

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA**



TESIS:

**"MODELO DE GESTION PARA REDES ELECTRICAS DE
DISTRIBUCION CON BIOMASA, CASO HUANCAYO"**

AUTOR: JOSÉ ANTONIO POMA GARCÍA

CALLAO - PERU

ENERO, 2017

HOJA DE REFERENCIA DEL JURADO

MIEMBROS DEL JURADO

Dr.	: CIRO ITALO TERÁN DIANDERAS	PRESIDENTE
Dr.	: SANTIAGO LINDER RUBIÑOS JIMENEZ	SECRETARIO
Mg..	: HUGO FLORENCIO LLACZA ROBLES	MIEMBRO
MSc.	: NICANOR RAÚL BENITES SARAVIA	MIEMBRO
Dr.	: JUAN HERBER GRADOS GAMARRA	ASESOR

Nº DE LIBRO	: 01
FOLIO	: 051
FECHA DE APROBACIÓN	: enero 13, 2017
RESOLUCIÓN DIRECTORAL	: 006-2017-CD-UPG-FIEE

DEDICATORIA

A mi abuela María y mi padre Antonio José, Que mientras estuvieron a nuestro lado no se cansaron de expresarnos su más profundo amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Con su bendición que nos rodea con su escudo de amor y nos cubre con su manto de luz.

A mis padres Antonio y Teo y mis hermanos Jorge, Claudia y mi sobrino Axel por estar a mi lado en los buenos momentos y en los malos. Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante, pero más que nada, por su amor.

A mis tías Edith y Isabel por estar siempre a mi lado.

Quedo muy agradecido a la FIEE - UNAC mi alma mater. A mis profesores y amigos por los ejemplos de perseverancia y constancia, que me ha infundado siempre.

También agradecer a mi asesor, que ha tenido la voluntad para guiarme en esta investigación.

INDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
INDICE.....	1
SIGLAS.....	5
INDICE DE FIGURAS.....	7
INDICE DE TABLAS.....	10
RESUMEN	12
I. PLANTAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
1.1 Planteamiento del problema/ Problemática	15
1.2 Determinación del problema.....	17
1.3 Formulación del problema	17
1.3.1 Problema general	17
1.3.2 Problema específico	18
1.4 Objetivos de la investigación.....	18
1.4.1 Objetivo general.....	18
1.4.2 Objetivos específicos.....	18
1.5 Justificación	18
1.6 Limitaciones y facilidades.....	19
II. MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Antecedentes del estudio	20
2.2 Definición de conceptos	24
2.2.1 Generales	24
2.2.1.1 Cambio Climático	24
2.2.1.2 Efecto invernadero	26

2.2.1.3	Gases de efecto invernadero	28
2.2.2	Fuentes de energía.....	40
2.2.2.1	Energías no renovables.....	42
2.2.2.2	Energías renovables	44
2.2.3	Energía de la biomasa	45
2.2.3.1	Cultivos energéticos.....	45
2.2.3.2	Cultivos comodín y los biocombustibles	49
2.2.4	Técnicos	51
2.2.4.1	Generación distribuida	51
2.2.4.2	Redes eléctrica	52
2.3	La Producción de electricidad en el mundo	54
2.3.1	Las energías en el Perú.....	55
2.3.1.1	Producción de energía eléctrica	57
2.3.1.2	Estructura de la producción eléctrica.....	58
2.3.2	Iniciativa mundial sobre el metano.....	61
2.3.2.1	Importancia del gas metano	62
2.3.2.2	Gases de los rellenos sanitarios.....	63
2.3.2.3	Conversión de los gases de relleno sanitario en energía 65	
2.3.2.4	La iniciativa mundial sobre el metano en obra.....	67
2.4	Análisis técnico, Procesos de conversión de la biomasa.....	69
2.4.1	Proceso biológico	70
2.4.1.1	Digestión.....	70
2.4.2	Procesos termoquímicos	76
2.4.2.1	Combustión	78

2.4.2.2	Gasificación.....	85
2.4.2.3	Pirolisis.....	97
2.4.3	Residuos sólidos urbanos.....	101
2.4.3.1	Gestión de RSU, manejo, tratamiento y deposito	101
2.4.3.2	La jerarquía del manejo de los residuos sólidos municipales	103
2.4.3.3	Vertedero controlado.....	113
2.4.3.4	Relleno sanitario	116
2.4.3.5	Descomposición de la basura	119
III.	VARIABLES E HIPOTESIS.....	131
3.1	Hipótesis	131
3.1.1	Hipótesis General	131
3.1.2	Hipótesis Secundaria	132
3.1.3	Metodología.....	132
3.1.4	Relación entre las variables de investigación.....	132
3.1.5	Operacionalización de las variables.....	132
IV.	METODOLOGÍA.....	134
4.1	Escenarios de tratamiento de desechos mediante enterramiento en relleno sanitario, recuperación y quema o utilización del biogás.	149
4.1.1	Caso de enterramiento en relleno sanitario y quema del biogás. 150	
4.1.2	Caso de enterramiento en relleno sanitario y utilización del biogás 150	
4.2	Escenarios de tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario con recuperación, quema o utilización del biogás	151

4.2.1	tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario, con recuperación y quemado de biogás	152
4.2.2	Tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario, con recuperación y utilización del biogás.....	152
4.3	Proyección de la producción de la energía eléctrica.....	154
4.3.1	Escenarios posibles.....	156
V.	RESULTADOS.....	159
VI.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	161
VII.	CONCLUSIONES.....	162
VIII.	RECOMENDACIONES.....	164
IX.	REFERENCIAS.....	167
ANEXOS.....		173
	Matriz de consistencia	173
	Inversión viable en residuos sólidos, por niveles de gobierno (millones S/.).....	178
	Inversión viable en residuos sólidos, por niveles de gobierno (N° de proyectos	178
	Instrumentos Planificación Ambiental y de residuos sólidos en el Perú	178
	Instrumentos Complementarios a la Gestión Ambiental en el Peru....	179
	PBI, Número de Clientes y Cantidad de Población Histórica.....	180
	Encuesta de Servicio y Satisfacción del Cliente del servicio eléctrico.	182

SIGLAS

DOE	Departamento de Energía
DPCA	Distribution Power Coalition of América
IEA	The International Energy Agency.
FAO	La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, (The Food and Agriculture Organization of the United Nations)
GEI	Gases de Efecto Invernadero.
GD	Generación Distribuida.
ha	hectárea/hectáreas.
IED	Inversión Extranjera Directa
INEI	Instituto Nacional de Estadística e Informática
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, (Intergovernmental Panel on Climate Change)
MMC	Millones de Metros cúbicos.
MINAG	Ministerio de Agricultura
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
ONG	Organizaciones No Gubernamentales
PBI	Producto Bruto Interno
PCG	Potencial de Calentamiento Global del gas estudiado

PRIDI Proyectos Privados de Desarrollo Integral

PROINVERSION Agencia de la Promoción de la Inversión Privada

RSU Residuos sólidos urbanos

SUNAT Superintendencia Nacional de Administración Tributaria

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aumento de la temperatura a nivel mundial periodo 1900-2000	25
Figura 2. El efecto invernadero y el calentamiento global.....	28
Figura 3. Evolución de (a) gases de efecto invernadero y (b) aerosoles.	29
Figura 4. Emisiones totales de CO2 en el 2006	35
Figura 5. Fuentes naturales de metano.....	36
Figura 6. Metano proveniente de las actividades del hombre.....	36
Figura 7. Evolución de la concentración anual promedio del metano.....	38
Figura 8. Emisiones de N2O de las actividades humanas.....	39
Figura 9. Evolución del consumo energético mundial según el tipo de fuente.....	41
Figura 10. Potenciales de los recursos técnicos de la biomasa al año 2050	48
Figura 11. Estructura de la producción eléctrica - 2012.....	54
Figura 12. Estructura de la producción eléctrica de origen renovable - 2012.....	55
Figura 13. Las energías en Perú, 2010 y 2012.....	56
Figura 14. Matriz energética en 2003 y 2005, antes y después de Camisea.....	57
Figura 15. Producción eléctrica en el Perú y población.....	58
Figura 16. Estructura de la producción de electricidad	59
Figura 17. Estructura, producción de electricidad de origen renovable....	60

Figura 18. Emisiones de metano procedentes de los rellenos sanitarios.	64
Figura 19. Esquema de recuperación y valorización del gas de relleno sanitario	66
Figura 20. Alternativas para la conversión de biomasa en energía.	69
Figura 21. Etapas del proceso de digestión.....	71
Figura 22. Etapas del proceso de digestión.....	73
Figura 23. Diseños de control en digestores tipo flujo tapón y de filtro anaerobio	74
Figura 24. Procesos de conversión de la biomasa y productos obtenidos	78
Figura 25. Esquema de una planta de combustión.....	79
Figura 26. Esquema de una planta de gasificación	85
Figura 27. Esquema del gasificador de flujo ascendente.....	89
Figura 28. Gasificador de corriente descendente	90
Figura 29. Esquema del gasificador de lecho fluidizado	94
Figura 30. Capacidad mundial de generación eléctrica por gasificación - plantas tipo GICC	96
Figura 31. Proyección hacia el 2015 en gasificación	97
Figura 32. Esquema de una planta de pirólisis.....	99
Figura 33. Composición de Residuos Sólidos en el Perú	103
Figura 34. Generación de Residuos Sólidos Urbanos (toneladas/año)..	104
Figura 35. Manejo integral y sustentable de los RSM.....	105
Figura 36. Diferentes modalidades de rellenos sanitarios	118

Figura 37. Localización de la zona de estudio.....	141
Figura 38. evolución de la población de Huancayo entre 1972 y 2014..	142
Figura 399. Proyección del Consumo Final de Energía (TJ) 2014 y 2025	155

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Los principales tipos de generación distribuida	22
Tabla 2. Potenciales de calentamiento global (diversos horizontes de tiempo)	32
Tabla 3. Los 5 países de mayor producción de bioetanol y biodiesel 2008-2009	50
Tabla 4. Diversos sistemas de digestores	75
Tabla 5. Características: tipos de estiércol y eficiencia en la degradación anaerobia a gas metano	76
Tabla 6. Composición de algunas fuentes combustibles de la biomasa ..	84
Tabla 7. Composición típica del gas de síntesis	86
Tabla 8. Capacidad de salida típica para diversos diseños de gasificadores	94
Tabla 9. Gasificación comparada con la combustión del carbón	95
Tabla 10. Productos obtenidos en las diferentes modalidades de pirólisis	99
Tabla 11. Poder calorífico (diversos productos) resultante en el proceso de pirólisis.....	101
Tabla 12. Número de habitantes y generación de residuos.....	144
Tabla 13. Composición física de los residuos sólidos.....	145
Tabla 14. Composición de los RS en Chilca, El Tambo y Huancayo.....	147
Tabla 15. Proyecciones de población y de RSU al horizonte 2040.....	148
Tabla 16. Proyecciones relativas a las emisiones de metano.....	148

Tabla 17. Enterramiento en relleno sanitario y quema del biogás	150
Tabla 18. Enterramiento en relleno sanitario y utilización del biogás.....	151
Tabla 19. Compostaje y enterramiento de desechos con recuperación y quema del biogás	153
Tabla 20. Compostaje y enterramiento de desechos con recuperación y utilización del biogás.....	154

RESUMEN

El problema del cambio climático ha traído severas consecuencias en el mundo, dando lugar a un mayor número de desastres naturales. El Perú es considerado como uno de los países más vulnerables a estos cambios.

