

Autores de los capítulos del volumen II

(Por orden de aparición)

DANIEL MARAVER DE LEMUS, Ingeniero Industrial, Investigador-Ingeniero en el grupo BERA (Biomasa, Evaluación Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), actualmente desarrollando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza sobre la trigeneración con biomasa.

JAVIER ROYO HERRER, Profesor Titular de la Universidad de Zaragoza, Departamento de Ingeniería Mecánica, Colaborador externo en el grupo BERA (Biomasa, Evaluación Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).

MARÍA UXUE ALZUETA ANÍA, Doctora en Ciencias Químicas, Profesora Titular del Área de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza e Investigadora del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (Grupo de Procesos Termoquímicos) en temas relacionados con combustión, en particular, en lo relativo a la formación y la reducción de contaminantes en procesos de combustión, así como a los procesos y tecnologías de minimización de emisiones contaminantes.

MARÍA ABIÁN VICÉN, Ingeniera Química, Investigadora del Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (Grupo de Procesos Termoquímicos). Su investigación se centra en el estudio de formación y reducción de emisiones contaminantes en procesos de combustión, tema sobre el que versa su doctorado.

XAVIER DE GEA RODRÍGUEZ, Licenciado en Ciencias Químicas, miembro del comité Europeo CEN/CN 305 WG3, del comité Nacional AEN/CTN 163 y del European Safety Management Group, actualmente desempeña las funciones de Director de la empresa LPG Prevención y protección de explosiones, S.L.

DANIEL GARCÍA GALINDO, Ingeniero Industrial, Investigador-Ingeniero en el grupo BERA (Biomasa, Evaluación Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), actualmente desarrollando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza sobre el potencial de co-combustión en España.

FRANCISCO IGUÁCEL SOTERAS, Licenciado en Veterinaria, Jefe de la Unidad de Monogástricos en el Centro de Transferencia Agroalimentaria del Gobierno de Aragón, trabaja actualmente en líneas relacionadas con el aprovechamiento agronómico de subproductos ganaderos, los estudios económicos y de estructura del sector porcino y las producciones alternativas en monogástricos.

FERNANDO VILLA GIL, Ingeniero Técnico en Horticultura y Jardinería, funcionario de la DGA en el Servicio de Investigación Agraria, Responsable de experimentación, divulgación y asesoramiento de Agricultura Ecológica y vocal del Comité Aragonés de Agricultura Ecológica, trabaja fundamentalmente en proyectos relacionados con material vegetal, horticultura, técnicas de cultivo y agricultura sostenible.

JUDITH SARASA ALONSO, Doctora en Ciencias Químicas, Profesora Titular del Área de Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Zaragoza, Investigadora del Grupo «Calidad y tratamiento de aguas» perteneciente al Instituto Universitario de Ciencias Ambientales (IUCA), trabaja en temas relacionados con la caracterización de aguas naturales y vertidos y con las tecnologías de depuración y desinfección.

NELY CARRERAS ARROYO, Doctora en Ciencias Químicas, Investigadora en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) en temas relacionados con residuos biodegradables, digestión anaerobia y biogás.

ISRAEL DÍAZ VILLALOBOS, Ingeniero Químico, Investigador del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, Investigador del Grupo de Tecnología Ambiental en temas relacionados con procesos microaerobios para el control de sulfuros en digestores anaerobios.

SARA ISABEL PÉREZ ELVIRA, Doctora por la Universidad de Valladolid. Profesora Ayudante en el Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, Investigadora del Grupo de Tecnología Ambiental en temas relacionados con la digestión anaerobia de lodos de depuradora: pretratamientos, codigestión y procesos no convencionales.

MARÍA FERNÁNDEZ-POLANCO ÍÑIGUEZ DE LA TORRE, Doctora por la Universidad de Valladolid. Profesora Titular del Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente de la Universidad de Valladolid, Investigadora del Grupo de Tecnología Ambiental en temas relacionados con el tratamiento de residuos sólidos, lodos de depuradora y procesos microaerobios para el control de sulfuros en digestores anaerobios.

