eficiencia energética en los artefactos domésticos.....	628
14.7 Eficiencia energética en la iluminación de interiores y exteriores....	629
14.8 Origen del concepto de desarrollo sustentable.....	631
14.9 Desarrollo sustentable de la energía.....	633