En el Perú se incrementa considerablemente la problemática de los residuos sólidos urbanos en todos los departamentos del país, aquellos residuos orgánicos e inorgánicos que se generan tras el proceso de fabricación, transformación o utilización de bienes o servicios. La provincia de Huancayo no cuenta con rellenos sanitarios para la disposición final de los residuos sólidos, representando así riesgos para la salud de las todas las personas de esta provincia.

Este trabajo, se propone un modelo de gestión de redes eléctricas de distribución con biomasa, para el caso de Huancayo. Modelo sostenible y sustentable para la generación distribuida en base a los residuos sólidos urbanos municipales.

La diversificación de la matriz energética es una política de estado, incorporando las energías renovables para la generación de electricidad. Se disponen de enormes cantidades de residuos sólidos urbanos representando un enorme potencial de biomasa, constituyendo una oportunidad para desarrollar tecnología de gasificación de los residuos sólidos urbanos contribuyendo a la mitigación de los efectos del cambio climático en el Perú y el mundo.

ABSTRACT

The problem of climate change has brought severe consequences to the world, leading to a greater number of natural disasters. Peru is considered as one of the countries most vulnerable to these changes.

In Peru, the problem of solid urban waste in all departments of the country is increased, organic and inorganic waste generated after the process of manufacture, transformation or use of goods or services. The province of Huancayo does not have sanitary landfills for the final disposal of solid waste, thus representing risks to the health of all the people of this province.

This work proposes a model of management of distribution networks with biomass, for the case of Huancayo. Sustainable and sustainable model for distributed generation based on municipal solid municipal waste.

The diversification of the energy matrix is a state policy, incorporating renewable energy for the generation of electricity. Large amounts of urban solid waste are available, representing enormous biomass potential, providing an opportunity to develop gasification technology for municipal solid waste, contributing to the mitigation of the effects of climate change in Peru and the world.

I. PLANTAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

Este proyecto de tesis de maestría tiene como finalidad establecer un modelo de gestión para optimizar las actividades de las redes eléctricas de distribución con biomasa, para mejorar el suministro del sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo. Los análisis se realizarán en una primera etapa sobre la nueva filosofía de la generación distribuida en nuestro país, porque se conoce sus grandes ventajas técnicas y económicas expuestas en literatura internacional. Se propone una implementación de una central de generación con el manejo de residuos sólidos en puntos viables escogidos en forma técnica y coherente para evaluar los efectos favorables de dicha inclusión con el propósito de incrementar la competitividad y lograr un crecimiento económico sostenible. En una segunda etapa, se efectuará un análisis de Los escenarios considerados han sido satisfactorios porque han mejorado la calidad de servicio eléctrico como también la reducción de las externalidades ambientales y sociales locales, el apoyo al desarrollo de una nueva industria verde, el aumento de la seguridad energética, la reducción de pérdidas del sistema y de la capacidad de generación innecesaria, promoviendo la generación distribuida utilizando energías renovables.

Las redes eléctricas clásicas se han gestionado cuidadosamente desde los centros de operaciones para garantizar el mantenimiento de un suministro de energía suficiente a pesar de los picos de la demanda. Cada sección de la red tiene un centro de operaciones que realiza y coordina diversas funciones, como la vigilancia de sistemas, el control y la administración y

expedición de cuadrillas. Se ha considerado tradicionalmente “el cerebro” del sistema eléctrico, desde el que se han dirigido las operaciones. A medida que los sistemas de distribución evolucionan y se convierten en sistemas de distribución inteligentes, los centros de operaciones que los controlan están evolucionando para adoptar funciones nuevas para gestionar dichas redes.

Los distintos sistemas de TI utilizados en esos centros de control se están simplificando y se comunican con fluidez para proporcionar un sistema integrado de vigilancia y gestión. Las aplicaciones y el software analítico más avanzados están proporcionando análisis más sofisticados y operaciones automatizadas. Los sistemas de control de los centros de operaciones ayudan no sólo a que la red sea más inteligente sino también a mejorar el apoyo a los decisores responsables de las operaciones, el mantenimiento y la planificación. Dichos centros de operaciones integrados ayudan a las organizaciones de distribución a alcanzar sus objetivos a pesar de las dificultades crecientes.

1.1 Planteamiento del problema/ Problemática

Desde la revolución industrial los combustibles fósiles han constituido una gran parte de nuestros energéticos, sin embargo el crecimiento de la población ha dado lugar a que estos recursos se vean agotados, causando

además un serio problema en el medio ambiente debido a los gases efecto invernadero. El aumento del precio de los combustibles fósiles y los esfuerzos por reducir este tipo de emisiones que producen el efecto invernadero han producido un interés considerable en las fuentes de energía renovables.

El Perú tiene que aprovechar su potencial energético proveniente del viento, el sol, la biomasa, la fuerza del agua tanto en corrientes como en embalses, y el calor de la tierra proveniente del subsuelo. La energía renovable abre una gran oportunidad para contribuir a nuestra seguridad energética, a la vez que nos sumamos al esfuerzo global del combate al cambio climático.

El problema del cambio climático ha traído severas consecuencias en el mundo, dando lugar a un mayor número de desastres naturales, como son huracanes, inundaciones, tormentas, erosión, cambios en la temperatura, etc. Estos eventos climáticos han afectado directamente al sector eléctrico en su transmisión, operación y distribución, ya que ahora los programas de mantenimiento preventivo y correctivo han aumentado, tanto para la generación como para la distribución.

La biomasa producida por la explotación agrícola y forestal, y los residuos producto de la actividad humana, constituyen un problema creciente, ya que estos desechos se van incrementando de forma directamente proporcional al crecimiento de la población. Por otro lado existen

comunidades rurales en donde no cuentan con energía eléctrica, sin embargo disponen enormes cantidades de biomasa constituyendo una oportunidad para desarrollar tecnología de gasificación de biomasa. La biomasa se transforma en energía eléctrica mediante procesos térmicos y biológicos. El proceso de gasificación en residuos orgánicos es el que atrae mayor interés debido a que tiene una mayor eficiencia comparado con la combustión.

1.2 Determinación del problema

¿Qué podemos hacer para implementar la generación distribuida (EE) con biomasa de residuos sólidos y mejorar el suministro del sistema eléctrico Huancayo?

Se busca realizar un análisis de la implementación de generación distribuida (EE) para el *sistema eléctrico Huancayo* basada en la biomasa, a través de la generación de biogás de residuos sólidos.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema general

“¿Cómo la falta de generación distribuida con biomasa mejoraría el suministro del sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo?”.

1.3.2 Problema específico

- a. ¿Cómo la generación distribuida mejoraría el suministro del sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo?
- b. ¿Cómo beneficiaría la generación eléctrica con biomasa de residuos sólidos al sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo?

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Implementar la generación distribuida con biomasa de residuos sólidos para mejora existente del sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Revisión y análisis de la generación distribuida a través de la biomasa del sistema eléctrico de la ciudad de Huancayo.
- b. Proponer la implementación de generación distribuida con biogás del manejo de residuos sólidos de la ciudad de Huancayo.

1.5 Justificación

El trabajo de tesis permitirá que veamos de qué forma la presencia de la generación distribuida modifica las pérdidas en las redes eléctricas de distribución en media y baja tensión donde se encuentra conectada.

Como es bien sabido ha sido un interés permanente de las compañías eléctricas la reducción de las pérdidas en las redes de transporte de energía debido a que estas representan energía y por lo tanto dinero que se pierde. En el nuevo contexto de una industria eléctrica de competencia este concepto mantiene su vigencia y en especial el Regulador debería establecer las políticas necesarias que motivaran una conducta en este sentido ya que con ello se logra un sistema eléctrico más eficiente.

1.6 Limitaciones y facilidades

La limitación es la falta de antecedentes locales y el riesgo por la baja confiabilidad de la red en el punto de conexión como la existencia del mercado mayorista, las facilidades de la necesidad de aumentar la oferta de la potencia y energía, la preocupación de reducción de pérdidas eléctricas y la aplicación principalmente a las energía renovables fomentando así la aplicación de mecanismos de desarrollo limpio.

II. MARCO TEÓRICO

En esta parte se describe el marco teórico utilizado para la generación distribuida con biomasa a partir de los residuos sólidos y contribuir con el sistema eléctrico Huancayo.

A partir de la revisión de las principales definiciones generales y técnicas, así como conceptos vinculados a la problemática global de cambio climático, emisiones de gases de invernadero, así como las fuentes de energía primaria, producción de energía eléctrica de origen renovable. También se hablara de definiciones tales como los sistemas de distribución eléctrica, sus funciones, las características, los componentes, etc.

2.1 Antecedentes del estudio

En la actualidad, en Perú la generación distribuida incluye la aplicación de pequeños generadores, repartidos por todo el sistema eléctrico, muy cerca de la carga, para proporcionar la energía eléctrica que necesitan los clientes y consumidores eléctricos sin necesidad de transportarla. La generación distribuida (GD) ofrece una valiosa alternativa a las fuentes no tradicionales de energía eléctrica para aplicaciones industriales, comerciales y residenciales, haciendo uso de la tecnología moderna de generación con energía renovable puede resultar eficiente, confiable y simple. Aunque también se puede incluir motores de combustión interna, pequeñas turbina a gas y energía fotovoltaica.

No existe una definición de GD universalmente aceptada. Se han formulado varias definiciones sobre la base de la ubicación en la red, el tipo de tecnología, la capacidad instalada, el impacto ambiental o la titularidad. A excepción de la primera (ubicación en la red), “ninguna de estas definiciones puede captar adecuadamente la variedad de centrales que quedarían subsumidas bajo el título de GD, ni tampoco proveen una descripción satisfactoria de sus características comunes” (Bauknecht & Brunekreeft, 2008).