MIGUEL ÁNGEL DOMÍNGUEZ SIERRA, Ingeniero Industrial, aunque en la actualidad ocupa el cargo de gerente de ESS (*European Spallation Source*) Bilbao, ha desarrollado gran parte de su vida profesional como Director del Departamento de Innovación en GUASCOR Ingeniería, trabajando en temas relacionados con ciclos termodinámicos avanzados, biocombustibles de segunda y tercera generación, descontaminación ambiental orientada a la generación de energía eléctrica y generación distribuida.

MAIDER GÓMEZ PALMERO, Ingeniera de Montes y Licenciada en Ciencias Ambientales, Investigadora-Ingeniera en el grupo BERA (Biomasa, Evaluación Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), actualmente desarrollando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza sobre la viabilidad medioambiental de los cultivos energéticos.

DAVID VILLÉN DOMINGO, Ingeniero Técnico Industrial, Técnico de Proyectos y Campañas en la Organización No Gubernamental Ingeniería Sin Fronteras Aragón (ISF), trabaja en proyectos de cooperación al desarrollo con distintos países de África y de América Latina, así como en campañas de sensibilización en España.

FERNANDO SEBASTIÁN NOGUÉS, Ingeniero Industrial, Responsable del Grupo BERA (Biomasa, Evaluación, Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), actualmente desarrollando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza sobre la viabilidad medioambiental de la co-combustión de biomasa.

MERCEDES BALLESTEROS PERDICES, Doctora en Ciencias Biológicas, Jefa de la Unidad de Biocarburantes del Departamento de Energía en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), investiga actualmente en temas relacionados con la producción y utilización de biomasa con fines energéticos, especialmente con la producción de biocarburantes de segunda generación para el transporte.

JOSÉ ARACIL MIRA, Catedrático del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), Investigador del Grupo Diseño, Optimización y Escalado de Procesos, en la actualidad desarrolla varias líneas de investigación: síntesis, desarrollo, optimización y escalado de procesos de química fina, modelado de procesos bioquímicos integrados (biotransformaciones, purificación de bioproductos), química «verde», energías renovables y desarrollo sostenible.

MERCEDES MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, Profesora Titular del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), Investigadora del Grupo Diseño, Optimización y Escalado de Procesos, en la actualidad desarrolla varias líneas de investigación: síntesis, desarrollo, optimización y escalado de procesos de química fina, modelado de procesos bioquímicos integrados (biotransformaciones, purificación de bioproductos), química «verde», energías renovables y desarrollo sostenible.

ANDRÉS AGUDELO SANTAMARÍA, Ingeniero Mecánico, Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Antioquia (Colombia), Ingeniero-Investigador en el Grupo de Manejo Eficiente de la Energía (GIMEL) de la Universidad de Antioquia (Colombia). En la actualidad está realizando su tesis doctoral en el Centro de Investigación de Consumos y Recursos Energéticos (CIRCE) y la Universidad de Zaragoza, sobre el uso de la termoeconomía para la reducción de las emisiones de CO₂.

ADELINE REZEAU, Ingeniera Industrial, Investigadora-Ingeniera en el grupo BERA (Biomasa, Evaluación Recursos y Aprovechamiento) del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE), actualmente desarrollando su tesis doctoral en la Universidad de Zaragoza sobre la modelización y el desarrollo de equipos de combustión de lecho fijo.

JUAN E. CARRASCO GARCÍA, Doctor en Ciencias Biológicas, Jefe de la Unidad de Biomasa del Departamento de Energía en el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), investiga actualmente en temas relacionados con la producción y utilización de biomasa con fines energéticos, especialmente con el desarrollo de conocimientos, tecnologías y aplicaciones en el ámbito de la producción y utilización energética de la biomasa para la generación de calor y electricidad.

