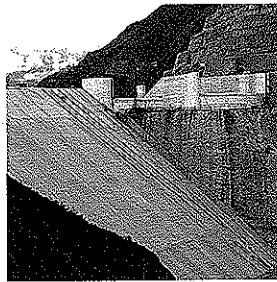
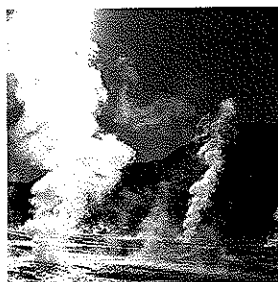
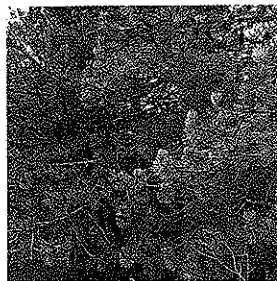
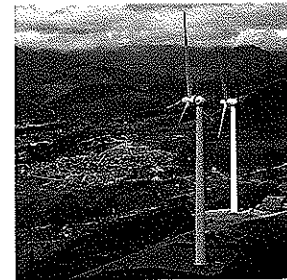
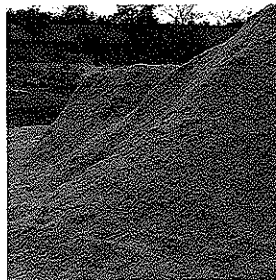
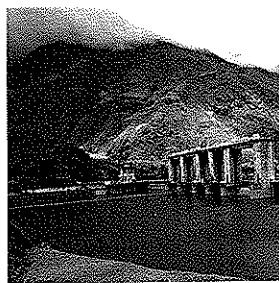


# ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR

## SITUACIÓN ACTUAL, TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS



Organizado y editado por:

**Manuel Raúl Peláez Samaniego, PhD.**  
**Juan Leonardo Espinoza Abad, PhD.**

# **ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR**

**SITUACIÓN ACTUAL,  
TENDENCIAS Y PERSPECTIVAS**

Cuenca, Diciembre de 2015

© Universidad de Cuenca, 2015

Energías renovables en el Ecuador.  
Situación actual, tendencias y perspectivas

Compiladores:

*Manuel Raúl Peláez Samaniego, PhD.*

*Juan Leonardo Espinoza Abad, PhD.*

*Varios autores.*

Primera edición, diciembre de 2015

300 ejemplares

ISBN: 978-9978-14-317-9

Derecho de Autor: CUE-002371

Impreso en Cuenca - Ecuador

Impresión:

Gráficas Hernández

Diseño y Diagramación:

Fabián Cordero / Gráficas Hernández

Edición, corrección de pruebas y revisión:

M. R. Peláez Samaniego, J. L. Espinoza Abad, M. García Renté

Nota:

*El contenido de cada uno de los capítulos de este libro es de responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores. En esta obra pueden aparecer marcas/nombres comerciales únicamente con fines ilustrativos. El uso de nombres comerciales no implica recomendación o aval de los autores para el uso de dichas marcas o productos.*

*Todos los derechos reservados. El contenido de este libro puede ser libremente reproducido total o parcialmente siempre que se cite la fuente.*

# / Contenido

Sobre los organizadores/editores del libro .....	vii
Lista de autores y breve biografía .....	ix
Prefacio .....	xv
<b>I. Políticas para la promoción de las energías renovables en el Ecuador</b> .....	<b>1</b>
1.1 Introducción .....	1
1.2 Marco Teórico .....	3
1.2.1 Políticas Energéticas .....	4
1.2.2 Tipos de Políticas para el Incentivo de las ER .....	4
1.3 Políticas para el Incentivo de las ER en el Ecuador .....	8
1.3.1 Precio y Cantidad .....	14
1.3.2 Reducción de Costos .....	18
1.3.3 Inversión Pública .....	18
1.4 Indicadores de Penetración de las ER en el Ecuador .....	19
1.5 Perspectivas de las ER frente al Modelo Vigente en Ecuador .....	23
1.6 Conclusiones .....	25
1.7 Referencias y material de consulta .....	27
<b>II. Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador</b> .....	<b>29</b>
2.1 Introducción .....	29
2.2 Definición y tipos de biomasa .....	32
2.3 Tecnologías para la conversión de biomasa .....	34
2.3.1 Procesos termoquímicos .....	35
2.3.2 Procesos químicos y biológicos .....	48
2.4 Caracterización y pretratamiento de la biomasa .....	49
2.4.1 Experiencias sobre briquetado de biomasa en Ecuador .....	52
2.5 Fuentes de biomasa en Ecuador .....	53
2.5.1 Cascarilla de arroz .....	54
2.5.2 Residuos de la cosecha e industrialización de caña de azúcar .....	76
2.5.3 Palma de aceite .....	80
2.5.4 Residuos de la industria de la madera .....	83
2.5.5 Residuos del cultivo e industrialización del café .....	87
2.5.6 Residuos del cultivo e industrialización del cacao .....	88