Este trabajo adopta la definición de GD de la Oficina de los Mercados de Gas y Electricidad (OFGEM, 2002) del Reino Unido: “la generación de electricidad que está conectada a la red de distribución, en lugar de a la red de transmisión de alto voltaje”, como es el caso de la generación de las empresas de servicios públicos. La conexión de la GD a la red de distribución implica que está ubicada en las instalaciones del usuario o cerca de la carga que recibe el suministro. También implica que consiste en “generación típicamente más pequeña, como la generación renovable, incluidas pequeñas centrales de energía hidroeléctrica, eólica y solar y sistemas combinados de calor y electricidad (CHP) más pequeños” (OFGEM, 2002). Por último, significa que la GD no es autónoma sino que está conectada a la red.

Definir la GD sobre la base de su conexión a la red de distribución requiere, a su vez, definir la red de distribución.

Esto varía según el país, de acuerdo con el tamaño de su mercado energético. La definición podría basarse en un nivel máximo de voltaje para grandes y pequeños países, o simplemente referirse a lo que cada país defina como transmisión y distribución sobre la base del voltaje. Por ejemplo, México define las redes de distribución como aquellas con un voltaje de entre 2,4 kV y 34,5 kV (SENER, 2010a).

En función del tamaño del mercado y de las características de la red, puede variar la magnitud de la GD en distintos países. Un sistema con la misma capacidad instalada podría ser GD en un país y generación a escala de las empresas de servicios públicos en otro. Suponiendo que el voltaje de los sistemas de distribución alcanzara un máximo de 110 kV, la capacidad instalada máxima de las centrales de GD que podrían conectarse a esos sistemas estaría en el rango de 100 MW a 150 MW (Bauknecht & Brunekreeft, 2008). No obstante, en mercados más pequeños, el voltaje (y por lo tanto la capacidad instalada de GD) sería normalmente más baja.

Tabla 1. Los principales tipos de generación distribuida

	Pequeña escala		Escala comercial	
Conexión	Carga del usuario		Carga del usuario	Red de distribución
Venta de electricidad	Generación excedente		Toda la generación	Toda la generación
Sectores	Residencial, no residencial		No residencial	No residencial
Principales tecnologías de ER	Solar fotovoltaica, eólica, hidráulica		Cogeneración industrial (CHP)	Solar, eólica, hidroeléctrica, cogeneración con biomasa
Tamaño aproximado	Hasta 100 kW		Hasta 1 MW	Más de 1 MW

Fuente: Los principales tipos de generación distribuida

La GD a pequeña escala suele estar conectada a la carga del usuario y únicamente vende el excedente de generación después del consumo propio. Algunas veces (por ejemplo, en Barbados), una empresa de servicios públicos compra la totalidad de la electricidad generada por la GD a pequeña escala y la descuenta de las facturas de los clientes (utilizando la misma tarifa minorista o bien otra tarifa; Barbados utiliza una tarifa diferente sobre la base del costo evitado, como se detalla más adelante).

La GD a escala comercial suele estar conectada a la red de distribución y vende toda la electricidad de manera continua, sea como subproducto de procesos industriales (cogeneración industrial/ CHP, donde se captura el calor y se lo utiliza para generar electricidad que se vuelve a vender a la red a través de la conexión a la carga de los usuarios) o desde las centrales construidas específicamente para el suministro comercial de electricidad.

También muestra tecnologías típicas de GD renovable y el tamaño aproximado de las centrales para cada tipo. Sin embargo, dada la definición de GD que se ha adoptado aquí, los tipos de tecnología y la capacidad instalada probablemente serán distintos de acuerdo con cada contexto específico.

2.2 Definición de conceptos

2.2.1 Generales

2.2.1.1 Cambio Climático

"Por, cambio climático, se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos comparables"¹.

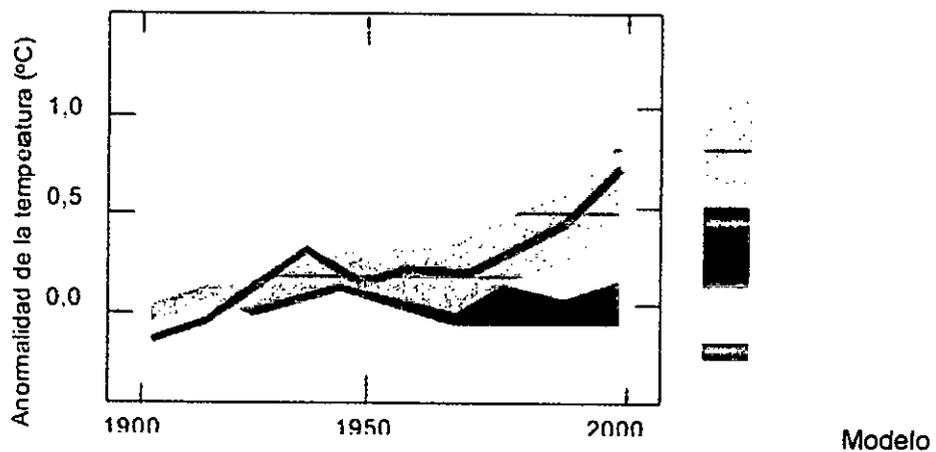
Otras definiciones de, cambio climático, que se utilizan son los términos estado del tiempo y clima indistintamente para referirse a una situación local y temporal corta (Schiffer & González-Macías, 2005). El concepto "estado del tiempo" sucede en la atmósfera en un lugar y tiempo particular, sin embargo cambia de hora a hora, de día a día, así el "clima" es el patrón promedio del "estado del tiempo" prevaleciente en una región, que puede ir desde meses a millones de años.

El clima es un fenómeno cambiante y siempre lo ha sido, debido a que el sistema climático de la tierra es dinámico, continuamente responde a las fuerzas tanto internas como externas, las cuales alteran los delicados balances que existen dentro y entre cada uno de sus componentes. A menudo estos cambios son relativamente pequeños en magnitud y cortos en duración, sin embargo, se puede encontrar evidencia en los corales, en los sedimentos de los lagos y mares, en las capas de hielo, inclusive en la

¹ Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático 1992; Artículo 1, párrafo 2.

vegetación, que tales fuerzas pueden causar mayores cambios climáticos y de mayor duración, a lo largo de la línea del tiempo, como por ejemplo cientos de miles de años o más, tales cambios han incluido el intercambio de las condiciones glaciares a interglaciares y viceversa (cambios que han causado la redistribución de la flora y fauna alrededor del planeta).

Figura 1. Aumento de la temperatura a nivel mundial periodo 1900-2000



resultado de las fuerzas naturales como el antropogénico.

Modelo resultado de las fuerzas naturales.

Observaciones

Fuente: «The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC» (IPCC, 2007).

Hace 8,000 años aproximadamente, los humanos comenzaron a interferir con estos procesos naturales y los efectos en el clima fueron generalmente locales (Bhatti, 2006). Sin embargo, durante el siglo XX, el crecimiento acelerado y el incremento de las sociedades industrializadas, han intervenido significativamente. En las últimas décadas han ocurrido

notables sucesos climatológicos, caracterizados por fenómenos de gran magnitud a escala mundial, estos sucesos climáticos, por ejemplo la temperatura, han sido consecuencia de la suma de los cambios tanto naturales como antropogénicos. (Ver Figura 1).

Los procesos que influyen en el cambio natural del clima principalmente son: La tectónica de placas, las erupciones volcánicas, las variaciones solares y los cambios en la órbita terrestre. Básicamente, el clima depende de la cantidad de energía solar que atrapa; de ahí que la evolución solar sea de capital importancia. Por otra parte, el movimiento de traslación de la tierra alrededor del sol es una trayectoria que se denomina órbita y que tiene forma de elipse. Tres factores relacionados con dicho movimiento influyen en el clima: Los ciclos de excentricidad, la precesión y la oblicuidad de la órbita. En 1930 fue el astrónomo Milánkovich quien propuso que existía una conexión entre estos eventos y las modificaciones climáticas.

2.2.1.2 Efecto invernadero

La atmósfera es una mezcla de gases y aerosoles en la que dominan principalmente el nitrógeno (78.1%) y el oxígeno (20.9%). Así como el pequeño porcentaje de otros constituyentes como el vapor de agua, ozono, dióxido de carbono, hidrógeno, neón, helio y kriptón. De manera natural, ciertos gases propios de la atmósfera son transparentes a la luz visible proveniente del espacio, pero opacos a la energía radiada desde la Tierra. Este fenómeno ha sido bautizado por los científicos como efecto invernadero natural (Schiffer & González-Macías, 2005), ya que los gases

mencionados atrapan el calor de manera similar a como lo hace el material transparente empleado en un invernadero botánico. (Ver Figura 2).

El efecto invernadero, es un fenómeno natural, que aumenta la temperatura media de la atmósfera de la Tierra en unos 15°C y permite, por lo tanto, que las condiciones climáticas sean lo suficientemente estables para que la vida pueda mantenerse. Si la tierra no tuviera atmósfera, dejaría escapar al espacio toda la radiación infrarroja emitida por ella, y, entonces la temperatura media sería del orden de -18 °C. Los aumentos en la concentración de los llamados gases de efecto invernadero reducen la eficiencia con la cual la Tierra remite la energía recibida. Parte de la radiación saliente de onda larga emitida por la Tierra al espacio es remitida a la superficie por la presencia de esos gases. Así la temperatura de superficie se elevará para emitir más energía, y aunque parte de ella quede atrapada, suficiente energía saldrá al espacio para alcanzar el balance radiactivo que mantiene relativamente estable el clima. Es claro, si las concentraciones de gases de efecto invernadero continúan aumentando, la temperatura de superficie del planeta mantendrá una tendencia positiva. Aún si las emisiones de estos gases se estabilizan, los efectos del calentamiento perdurarán por muchos años en la atmósfera.