Índice

16. SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA FINAL	7
16.0. Introducción	7
16.1. Generación de calor	9
16.1.1. Sistemas de generación de calor	10
16.1.2. Instalaciones de generación de calor	11
16.2. Generación eléctrica	13
16.2.1. Ciclos de turbina de vapor	14
16.2.2. Motores alternativos de combustión externa (Stirling)	18
16.2.3. Motores alternativos de combustión interna (Otto y Diésel) ...	21
16.2.4. Turbinas de gas	23
16.2.5. Ciclos combinados	24
16.2.6. Pilas de combustible	25
16.2.7. Co-combustión	26
16.3. Generación de frío	27
16.3.1. Principios básicos	27
16.3.2. Enfriamiento por absorción	28
16.3.3. Enfriamiento por adsorción	31
16.4. Poligeneración: cogeneración y trigeneración	34
16.5. Conclusiones	38
16.6. Bibliografía	39
17. GENERACIÓN Y ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DURANTE LA COMBUSTIÓN DE BIOMASA	43
17.0. Introducción	43
17.1. Problemática medioambiental. Contaminación atmosférica	43
17.1.1. Formación de contaminantes de la atmósfera en el procesado termoquímico de combustibles	43
17.1.2. Principales emisiones contaminantes de la atmósfera	45
17.2. Óxidos de nitrógeno	45
17.2.1. Formación de los óxidos de nitrógeno	45
17.2.2. Control de las emisiones de nitrógeno	48
17.3. Óxidos de azufre	52
17.4. Compuestos inquemados o parcialmente quemados.....	53
17.5. Halógenos y sus derivados (PCBs, dioxinas, furanos, etc.).....	54
17.5.1. Formación de halógenos y sus derivados	54
17.5.2. Control de la contaminación de dioxinas y furanos	57

17.6. Aerosoles	57
17.7. Conclusiones	59
17.8. Bibliografía	59
18. SEGURIDAD CONTRA INCENDIOS Y EXPLOSIONES	
EN INSTALACIONES DE BIOMASA SÓLIDA	63
18.0. Introducción.....	63
18.1. Determinación del riesgo de incendio y explosión	
de una biomasa sólida	64
18.1.1. Sensibilidad a la ignición	64
18.1.2. Severidad de explosión	65
18.1.3. Susceptibilidad térmica	66
18.1.4. Estabilidad térmica	68
18.1.5. Conclusiones sobre riesgos en el manejo de combustibles	
de biomasa. Valores de explosividad	69
18.2. Diseño de la prevención y protección de incendios y explosiones	71
18.2.1. Identificación de equipos	71
18.2.2. Técnicas de prevención de explosiones	72
18.2.3. Técnicas de protección contra explosiones de polvo	74
18.2.4. ¿Cuándo prevenir y cuando proteger?	75
18.3. La prevención y protección de explosiones aplicada a equipos	
de manejo de biomasa sólida	76
18.3.1. Molinos	76
18.3.2. Transportadores	77
18.3.3. Silos y tolvas	80
18.3.4. Filtros de mangas	81
18.3.5. Secaderos	83
18.3.6. Resumen	83
18.4. Conclusiones	86
18.5. Bibliografía	86
PARTE II	89
1. INTRODUCCIÓN AL APROVECHAMIENTO DE LA BIOMASA	
RESIDUAL HÚMEDA	91
1.0. Introducción	91
1.1. Aspectos preliminares sobre la BRH	93
1.1.1. Definición para la Biomasa Residual Húmeda (BRH)	93
1.1.2. Terminología: ¿biomasa o materia orgánica?	94
1.1.3. Fuentes de la BRH	95