2.5.7 Residuos de la cosecha de banano	90
2.5.8 Otros materiales lignocelulósicos agrícolas y no agrícolas	93
2.5.9 Otras fuentes de biomasa y biocombustibles	99
2.5.10 Experiencia ecuatoriana en el uso de biogás y biodigestores	101
2.6 Consideraciones finales	105
2.7 Referencias y material de consulta	107
<b>III. Hidroelectricidad en Ecuador</b>	<b>116</b>
3.1 Antecedentes	116
3.2 Conceptos principales	117
3.2.1 Características de la energía hidroeléctrica	117
3.2.2 Estudios y diseños de una central hidroeléctrica	118
3.3 Sistemas de producción de energía eléctrica a partir de energía hídrica	119
3.3.1 Centrales hidroeléctricas	119
3.3.2 Proceso de generación hidroeléctrica	121
3.4 Potencial hidroeléctrico en el Ecuador	124
3.4.1 Proyectos hidroeléctricos en el Ecuador	126
3.5 Abastecimiento de potencia y energía en el Ecuador	138
3.5.1 Potencia instalada y energía	140
3.6 Políticas de Estado y crecimiento de la demanda	146
3.7 Expansión de la generación	149
3.8 Márgenes de reserva	153
3.8.1 Márgenes de reserva históricos	153
3.8.2 Márgenes de reserva proyectados	153
3.9 Comentarios finales	154
3.10 Referencias y material de consulta	157
<b>IV. Hidrógeno electrolítico: perspectivas de producción y uso en Ecuador</b>	<b>159</b>
4.1 Introducción	159
4.2 Conceptos y estado de arte de producción y uso de hidrógeno	162
4.2.1 Métodos de producción de hidrógeno	162
4.2.2 Fundamentación teórica de la producción de hidrógeno por vía electrolítica	164
4.2.3 Aspectos generales de la tecnología de producción de hidrógeno por vía electrolítica	166
4.2.4 Costos de producción de hidrógeno	166
4.3 Equipos para el proceso de electrólisis: electrolizadores	167
4.4 Diagrama del proceso de electrólisis	170
4.5 Células a combustible	170
4.5.1 Funcionamiento	171
4.6 Uso vehicular de las células a combustible	172
4.6.1 Proyectos de demostración del uso de hidrógeno	

para el transporte colectivo .....	173
4.7 Usos del hidrógeno .....	174
4.7.1 Uso del hidrógeno como materia prima .....	174
4.7.2 Uso del hidrógeno para el hidro-tratamiento en las refinерías .....	177
4.7.3 Uso del hidrógeno como combustible .....	177
4.7.4 Hidrógeno como refrigerante .....	177
4.8 Métodos de transporte y distribución de hidrógeno .....	178
4.9 Generación Distribuida y Cogeneración .....	179
4.10 El oxígeno como subproducto .....	180
4.11 Uso óptimo del agua en plantas hidroeléctricas: energía vertida turbinable .....	180
4.12 Estudio de pre factibilidad de producción de hidrógeno electrolítico en la Unidad de Negocio Hidropaute .....	181
4.12.1 La Unidad de Negocio Hidropaute: características operacionales .....	181
4.12.2 Caudales históricos, energía generada y energía no generada .....	182
4.12.3 Potencial energético para producir hidrógeno .....	183
4.12.4 Dimensionamiento de la planta de electrólisis .....	184
4.12.5 Análisis del costo de producción de hidrógeno electrolítico .....	185
4.13 Alternativas de uso de hidrógeno electrolítico en Ecuador .....	186
4.13.1 Uso como materia prima para producir amoníaco: Producción de hidrógeno en Guayaquil .....	187
4.13.2 Empleo en refinерías para el proceso de hidrotratamiento de petróleo pesado .....	188
4.13.3 Uso del hidrógeno para generar energía eléctrica en sistemas de cogeneración .....	190
4.13.4 Utilización de hidrógeno en buses con células a combustible .....	190
4.14 Análisis de prefactibilidad del uso de hidrógeno en buses de servicio urbano en Cuenca .....	191
4.14.1 El sistema de transporte urbano de la ciudad de Cuenca .....	191
4.15 Generación de energía eléctrica usando hidrógeno .....	199
4.15.1 Dimensionamiento de la planta de generación eléctrica .....	200
4.15.2 Análisis económico del uso del hidrógeno para la generación de energía eléctrica .....	201
4.16 Implicaciones socio-ambientales del proyecto de producción y uso de hidrógeno .....	202
4.17 Aspectos relacionados con la creación de una planta piloto .....	203
4.18 Consideraciones finales sobre este capítulo .....	205
4.19 Referencias y material de consulta .....	207