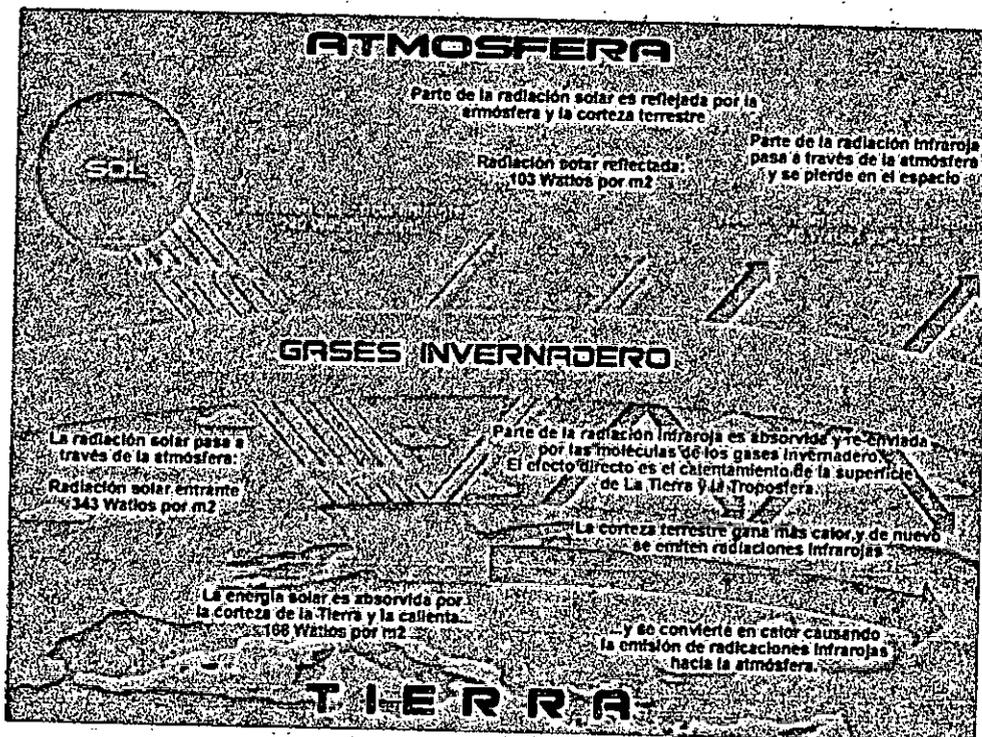
Por otro lado los aerosoles emitidos a la troposfera, como aquellos producidos por las industrias o por la quema de bosques, pueden reflejar radiación solar, constituyéndose en un forzante radiactivo negativo que tiende a enfriar el sistema climático.

2.2.1.3 Gases de efecto invernadero

En general, están constituidos por tres o más átomos; los que forman moléculas biatómicas (como el O_2 y el N_2), o monoatómicas. Los más importantes son el vapor de agua (H_2O), el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y otros como el NO_x y los CFCs (Duarte, 2006). Ver Figura 3 la evolución de gases de efecto invernadero y aerosoles.

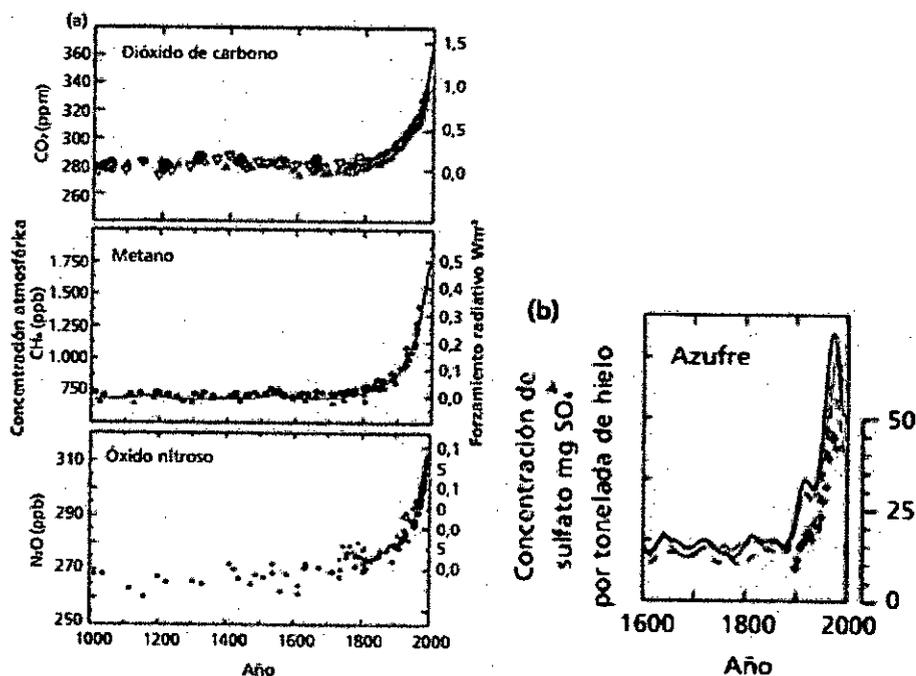
Se deben considerar dos características importantes para estimar el efecto invernadero de los gases:

Figura 2. El efecto invernadero y el calentamiento global.



Fuente: <http://googlebiology.wordpress.com>

Figura 3. Evolución de (a) gases de efecto invernadero y (b) aerosoles.



Fuente: "Cambio global." Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra. (Duarte, 2006).

a) El forzamiento radiactivo

Se entiende como aquel cambio en el balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la Tierra (se expresa en Watts por metro cuadrado. W/m^2), debido, por ejemplo, a una alteración en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, o a cambios en la energía solar que incide en el planeta. Se estima que en el periodo comprendido entre 1700 y 2000, este forzamiento atribuido al aumento de los gases de efecto invernadero en su conjunto, ha alcanzado el valor de $2.43 Wm^{-2}$: $1.46 Wm^{-2}$ debido al CO_2 ; $0.48 Wm^{-2}$ debido al CH_4 ; $0.34 Wm^{-2}$ debido a los halocarbonos. y $0.15 Wm^{-2}$ debido al N_2O (IPCC. 2001). El

Grupo de Trabajo I del IPCC estableció que el agotamiento observado en la capa de ozono estratosférico en dicho periodo, ha causado un forzamiento radiactivo negativo (-0.15 Wm^{-2}). Al suponer que se cumple con toda la reglamentación actual sobre los halocarbonos, su forzamiento positivo se verá reducido en la misma proporción que el forzamiento radiactivo negativo causado por el agotamiento del ozono estratosférico, cuando la capa de ozono se recupere.

Se calcula que la cantidad total de ozono en la troposfera ha aumentado en 36% desde el periodo previo a la industrialización a causa particularmente de las emisiones antropogénicas de diversos gases que forman ozono. El forzamiento radiactivo del ozono varía de manera considerable entre regiones y responde mucho más rápidamente a los cambios en las emisiones que aquellos gases de efecto invernadero con un tiempo de vida grande en la atmósfera.

b) Potencial de calentamiento global (PCG)

Este factor está considerado como representativo de la medida cuantitativa de los impactos relativos promediados globalmente del forzamiento radiactivo de un gas particular. Se define como: «el forzamiento radiactivo acumulado de las emisiones de una masa unitaria de gas en relación con un gas de referencia (CO₂), considerando tanto los efectos directos como de los indirectos, en un horizonte de tiempo especificado» (IPCC, 1996). Los efectos directos se presentan cuando el gas en sí es un gas de efecto invernadero; el forzamiento radiactivo indirecto se presenta cuando las

transformaciones químicas que involucran al gas original, producen un gas o gases que son de efecto invernadero, o cuando un gas afecta los tiempos de vida de otros gases en la atmósfera. El gas de referencia es el dióxido de carbono, por lo que las emisiones son ponderadas por el potencial de calentamiento global (PCG); se miden en Tera gramos de equivalentes de dióxido de carbono. La expresión utilizada para este cálculo es la siguiente:

$$\text{TgCO}_2 \text{ eq} = \text{Gg de gas} * \text{PCG}/1000$$

Dónde: TgCO₂ eq Se refiere a los Tera gramos de equivalentes de dióxido de carbono.

Gg: Se refiere a los Giga gramos (mil toneladas métricas) del gas estudiado.

PCG: Siglas del Potencial de Calentamiento Global del gas estudiado.

1/1000: Es el factor de conversión de Giga gramos a Tera gramos.

Los valores del PCG permiten a los planificadores de políticas comparar los impactos de las emisiones y las reducciones de estas de los diferente, gases. Según el IPCC, los PCG tienen típicamente una incertidumbre de ±35%. En la Tabla 2 se muestran algunos PCG para diversos gases. Las Partes de la CMNUCC están de acuerdo también en usar los PCG basados en un horizonte de tiempo de 100 años (Albritton, 2001).

Hay otros gases que no tienen un efecto directo de forzamiento radiativo. pero influyen en la formación y destrucción del ozono, el cual tiene un efecto absorbente de la radiación terrestre. Estos gases son referidos como

precursores del ozono e incluyen monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NOx) y compuestos orgánicos volátiles diferentes al metano (COVNM). Los aerosoles son partículas o gotas de líquido extremadamente pequeñas que con frecuencia se producen por las emisiones de bióxido de azufre y otros contaminantes. Éstos también pueden afectar las características de absorción de la radiación infrarroja en la atmosfera. En los párrafos siguientes se dará una descripción de los gases de efecto invernadero directo e indirecto, sus fuentes y su papel en la atmósfera.

Tabla 2. Potenciales de calentamiento global (diversos horizontes de tiempo)

Gas	Tiempo de vida (años)	PCG horizonte a 20 años	PCG horizonte a 100 años	PCG horizonte a 500 años
CO ₂		1	1	1
CH ₄	120	62	23	7
N ₂ O	114	275	296	156
Clorofluorocarbonos				
CFC-11	55	4,500	3,400	1,400
CFC-12	116	7,100	7,100	4,100
CFC-115	550	5,500	7,000	8,500
Hidrofluorocarburos				
HFC-23	260	9,400	12,000	10,000
HFC-32	5	18	550	8,900
Fluorados				
CF ₄	50,000	3,900	5,700	8,900
C ₂ F ₆	10,000	8,000	11,900	18,900

Fuente: La tierra tiene fiebre (Schiffer & González-Macías, 2005)

- **Dióxido de carbono**

En la naturaleza, billones de toneladas de carbono en forma de CO₂, son emitidas a la atmósfera anualmente por medio de los procesos naturales

(fuentes) y son absorbidas por los océanos y la biomasa viviente (reservorios). Los flujos continuos más grandes ocurren entre la atmósfera y la biosfera terrestre y entre la atmósfera y el agua de la superficie de los océanos. En la atmósfera, el carbono existe predominantemente en forma oxidada: el dióxido de carbono. Este gas forma parte del ciclo global del carbono, por lo que su destino es una función compleja de diversos procesos geoquímicos y biológicos. El tiempo de vida del CO₂ en la atmósfera es de 5 a 200 años.

Las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera se incrementaron de 280 partes por millón en volumen (ppmv), en los tiempos previos a la industrialización (1700) a 377 ppm en 2000. El IPCC ha establecido que no hay duda alguna en que este incremento se debe en gran medida a las actividades humanas, particularmente aquellas relacionadas con la combustión de los energéticos fósiles, la deforestación y otros procesos de quema de biomasa, así como al consumo de energía, como es la producción de cemento, los cuales también emiten cantidades notables de dióxido de carbono. Si consideramos la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera antes de la revolución industrial, y lo confrontamos con el valor de hoy en día, se puede constatar que el segundo es superior en el orden del 25 %, nivel que jamás se había alcanzado en los últimos 160'000 años (Schiffer & González-Macías, 2005).