1.1.4. Caracterización de la BRH	96
1.1.5. Procesos de degradación de la materia orgánica	100
1.1.6. BRH: sistemas de gestión y tratamiento	103
1.2. Efectos de la BRH sobre los ecosistemas y su utilización	
como fertilizante y enmienda orgánica	109
1.2.1. Contaminación asociada a la BRH	109
1.2.2. Utilización de la BRH como fertilizante y enmienda orgánica ...	112
1.3. Tratamientos aplicables a la BRH	119
1.3.1. Instalaciones de tratamiento de aguas residuales	119
1.3.2. Plantas de biodigestión o de producción de biogás	120
1.3.3. Compostaje	121
1.3.4. Secado térmico con cogeneración	123
1.3.5. Eco-vertederos y vertederos de RSU	125
1.3.6. Alternativas en la gestión de la BRH	126
1.4. Tecnologías para la digestión aerobia y anaerobia	131
1.4.1. Clasificación de tecnologías de digestión	131
1.4.2. Tecnologías de digestión aerobia	133
1.4.3. Tecnologías de digestión anaerobia	135
1.5. Aprovechamiento energético de la BRH	138
1.5.1. Digestión anaerobia y producción de biogás	138
1.5.2. Utilización del biogás para generación de energía	145
1.5.3. Procesos termoquímicos para la valorización de la BRH	148
1.6. Conclusiones	150
1.7. Bibliografía	151
 2. VALORIZACIÓN DE RESIDUOS GANADEROS	
COMO ENMIENDA ORGÁNICA. IMPACTOS Y PERSPECTIVAS	155
2.0. Introducción	155
2.1. Preliminares	156
2.1.1. Evolución de la actividad agrícola y ganadera	
hacia la intensificación	156
2.1.2. Evolución de la ganadería y sus residuos	158
2.2. Utilización de enmiendas orgánicas, ventajas y posibles	
impactos ambientales	161
2.2.1. Materia orgánica como enmienda o posible contaminante	161
2.2.2. Impacto ambiental sobre atmósfera, suelo y aguas	162
2.3. Posibles tratamientos	165
2.4. Utilización de los estiércoles como fertilizante orgánico-mineral.	
Razonamiento de la fertilización con purín porcino	167

2.4.1. Empleo histórico de las enmiendas orgánicas	167
2.4.2. Elementos nutrientes y principios de la fertilización nitrogenada	168
2.4.3. Aplicación de la fertilización orgánica nitrogenada	170
2.4.4. Ahorro en los costes de abonado con la utilización de enmiendas orgánicas	174
2.5. Reflexiones y conclusiones	175
2.6. Bibliografía	177
3. COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES	179
3.0. Introducción	179
3.1. Generalidades	179
3.1.1. Evolución de la materia orgánica y las formas nitrogenadas en el suelo	179
3.1.2. Fundamentos del compostaje	181
3.1.3. ¿Por qué compostamos?	181
3.1.4. Beneficios del uso de compost	182
3.1.5. Desventajas del uso del compost	183
3.2. Proceso de compostaje. Parámetros de control	184
3.2.1. Proceso de compostaje	184
3.2.2. Aspectos microbiológicos del compostaje	185
3.2.3. Principales parámetros de control del proceso	186
3.2.4. Resumen de las condiciones de un proceso ideal	190
3.3. Materia prima para el compostaje	191
3.3.1. Materiales iniciales y ajuste de parámetros	191
3.3.2. Posibilidades de uso de estiércoles fluidos	193
3.4. Sistemas y operaciones de compostaje	193
3.4.1. Sistemas de compostaje	193
3.4.2. Operaciones de compostaje	196
3.5. Condiciones de ubicación y consideraciones medioambientales	199
3.5.1. Emplazamiento y distancias de separación	199
3.5.2. Consideraciones medioambientales	199
3.6. Rendimiento, madurez y calidad del compost	201
3.6.1. Rendimiento del compostaje	201
3.6.2. Madurez del compost	201
3.6.3. Características del compost	203
3.7. Conclusiones	205
3.8. Bibliografía	205

4. DIGESTIÓN ANAEROBIA Y DIMENSIONAMIENTO DE BIODIGESTORES	207
4.0. Introducción	207
4.1. Etapas del proceso anaerobio	208
4.2. Microbiología del proceso anaerobio	210
4.2.1. Bacterias productoras de ácidos	210
4.2.2. Bacterias metanogénicas	211
4.2.3. Sulfobacterias	212
4.2.4. Asociación sintrófica	213
4.3. Parámetros de operación y control	214
4.3.1. Inóculo inicial. Fase de arranque	214
4.3.2. Grado de mezcla	215
4.3.3. Temperatura	215
4.3.4. pH	216
4.3.5. Alcalinidad	217
4.3.6. Ácidos grasos volátiles (AGV)	218
4.3.7. Nutrientes	218
4.3.8. Presencia de tóxicos	219
4.4. Dimensionado de un digestor anaerobio	221
4.4.1. Cuantificación de la materia orgánica	221
4.4.2. Dimensionado de digestores en fase dispersa	224
4.4.3. Dimensionado de digestores en película fija	228
4.4.4. Producción de gas metano	229
4.4.5. Parámetros de diseño	231
4.5. Conclusiones	232
4.6. Bibliografía	233
5. TIPOS DE BIODIGESTORES, SELECCIÓN EN FUNCIÓN DEL RESIDUO	235
5.0. Introducción	235
5.0.1. Conceptos generales	235
5.0.2. Reseña histórica: del descubrimiento de la digestión anaerobia hasta los sistemas actuales	236
5.1. Parámetros a tener en cuenta en la selección de la tecnología	239
5.1.1. Características del sustrato de entrada	239
5.1.2. Interacción entre sustrato, nutrientes y microorganismos	242
5.1.3. Factores influyentes, operación y control de los procesos anaerobios	245
5.2. Tecnologías de los digestores anaerobios de biomasa suspendida	248
5.2.1. Digestores en discontinuo	248