<b>V. Eficiencia energética y ahorro de energía en el Ecuador</b>	212
5.1 Introducción	212
5.1.1 Cómo medir la eficiencia energética	215
5.2 Intensidad energética	216
5.2.1 Intensidad energética en América Latina y el Caribe	217
5.3 Indicadores de oferta y demanda de energía en Ecuador	219
5.4 Oferta de energía primaria en Ecuador	220
5.5 El consumo sectorial de energía	222
5.5.1 Derivados de petróleo y GLP	225
5.5.2 Electricidad	227
5.5.3 Usos finales de la Electricidad en el Sector Residencial y Comercial	229
5.6 Políticas y programas enfocados en la eficiencia energética del sector eléctrico ecuatoriano	233
5.6.1 Programa de "focos ahorradores"	234
5.6.2 Programa Renova (Refrigeradoras eficientes)	235
5.6.3 Programa de Cocinas de Inducción	237
5.6.4 Eficiencia Energética en el Sector Industrial	238
5.6.5 Alumbrado Público Eficiente	239
5.6.6 Vehículos híbridos y vehículos eléctricos	241
5.7 Nuevo esquema tarifario	243
5.8 La importancia de la investigación	244
5.9 Del SEP tradicional a las redes (eficientes) del futuro	245
5.9.1 ¿Qué es una red inteligente?	247
5.9.2 Justificación de las redes inteligentes y algunos avances en el mundo	248
5.9.3 Redes Inteligentes en el Ecuador	250
5.10 Conclusiones	252
5.11 Referencias y material de consulta	254
<b>VI. Energía Eólica en Ecuador</b>	259
6.1 Introducción	259
6.1.1 Aire. Atmósfera	259
6.2 Definiciones sobre el viento	262
6.3 Formación del Viento. Tipo de Vientos	274
6.4 Energía del viento	289
6.5 Identificación de sitios eólicos	294
6.5.1 Sugerencias y normas para la medición de sitios eólicos	299
6.6 Tecnología de la energía eólica	302
6.6.1 Historia	302
6.6.2 Aerogeneradores modernos	307
6.7 Principio de funcionamiento de un aerogenerador	309
6.8 Caracterización de aerogeneradores	311
6.9 Consideraciones sobre operación de aerogeneradores	318
6.10 Aprovechamiento del recurso eólico	320

6.10.1	Potencial eólico en el Ecuador	320
6.10.2	Frecuencia de distribución de la velocidad del viento	321
6.10.3	Cálculo de la energía eólica	322
6.11	Conclusiones	329
6.12	Referencias y material de consulta	329
<b>VII.</b>	<b>Energía Solar en el Ecuador</b>	<b>330</b>
7.1	Introducción	330
7.3	Energía Solar Pasiva	334
7.4	Energía Solar Térmica Activa	335
7.4.1	Energía Solar Térmica de Baja Temperatura	335
7.4.2	Energía Solar Térmica de Media Temperatura	336
7.4.3	Energía Solar Térmica de Alta Temperatura	337
7.5	Energía Solar Fotovoltaica	339
7.5.1	Conversión Fotovoltaica	339
7.5.2	Parámetros que definen el funcionamiento de una célula fotovoltaica	339
7.5.3	Tipos de células fotovoltaicas	332
7.5.4	Componentes de un sistema fotovoltaico	345
7.5.5	Requisitos ambientales	359
7.5.6	Orientación de los paneles y análisis de sombras	360
7.5.7	Potencial Solar en el Ecuador	360
7.5.8	Experiencias en electrificación rural con SFV en el Ecuador	363
7.5.9	Método de cálculo básico de un sistema fotovoltaico doméstico	371
7.6	Posible integración de energía solar con energía hidráulica para la generación de electricidad	373
7.6.1	Funcionamiento de los hidroseguidores	374
7.6.2	Central solar con hidroseguidores	379
7.6.3	Importancia de los hidroseguidores	380
7.7	Conclusiones	381
7.8	Referencias y material de consulta	382
<b>VIII.</b>	<b>Estado de la exploración de la energía geotérmica en Ecuador</b>	<b>384</b>
8.1	Introducción	384
8.1.1	Sistemas Geotérmicos	385
8.1.2	Estado actual del uso de geotermia a nivel mundial	387
8.2	Conceptos y definiciones	389
8.2.1	Modelo geotérmico conceptual	389
8.2.2	Utilización de fluidos geotérmicos para la generación de energía eléctrica	390
8.2.3	Costos de instalación de centrales geo-termoeléctricas	392