El CO₂ es el gas de efecto invernadero, con un forzamiento radiativo actual de 1.46 W/m², que representa 60% del total de los cambios en las

concentraciones de todos los gases de efecto invernadero, muy resistentes, mezcladas de manera homogénea en todo el planeta (Albritton, 2001).

En el 2006 los países que más CO₂ emitieron por quema de combustibles fósiles fueron: China, Estados Unidos, Rusia, India, Japón. En la Figura 4 se muestra la contribución de los principales países emisores de CO₂. En ese año, los 5 primeros países emitieron poco más del 55% del total mundial.

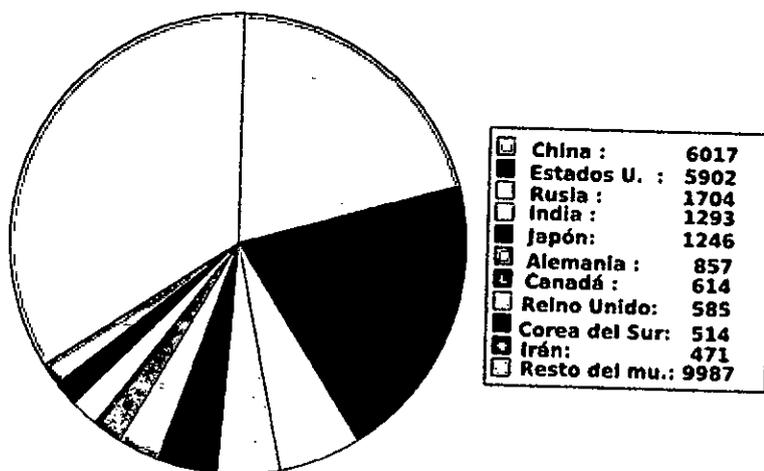
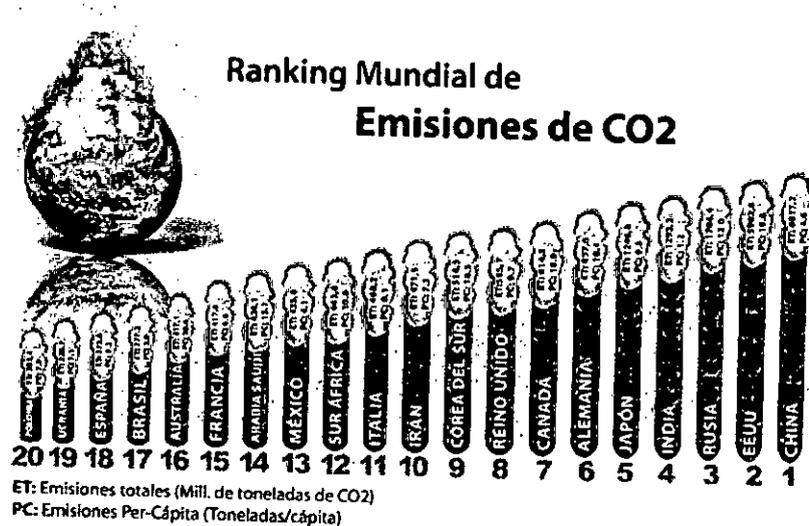
- **Metano**

El metano (CH₄) se produce fundamentalmente por la descomposición anaerobia de la materia orgánica en los sistemas biológicos. Los procesos agrícolas como el cultivo del arroz inundado en agua, la fermentación entérica en los animales y la descomposición de los desechos de éstos, emiten metano, al igual que lo hace la descomposición de los desechos municipales. La Figura 5 muestra la contribución relativa de las diferentes fuentes naturales de emisión, en el año 2001, las zonas pantanosas contribuyen aproximadamente con emisiones equivalentes a 145 Tg por año, generados por la descomposición bacteriana de la materia orgánica, en ausencia de oxígeno (Schiffer & González-Macías, 2005).

Por otra parte, las emisiones producidas por las termitas ascienden a unos 20 Tg por año. Las termitas liberan metano por su proceso digestivo. Se calcula por otro lado que los océanos contribuyen unos 15 Tg anuales de metano por la degradación anaerobia del plancton marino y los peces.

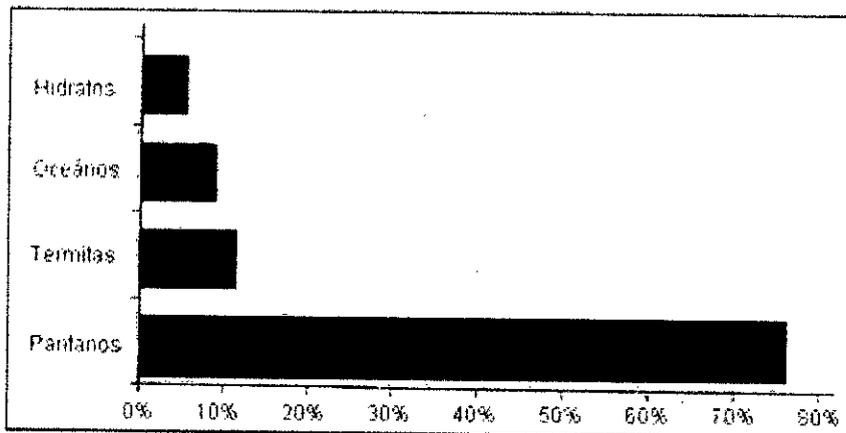
Adicionalmente otra fuente importante de producción del gas son los hidratos de metano 10 Tg por año, depositados en los fondos marinos.

Figura 4. Emisiones totales de CO2 en el 2006



Fuente: Energy Emission Administration, Datos del banco mundial 2006.

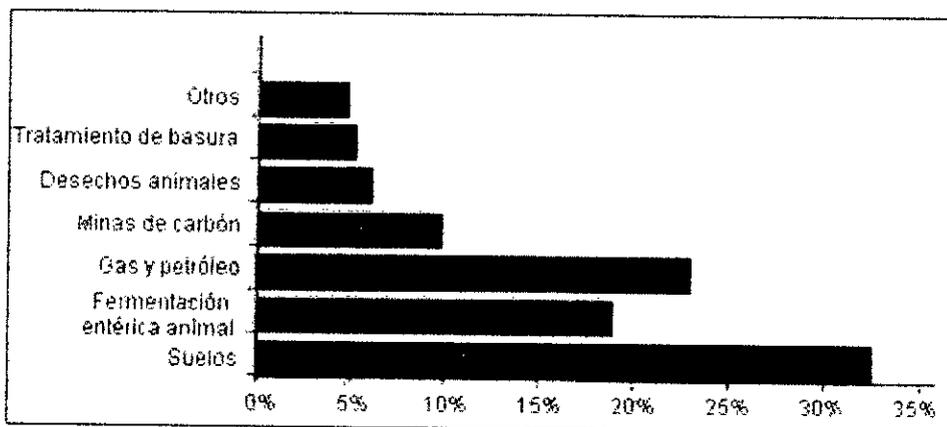
Figura 5. Fuentes naturales de metano.



Fuente: La tierra tiene fiebre. (Schiffer & González-Macías, 2005).

La Figura 6 muestra también la contribución de las actividades del hombre, siendo una muy importante la contaminación generada por la descomposición bacteriana de residuos orgánicos presentes en rellenos sanitarios, ya sea confinados o a cielo abierto. La segunda fuente de emisión de metano la representa la extracción, el procesamiento y la distribución del gas para consumo como combustible.

Figura 6. Metano proveniente de las actividades del hombre.



Fuente: La tierra tiene fiebre. (Schiffer & González-Macías, 2005)

El metano también se emite durante la producción y distribución del gas natural y del petróleo, y es liberado como subproducto en la extracción del carbón y en la combustión incompleta de los energéticos fósiles. La concentración media global de metano en la atmósfera en el 2000 fue de 1.729 partes por mil millones en volumen (ppmm), mostrando un incremento de 145% en relación con la concentración existente en el periodo previo a la industrialización, 700 ppmm. (IPCC, 1996). En 1998, la concentración atmosférica era de 1,745 ppmm, con una tasa de cambio en la concentración de 7.0 partes por billón anual (Figura 7).

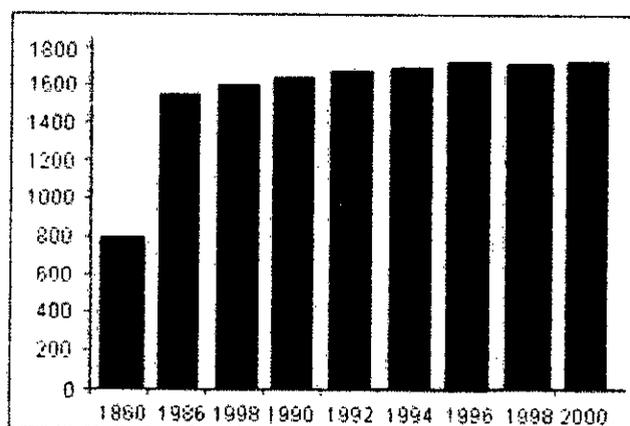
El metano tiene un tiempo de vida de 12 años y es eliminado de la atmósfera por reacciones químicas. Se estima que de 60 a 80% de las emisiones actuales de metano provienen de las actividades antropogénicas. Los modelos proyectan cambios en la concentración de metano en la atmósfera entre los años 1998 y 2100, que oscilan entre -90 y +1970 partes por billón en volumen; es decir, una variación entre -11 % y +112 % de la concentración registrada en el periodo previo a la industrialización (IPCC, 2001).

- **Oxido nitroso**

El ciclo del nitrógeno es muy complejo, en parte porque existe en muchas formas químicas, como nitrógeno orgánico, NO_3 , NH_4 , gases como el N_2 , N_2O , NO , NO_2 . Parte del nitrógeno gaseoso se convierte en los suelos y las aguas en amoníaco (NH_3), amonio, (NH_4) y muchos otros compuestos

nitrogenados. El proceso se conoce como fijación del nitrógeno, y en ausencia de fertilizantes industriales es la fuente principal de nitrógeno de los seres vivos. Una vez que ha sido fijado en los sistemas acuáticos o terrestres, puede seguir dos caminos diferentes: Se puede oxidar y entonces provee energía durante el proceso de nitrificación o es asimilado por los organismos. Las plantas, una vez que lo han asimilado, lo emplean para producir aminoácidos y proteínas; después retoma a la atmósfera mediante el proceso de desnitrificación, cuando las plantas sirven de alimento o mueren. En este proceso, además de liberarse el nitrógeno, se produce óxido nitroso en cantidades menores. De manera global se estima que los suelos tropicales (principalmente bosques húmedos), producen anualmente unos 6.3 Tg del gas al tiempo que los océanos añaden otros 4.7 Tg a la atmósfera.