5.2.2. Digestores en continuo	249
5.3. Tecnologías de los digestores anaerobios de biomasa adherida	254
5.3.1. Biomasa adherida a superficies fijas	256
5.3.2. Biomasa adherida a superficies móviles	257
5.4. Comparación entre las distintas tecnologías	259
5.5. Conclusiones	260
5.6. Bibliografía	262
6. PLANTA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	267
6.1. Introducción	267
6.2. Pretratamiento y postratamiento	268
6.2.1. Pretratamiento	268
6.2.2. Postratamiento	271
6.3. Tratamiento del biogás	273
6.3.1. Tratamiento de sulfuro de hidrógeno	273
6.3.2. Eliminación de dióxido de carbono	283
6.3.3. Eliminación de agua	291
6.3.4. Eliminación de amoníaco	292
6.3.5. Eliminación de siloxanos	292
6.4. Transporte y almacenamiento del biogás	293
6.4.1. Conducciones de biogás	293
6.4.2. Licuefacción y compresión del biogás	295
6.4.3. Almacenamiento del biogás	296
6.5. Usos del biogás	299
6.5.1. Suministro de electricidad a la red eléctrica	302
6.5.2. Generación de calor	303
6.5.3. Cogeneración	304
6.5.4. Conversión a gas natural	311
6.5.5. Otros usos	312
6.6. Viabilidad económica	313
6.6.1. Costes	315
6.6.2. Ingresos	316
6.6.3. Ejemplo	316
6.7. Conclusiones	322
6.8. Bibliografía	323
7. OBTENCIÓN Y UTILIZACIÓN DEL GAS DE VERTEDERO	325
7.0. Introducción	325
7.1. Generación de biogás: visión histórica	327

7.2. Formación, composición y propiedades del gas de vertedero	329
7.2.1. Proceso de formación de gas en un vertedero	329
7.2.2. Componentes del gas de vertedero	330
7.2.3. Factores de influencia en la producción del gas de vertedero	332
7.2.4. Aprovechamiento energético en motores	334
7.3. Explotación de un vertedero	341
7.3.1. Generalidades sobre la gestión del volumen	341
7.3.2. Planta y equipamientos necesarios	344
7.4. Conclusiones	354
7.5. Bibliografía	355
 8. PLANTAS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN «PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO».....	357
8.1. Introducción	357
8.2. Principios básicos de funcionamiento de las tecnologías utilizadas y factores que determinan su elección	359
8.2.1. Funcionamiento de los sistemas: parámetros a definir	360
8.2.2. Volumen del digestor. Tiempo de retención	363
8.3. Tecnologías de digestor más habituales en este tipo de instalaciones	365
8.3.1. Digestor chino o de cubierta fija.....	365
8.3.2. Digestor indio o de cubierta móvil	368
8.3.3. Digestor tubular	370
8.4. Aplicaciones de los productos del biodigestor	373
8.4.1. Aplicaciones del biogás	374
8.4.2. Aplicaciones del <i>biol</i>	377
8.5. Ejemplos de instalaciones reales	379
8.5.1. Programa Nacional de Biogás en Nepal	379
8.5.2. Implementación de biodigestores en Tanzania	381
8.5.3. Zona Andina (Perú-Bolivia)	382
8.6. Conclusiones	388
8.7. Bibliografía	389
 PARTE III	393
 1. INTRODUCCIÓN A LOS BIOCARBURANTES	395
1.0. Introducción	395
1.1. Características energéticas del sector del transporte	395