8.3 Aspectos históricos de la exploración de energía geotérmica en Ecuador .....	393
8.4 La energía geotérmica en Ecuador .....	396
8.4.1 Ambiente geológico .....	396
8.4.2 Descripción de las áreas geotérmicas con mayor potencial .....	396
8.4.3 Potencial geotérmico y futuro de la explotación de los sistemas geotérmicos en Ecuador .....	401
8.5 Consideraciones finales .....	403
8.6 Referencias y material de consulta .....	405

# / Sobre los organizadores/editores del libro

**Manuel Raúl Peláez Samaniego** es Ingeniero Mecánico (Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba, 1996), Master en Planeamiento de Sistemas Energéticos (UNICAMP, Campinas, SP, Brasil, 2007) y Ph.D. in Biological and Agricultural Engineering (Washington State University-WSU, Pullman, WA, USA, 2014). Posee, además, postdoctorado relacionado con Biomasa, Bioenergía y Bioproductos, también en WSU (2014-2015) y ha realizado estancia de investigación en el PNNL (Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA, 2013). Ha sido consultor en temas energéticos para el MEER e Hidropaute (2008-2009). Se ha desempeñado como Gerente de Producción en Indalum S.A. (Cuenca-Ecuador, 1996-2005), ha sido profesor en la Universidad Politécnica Salesiana (Cuenca-Ecuador, 1996-2001) y ha dictado cursos en varios programas de postgrado en Ecuador, relacionados con Eficiencia y Ahorro de Energía, Combustibles Oxigenados y Gestión de Energía. Actualmente es Profesor Principal en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca. El Dr. Peláez-Samaniego ha sido becario del IECCE para realizar estudios de pregrado en Cuba (1991-1996), primer ecuatoriano becario del Global Sustainable Electricity Partnership (anteriormente conocido como e8 Group) para realizar estudios de maestría en Brasil, y becario Fulbright y de WSU para realizar estudios de doctorado. Ha publicado hasta la fecha alrededor de veinticinco artículos científicos relacionados con la producción y uso de bioenergía y bioproductos en varias revistas científicas (por ejemplo Renewable and Sustainable Energy Reviews, Energy, Biomass and Bioenergy, Energy Policy, Energy for Sustainable Development, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, Holzforschung, Wood Science and Technology, Applied Thermal Engineering). Es reviewer de varias revistas científicas nacionales e internacionales en el área de energía y bioproductos. Además, ha presentado más de una docena de trabajos relacionados con energía y uso de biomasa lignocelulósica para la producción de energía y bioproductos en eventos científicos en Brasil, Colombia, Cuba, Ecuador, India y Estados Unidos y ha sido coautor de dos libros publicados en Brasil.

**Juan Leonardo Espinoza Abad** es Ingeniero Eléctrico (Universidad de Cuenca, Ecuador, 1993), Máster en Energía y Ambiente (1999) del Programa conjunto entre la Universidad de Calgary y la OLADE, y Ph.D. con doble especialidad en Desarrollo Sustentable/Gestión Ambiental y Estrategia (Universidad de Calgary, Canadá, 2005). Actualmente es Profesor Principal en la Facultad de Ingeniería, Universidad de Cuenca. Ha sido además Director del Centro de Postgrados de dicha Facultad. Trabajó como docente y como Director (E) de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana de Cuenca. Ha dictado cursos de post-grado, sobre Energía, Gestión Ambiental y Estrategia en la OLADE, Universidad de Calgary, Universidad de Cuenca, PUCE-Quito y USFQ. Ha trabajado también como consultor técnico. En el año 2000 desarrolló un proyecto piloto de electrificación con energía solar fotovoltaica en la región amazónica. Fue Director Ejecutivo de la Comisión de Gestión Ambiental (CGA) de la I. Municipalidad de Cuenca (2005-2009). De agosto a diciembre de 2009, fue Subsecretario de Energía Renovable y Eficiencia Energética en el Ministerio de Electricidad del Ecuador- MEER. En el 2010 colaboró en la Unidad de Gestión Ambiental de la empresa pública CELEC E.P.-Hidropaute, donde fue su Gerente entre febrero de 2011 y junio de 2013. Tiene varias publicaciones a nivel internacional y sus trabajos de investigación han sido presentados en eventos académicos en varios países de América y Europa. Sus temas de investigación incluyen: energías renovables, eficiencia energética, gestión ambiental y desarrollo sostenible.