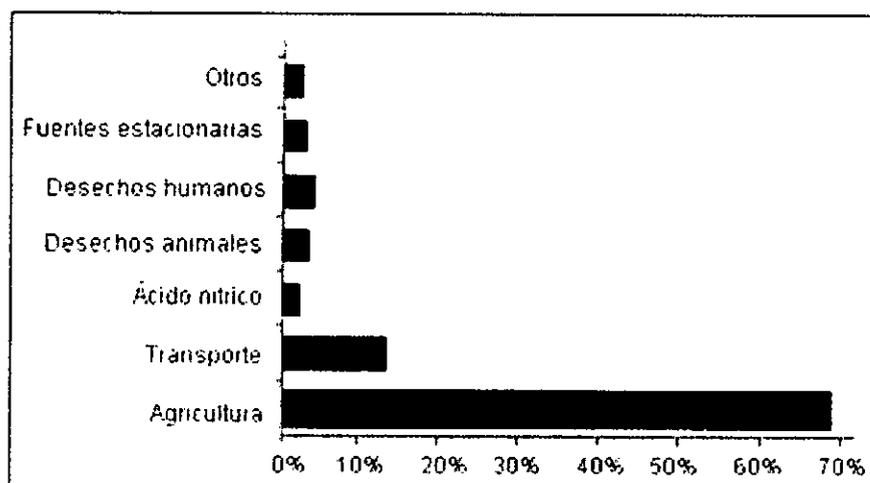
Figura 7. Evolución de la concentración anual promedio del metano



Fuente: La tierra tiene fiebre. (Schiffer & González-Macias, 2005).

Estas dos fuentes de emisiones representan el 70 % del total contabilizado para las fuentes naturales. La Figura 8 contabiliza la contribución porcentual de las emisiones antropogénicas por tipo de actividad, de las cuales las actividades agrícolas representan la mayoría del gas. Los suelos agrícolas, especialmente aquellos que utilizan fertilizantes sintéticos y abonos; la combustión de energéticos fósiles, especialmente en vehículos; la producción de ácidos adípico y nítrico, el tratamiento de aguas residuales, la combustión de desechos y la quema de biomasa, son las fuentes antropogénicas emisoras del óxido nitroso (N₂O).

Figura 8. Emisiones de N₂O de las actividades humanas



Fuente: La tierra tiene fiebre. (Schiffer & González-Macias, 2005).

La concentración en la atmósfera de N₂O en el periodo previo a la industrialización era de 270 ppmm. En 1994, la cifra fue de 312 ppmm; es decir, un incremento de 13% atribuido a las actividades antropogénicas (IPCC, 1996), y en 1998 la concentración atmosférica era de 314 ppmm. El tiempo de vida del N₂O en la atmósfera es de 114 años y una tasa de

cambio en la concentración de 0.8 partes por billón en volumen. Su remoción de la atmósfera se realiza fundamentalmente por medio de la acción fotolítica de la luz solar en la estratosfera. El forzamiento radiativo se estima en 0.15 W/m^2 , equivalente al 6% del total de todos los gases de efecto invernadero (Albritton, 2001).

El N_2O es un buen ejemplo de la interacción que existe entre las medidas de control que se instrumentan para reducir la contaminación local y su impacto en el cambio climático. La introducción de convertidores catalíticos en los vehículos motorizados, por una parte ayuda a reducir las emisiones de los precursores de ozono. Por otra parte, sin embargo, causa un aumento en las emisiones de óxido nitroso. Los modelos proyectan cambios en la concentración de N_2O en la atmósfera entre los años de 1998 y 2100, que oscilan entre +38 y + 144 ppm; es decir, una variación de entre +12% y +46% de la concentración registrada en el periodo previo a la industrialización (IPCC, 2001).

2.2.2 Fuentes de energía

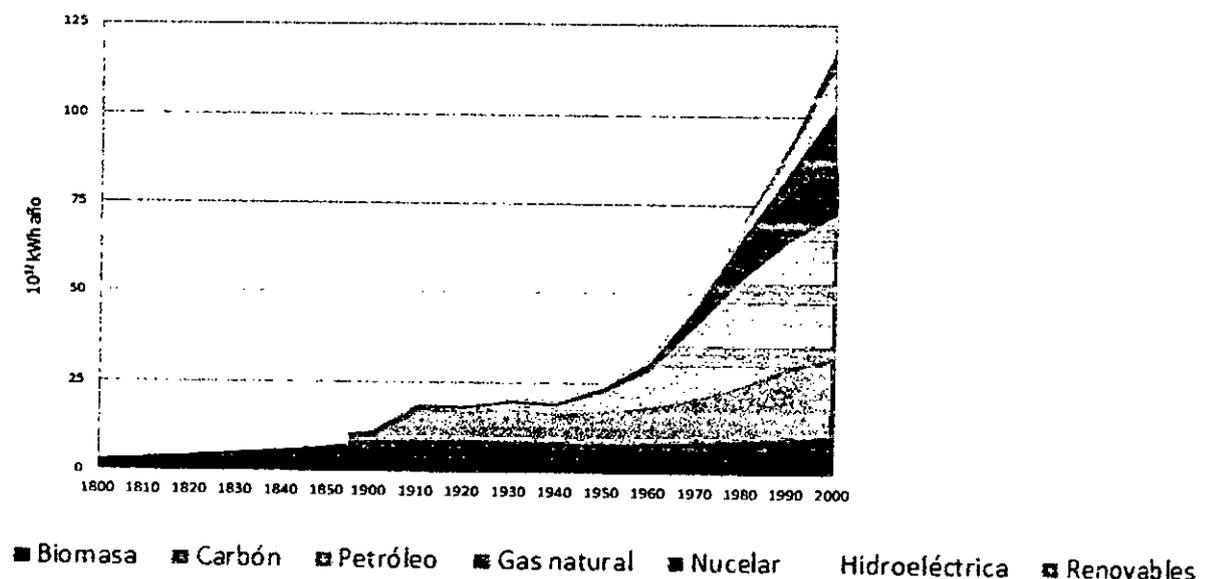
Las fuentes de energía se definen como "los recursos existentes en la naturaleza de los que la humanidad puede obtener energía utilizable en sus actividades" (Meléndez, 2008). A su vez, estas fuentes de energía, tienen su origen en las fuentes no renovables y renovables, esto de acuerdo al ritmo de consumo de energía que el ser humano requiere. Sin embargo, en la actualidad algunos problemas relacionados con el desarrollo económico mundial son concernientes con la capacidad energética de cada país.

Existen diferentes fuentes de energía, las cuales se pueden clasificar en dos grandes grupos:

a) Fuentes no-renovables: las cuales están disponibles en cantidades limitadas y se agotan por su uso, como los combustibles fósiles (carbón mineral, petróleo, gas natural). Estas tienen la característica de que, una vez utilizadas para la generación de energía, no se pueden volver a usar.

b) Fuentes renovables: son todas aquellas que no se agotan por su uso, como la energía del viento y del sol. El agua y la biomasa también se incluyen en esta categoría, aunque son renovables bajo la condición de que la fuente se maneje en forma apropiada.

Figura 9. Evolución del consumo energético mundial según el tipo de fuente.



Fuente: Elaboración propia - datos, <http://www.theoilrum.com>

2.2.2.1 Energías no renovables

Las energías no renovables se refieren a aquellas fuentes de energía que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada y, una vez consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse, debido a que no existe un sistema de producción o extracción viable, la producción desde otras fuentes demasiado pequeñas como para resultar útil a corto plazo. A estas fuentes de energía corresponden los combustibles fósiles y los combustibles nucleares.

- **Combustibles fósiles.**

La combustión de algunos materiales (carbón, petróleo y gas natural, por ejemplo) suministra a las personas una gran cantidad de energía para realizar actividades tecnológicas. El carbón y, más tarde, el petróleo, han sido los combustibles más empleados debido a la gran cantidad de energía proporcionada durante su combustión (Roldán, 2008). La dependencia de la utilización de fuentes de combustibles fósiles en el mundo se muestra en la Figura 9.

Por su parte, el carbón es el combustible fósil de más abundancia en el mundo. Se utiliza para la generación de electricidad, la cual ocurre cuando la energía guardada en el carbón se libera y emite calor. Sin embargo, el petróleo es el recurso de energía más popular en el mundo. Por otro lado, el gas natural es el más limpio de los combustibles fósiles y el que menos efectos causa sobre el ambiente y la salud (Del Sol & Cabrera, 2008).

El uso de estos combustibles puede realizarse de manera directa, quemándolo para producir energía térmica y energía mecánica, así como para la obtención de potencia eléctrica. Dentro de las ventajas que ofrecen el uso de estos combustibles se encuentran la facilidad de su uso, la disponibilidad, etcétera. Por otra parte, algunos de los inconvenientes principales son el no ser un recurso renovable y que su uso produce la emisión de gases que contaminan la atmósfera y resultan tóxicos para la vida.

- **La energía nuclear.**

Los combustibles nucleares son todos aquellos elementos químicos capaces de producir energía por fisión nuclear. La energía nuclear permite obtener una gran cantidad de energía a partir de poco combustible (obtenida del uranio y del plutonio, principalmente). Una de las ventajas que se deriva de esta fuente se encuentra la nula generación de emisiones de gases de efecto invernadero. Por otra parte, dentro de los inconvenientes se menciona la dificultad para su almacenamiento, y gestión de desechos, con lo cual se limita su uso (Sánchez, 1996).

Ante la crisis que amenaza al mundo por los elevados precios de los combustibles fósiles, la única respuesta viable a largo plazo, aseguran los expertos, consiste en desarrollar la tecnología necesaria para aprovechar otras fuentes de energía. La utilización de fuentes renovables es una

alternativa frente a los combustibles fósiles. La energía nuclear es cuestionada actualmente, esta genera temor debido a las catástrofes de plantas nucleares como es el caso de Chernóbil (1986) y Fukushima (2011) (Onishi, 2014). Fukushima, hizo que el mundo entero repensara la generación energética mediante plantas nucleares, inclinándose a las nuevas energías renovables. Pese al daño, al miedo, a los riesgos y a los altos costos que implica su desarrollo en el mundo, hoy en día siguen funcionando 438 plantas.

2.2.2.2 Energías renovables

Las fuentes de energía renovable, son aquellas que por sus características se convierte en inagotable, aunque sea intermitente su disponibilidad, y su aprovechamiento no causa alteraciones graves al medio ambiente. Este tipo de energía, se define como aquella que administrada en forma adecuada, puede explotarse ilimitadamente, es decir, su cantidad disponible no disminuye a medida que se aprovecha.