1.2. Biocarburantes como herramienta de diversificación energética en el sector del transporte	397
1.3. Políticas europeas de promoción de biocarburantes	399
1.4. Potencial de producción de biocarburantes en Europa	401
1.5. Materias primas y obtención de biocarburantes	402
1.5.1. Biocarburantes de <i>primera generación</i>	403
1.5.2. Biocarburantes de <i>segunda generación</i>	409
1.5.3. Consideraciones ambientales de la producción y uso de los biocarburantes	412
1.6. Conclusiones	414
1.7. Bibliografía	415
 2. PRODUCCIÓN DEL BIODIÉSEL	417
2.0. Introducción	417
2.1. Estado de desarrollo del biodiésel y estándares de calidad	418
2.1.1. Definición y estándares de calidad del biodiésel	418
2.1.2. Uso de aceites y biodiésel: desde la invención del motor diésel hasta el auge actual	419
2.2. Materias primas	422
2.2.1. Aceites vegetales	422
2.2.2. Catalizadores	433
2.2.3. Alcohol	435
2.2.4. Influencia de las materias primas en la calidad del biodiésel	436
2.3. Proceso de obtención de biodiésel	436
2.3.1. Reacción principal	436
2.3.2. Reacciones secundarias	439
2.3.3. Parámetros de reacción y su influencia en el proceso	440
2.3.4. Tecnologías actuales para la producción de biodiésel	442
2.4. Descripción general del proceso de producción de biodiésel en planta a escala industrial	443
2.4.1. Pretratamiento de la materia prima vegetal (los aceites)	444
2.4.2. Almacenamiento de materias primas y productos	448
2.4.3. Conversión de los aceites vegetales en ésteres: transesterificación	448
2.4.4. Purificación de metiléster	449
2.4.5. Purificación de glicerina	451
2.4.6. Recuperación de metanol	452
2.4.7. Recuperación de esteroides	453

2.5. Viabilidad técnica y económica de la producción de biodiésel	453
2.5.1. Viabilidad técnica del proceso	453
2.5.2. Viabilidad económica del proceso	455
2.6. Conclusiones	457
2.7. Bibliografía	458
 3. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL	 461
3.0. Introducción	461
3.1. Estado de desarrollo del bioetanol	462
3.2. Materias primas para la producción de bioetanol	464
3.2.1. Cultivos azucarados tradicionales	464
3.2.2. Cultivos amiláceos tradicionales	467
3.2.3. Nuevas materias primas	467
3.3. Tecnologías de producción de bioetanol y ETBE	470
3.3.1. Bioetanol de caña de azúcar	471
3.3.2. Bioetanol de cereal	473
3.3.3. Bioetanol de lignocelulosa	477
3.3.4. ETBE	483
3.4. Aspectos energéticos y económicos de la producción de bioetanol	484
3.5. Conclusiones	486
3.6. Bibliografía	487
 4. USO DE BIOCARBURANTES EN MOTORES	 489
4.0. Introducción	489
4.1. Fundamentos de motores alternativos de combustión interna	489
4.1.1. Definición y clasificación	489
4.1.2. Principios de funcionamiento	491
4.1.3. Características de operación	503
4.1.4. Emisiones contaminantes	508
4.2. Biocarburentes para MACI	512
4.2.1. Propiedades claves de los combustibles	513
4.2.2. Biocarburentes para MEP	516
4.2.3. Biocarburentes para MEC	520
4.3. Uso de biocarburentes en MACI	526
4.3.1. Problemas observados y modificaciones necesarias	526
4.3.2. Prestaciones y emisiones en MEP	530
4.3.3. Prestaciones y emisiones en MEC	534
4.4. Conclusiones	540
4.5. Bibliografía	541

EPÍLOGO	549
1. EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA COMO HERRAMIENTA DE EVALUACIÓN AMBIENTAL DEL USO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA	551
2. SITUACIÓN ACTUAL, BARRERAS Y RETOS PARA EL DESARROLLO DE LA BIOMASA	579
GLOSARIO DE TÉRMINOS	615
Autores de los capítulos del volumen II	639