Estos tipos de energías, destacan principalmente por su naturaleza inagotable (renovable), además de ser limpias. Estas son una alternativa a la actual dependencia de combustibles fósiles (referencia).

Existen varias fuentes de energía renovables, de las cuales se pueden mencionar: (i) Energía geotérmica, (ii) energía eólica, (iii) energía de la

biomasa, (iv) energía solar, (v) energía hidráulica y (vi) la energía mareomotriz.

2.2.3 Energía de la biomasa

La energía de la biomasa en sus distintas formas se puede aprovechar en aplicaciones térmicas, para la generación de electricidad o para la producción de biocombustibles líquidos para transporte. Por lo que se refiere a las aplicaciones térmicas, las tecnologías más usadas en el Perú son los fogones tradicionales de leña, utilizados para cocción y para calefacción en viviendas rurales y de pequeñas ciudades. Asimismo, la leña se utiliza en microempresas y en pequeñas industrias para la producción de cerámica, ladrillos, pan y otros productos. En las últimas décadas se han desarrollado distintos modelos de estufas y hornos de leña mejorados con el fin de reducir los impactos en la salud que provoca el humo de los fogones tradicionales, así como reducir el consumo de leña.

2.2.3.1 Cultivos energéticos

Los cultivos con fines energéticos y no para alimentación van en aumento. En Suecia y en Finlandia se cultivan árboles de sauce con fines energéticos. En Suecia más de 15'000 ha de sauce han sido cultivados para bastecer la madera para la combustión dual en las plantas de ciclo combinado y calefacción urbana. En Finlandia, cerca de 16'000 ha de pastura perenne ha sido cultivado para fines similares. El rendimiento de los cultivos es sumamente dependiente de las condiciones climáticas locales, y tipos de

suelo, donde el rendimiento de cultivo promedio es cercano a las 10 a 12 toneladas de materia seca por hectárea por año y su rendimiento energético es típicamente de 180 a 220 GJ/ha.

El uso al que se disponga la biomasa también afecta a la energía que puede obtenerse de la misma. Cultivando 1 millón de hectáreas de cultivos energéticos daría un potencial de energía primaria de cerca de 200 a 250 PJ/año para calor y generación eléctrica, desarrollando los cultivos con la misma superficie, para fines de conversión de combustibles líquidos para transporte, daría menos rendimientos energéticos, por ejemplo, cerca de 30 a 50 PJ/año si la semilla de colza es cultivada para biodiesel, o de 90 a 120 GJ/ha si se desarrollan cultivos de pastos o bosques de cultivo rápido, para biocombustibles de segunda generación.

- **Abastecimiento y demanda de la biomasa**

La perspectiva sobre el abastecimiento y demanda del futuro de la biomasa varía ampliamente. El objetivo de la biomasa para hacer contribuciones significantes a gran escala a la energía primaria en los próximos 30 a 40 años, está sujeta a la producción sostenible, a la mejora de la eficiencia de la cadena de abastecimiento, al desarrollo exitoso y utilización de tecnologías termoquímicas nuevas y a la mejora de tecnologías de conversión bioquímicas (por ejemplo, la digestión anaerobia y las plantas de fermentación para la producción de etanol).

La demanda de grandes volúmenes de biomasa sólida será en parte, desplazada por combustibles líquidos más convenientes o por el uso de otras fuentes energéticas, particularmente por la gente que se encuentra en migración de las áreas rurales a las ciudades. La mayor respuesta de la mejora en los diseños de estufas para cocinar, las plantas de biogás en las comunidades, motores de combustión externa para ciclo combinado. Nuevas propuestas, tales como la combustión dual de combustibles fósiles con biomasa con captura y almacenamiento de carbono o fomentando la absorción de carbono, pueden contribuir a la reducción global de emisiones de CO₂

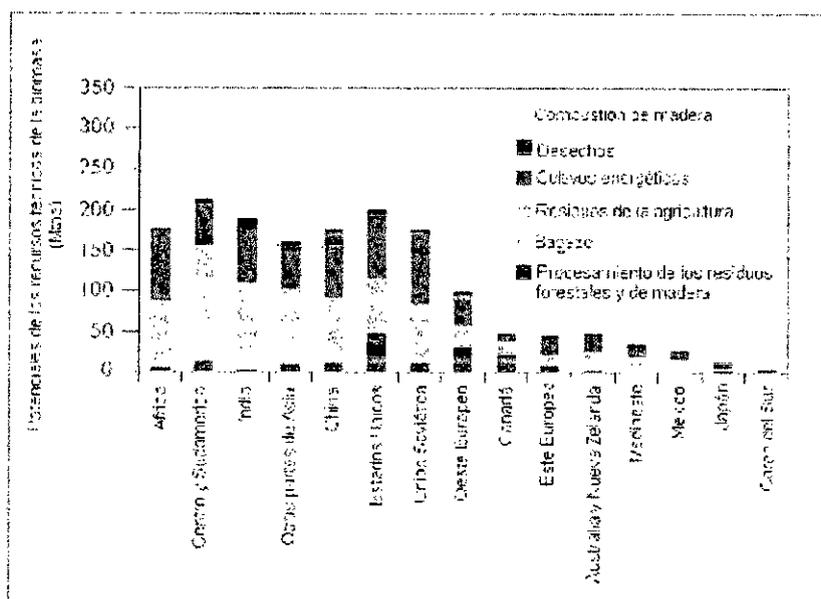
- **Biomasa por regiones**

Debido a las diversas perspectivas, concernientes a la disponibilidad de tierra y los rendimientos de los cultivos, requerimientos ambientales, y la disponibilidad futura de la biomasa proveniente de la biomasa, y residuos de cultivos, se estima que los recursos de la energía de la biomasa que pueden ser producidos sosteniblemente desde la basura, cultivos energéticos, la agricultura, bosques y residuos industriales, según la IPCC dicha producción se estimaría de 125 EJ hasta 760 EJ para el 2050 (IPCC, 2007).

La IEA estima que para el 2050, más de 100 EJ/año de biomasa podría ser abastecida por los residuos de la agricultura y desperdicios, dentro de los

costos aproximados de \$2usd a \$3usd por GJ. dependiendo del tipo de fuente y distancia del transporte. Adicionalmente 125 EJ/año de biomasa podrían venir de árboles perennes de alto rendimiento si crecieran eficientemente a costos desde los \$3usd/GJ a \$5usd/GJ aproximadamente. Un análisis regional por VTT Technical Research Centre of Finland (VTT, 2007), proyecta un potencial moderado de 83 EJ/año. El reporte de VTT estima que los residuos de la agricultura y silvicultura y desperdicios serán los tipos más competitivos en cuestión de costos de las opciones de biomasa, con solamente cerca del 30% del total de la bioenergía proveniente de cultivos energéticos especiales (Figura 10).

Figura 10. Potenciales de los recursos técnicos de la biomasa al año 2050



Fuente: (VTT, 2007)

2.2.3.2 Cultivos comodín y los biocombustibles

- **Cultivos comodines**

Los cultivos comodines, son productos agrícolas, que pueden ser utilizados con fines (i) alimentación para los humanos, (ii) los animales y (iii) también como biocarburantes (Borras, Franco, Kay, & Spoor, 2011) . Este tipo de cultivos son fácilmente intercambiables entre estos diferentes fines (alimentarios y no alimentarios), y esto en función de las necesidades de los diferentes mercados. La soya, el aceite de palma, colza, la caña de azúcar, el maíz por ejemplo son cultivos comodines.

- **Biocombustibles**

Las motivaciones que han impulsado a las diversas naciones a desarrollar la industria de la energía y en particular de los biocombustibles pueden sintetizarse en tres grupos: (i) desarrollo agrícola, (ii) reducción de emisiones de gases con efecto invernadero (Protocolo de Kyoto) y (iii) seguridad energética.

Uno de los bioenergéticos que ha cobrado mayor auge en los últimos años a nivel mundial es el etanol. El etanol obtenido a base maíz, el etanol obtenido por caña de azúcar, y el biodiesel son los mercados de biocombustibles primarios, aunque otros como el biogás para transporte, y otras formas de etanol son también importantes. El maíz participa con más

de la mitad de producción mundial de etanol, y la caña de azúcar con poco más de un tercio. Los Estados Unidos y Brasil, participan con más del 90% de la producción mundial de etanol. Para finales de 2009 se produjeron 76 mil millones de litros de etanol, el 52% de éste se produce a base de maíz en Estados Unidos y un 37% a base de caña de azúcar en Brasil (REN21, 2010).

Tabla 3. Los 5 países de mayor producción de bioetanol y biodiesel 2008-2009

Producción anual etanol	Miles de millones de litros al año				
	EE. UU	Brasil	China	Canadá	Francia
2008	34.65	26.68	1.96	0.93	0.97
2009	40.83	25.74	2.1	1.07	1.23
Producción anual biodiésel	Francia	Alemania	EE. UU	Brasil	Argentina
2008	1.96	2.34	2.52	1.14	0.87
2009	3.53	2.93	1.88	1.58	1.32

Fuente: (REN21, 2010; IEA, 2009b)

El biodiesel en cambio, se obtiene en Europa, en su mayor parte, de cultivos oleaginosos como colza, soya, canola y girasol. Europa acapara el 90% del mercado del biodiesel en el mundo. Alemania ocupa el primer lugar en producción y demanda de este biocombustible, hecho a base de canola. Se espera que la producción mundial en los próximos tres años se incremente aproximadamente en un 30%. En la Tabla 3 se muestran los productores

mayoritarios de biodiesel y bioetanol en los años 2008 y 2009. En 2009, la producción mundial de bioetanol fue de 76 billones de litros, lo que indica un incremento del 10% sobre el 2008.

2.2.4 Técnicos

2.2.4.1 Generación distribuida

No existe consenso, a nivel mundial ni europeo, sobre qué es exactamente la Generación Distribuida (GD), puesto que son múltiples los factores que se afectan a su definición: tecnologías empleadas, límite de potencia, conexión a red, etc.

El DPCA (Distribution Power Coalition of América) la define como, cualquier tecnología de generación a pequeña escala que proporciona electricidad en puntos más cercanos al consumidor que la generación centralizada y que se puede conectar directamente al consumidor o a la red de transporte o distribución. Por lo otro lado, la agencia Internacional de la energía (IEA, International Energy Agency) considera como GD, únicamente, la que se conecta a la red de distribución en baja tensión y la asocia a tecnologías como los motores, mini y micro turbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica.

Se trata pues de un campo de actuación en el que se intentan aprovechar algunas nuevas tecnologías para acercar la producción de energía, electricidad y calor, al consumidor. Su definición se basa en la generación

de energía cercana del punto de consumo, pero no implica el uso de una tecnología en particular.

Asimismo, existe una cierta disparidad de criterios a la hora de establecer el límite de potencia para la GD. El Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos establece unos límites que van desde 1 kW hasta decenas de MW. En España, el Régimen Especial contempla un límite máximo de potencia de 50 MW. EscoVale Consultancy, prestigiosa consultoría del Reino Unido, amplía el rango de potencias hasta 100 MW, limitando a 10 MW la potencia máxima para instalaciones basadas en fuentes de energías renovables.

Considerando diversos rangos de potencia se habla de microgeneración para instalaciones de potencia inferior a 5 kW, minigeneración entre 5 kW a 5 MW, generación de media y gran escala para sistemas cuya potencia entre 5 MW a 50 MW y 50 MW a 100 MW respectivamente.

Las aplicaciones de la GD van desde la generación en base, generación en punta, cogeneración, hasta la mejora de la calidad de suministro, respaldo y soporte a la red de transporte y distribución eléctrica. Ninguna tecnología abarca todo el rango de beneficios por sí misma, sino que cada una se ajusta mejor a unas aplicaciones que a otras.

2.2.4.2 Redes eléctrica

Una red eléctrica es una red interconectada que tiene el propósito de suministrar electricidad desde los proveedores hasta los consumidores.

Consiste de tres componentes principales, las plantas generadoras que producen electricidad de combustibles fósiles (carbón, gas natural, biomasa) o combustibles no fósiles (eólica, solar, nuclear, hidráulica); Las líneas de transmisión que llevan la electricidad de las plantas generadoras a los centros de demanda y los transformadores que reducen el voltaje para que las líneas de distribución puedan entregarle energía al consumidor final.

En la industria de la energía eléctrica, la red eléctrica es un término usado para definir una red de electricidad que realizan estas tres operaciones:

Generación de electricidad: Las plantas generadoras están por lo general localizadas cerca de una fuente de agua, y alejadas de áreas pobladas. Por lo general son muy grandes, para aprovecharse de la economía de escala. La energía eléctrica generada se le incrementa su tensión la cual se va a conectar con la red de transmisión.

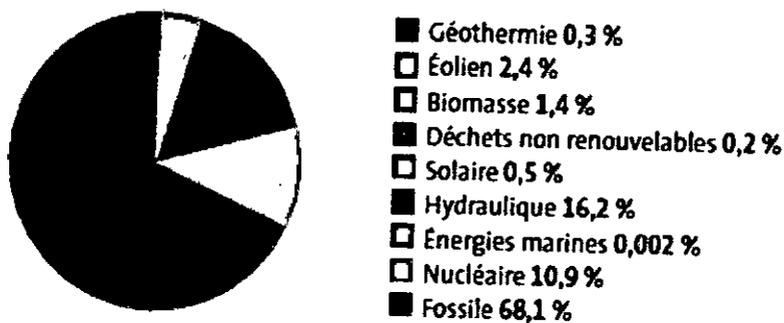
Transmisión de electricidad: La red de transmisión transportará la energía a grandes distancias, hasta que llegue al consumidor final (Por lo general la compañía que es dueña de la red local de distribución).

Distribución de electricidad: Al llegar a la subestación, la energía llegará a una tensión más baja. Al salir de la subestación, entra a la instalación de distribución. Finalmente al llegar al punto de servicio, la tensión se vuelve a bajar del voltaje de distribución al voltaje de servicio requerido.

2.3 La Producción de electricidad en el mundo

La electricidad de origen renovable alcanzó 4'699,2 TWh en 2012 en el mundo, pasando claramente el umbral del 20% de la producción mundial de electricidad (20,8%). Los combustibles fósiles siguen siendo el núcleo fuerte de la electricidad del mundo, con más de dos tercios del total (68,1% en 2012), y un poco más de un 10,9% es nuclear. El 0,2% restante es proporcionado por la combustión de los residuos calificados no renovables. (Ver Figura 11)

Figura 11. Estructura de la producción eléctrica - 2012.

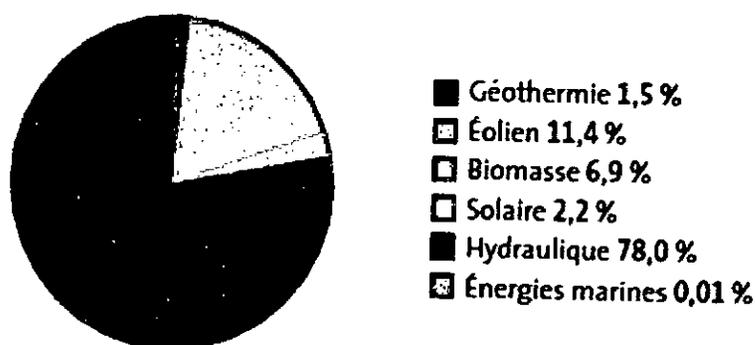


Fuente: "La producción de electricidad de origen renovable", (Observ.E.R., 2013).

Electricidad renovable proviene de seis fuentes diferentes. (i) Las centrales hidroeléctricas, con una contribución del 78%. (ii) La energía eólica, que desde 2009 se ha convertido en la segunda fuente de energía renovable, que ahora representa el 11,4% del total de fuentes renovables. (iii) La energía de la biomasa, que incluye la biomasa sólida, la biomasa líquida, el biogás y los residuos domésticos renovables 6,9%. Seguido de (iv) la energía solar 2.2% que reúne plantas solares eléctricas y plantas de

energía solar térmica, (v) geotérmica 1,5% y (vi) la energía marina, mareo motrices 0,01%. (Ver Figura 12)

Figura 12. Estructura de la producción eléctrica de origen renovable - 2012.

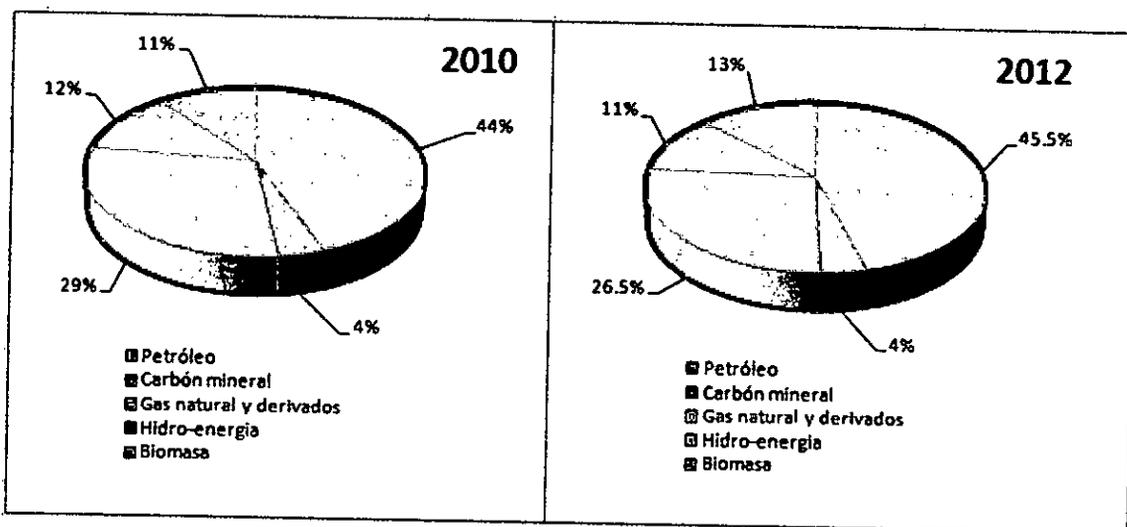


Fuente: "La producción de electricidad de origen renovable", (Observ.E.R., 2013).

2.3.1 Las energías en el Perú

En el país es el petróleo la principal fuente de energía primaria. En el 2010, el petróleo representaba el 44% de la oferta, seguido por el gas natural y derivados, con cobertura del 29% (8% en 2003). En total, las fuentes de energía no renovables representan el 77% de la matriz energética. El resto se compone de energía hidroeléctrica (12%) y la energía no convencionales (biomasa, 11%). En el 2012 la estructura energética no cambio mucho, la participación del petróleo fue del 46%, el gas natural y derivados (27%), la biomasa (13%), la energía hidroeléctrica (11%) y el carbón mineral (4%). (Ver figura 13).

Figura 13. Las energías en Perú, 2010 y 2012

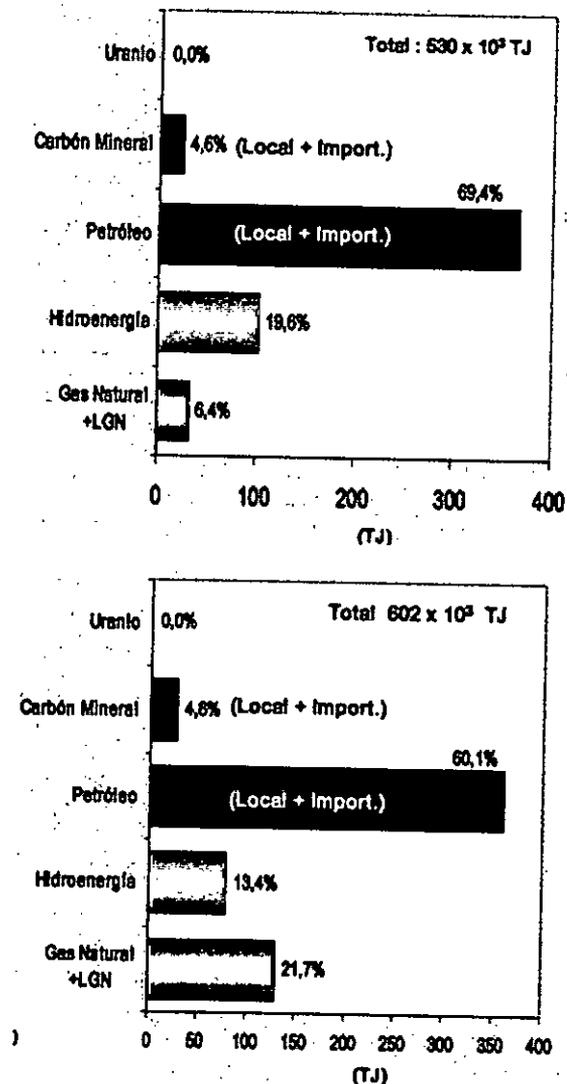


Fuentes: (IEA, 2010) & (Ministerio de energía y minas, 2012), [Elaboración propia]

Un cambio importante en la estructura energética del país se dio en el año 2004, año en el cual se comenzó a explotar el gas natural de Camisea, este hecho aumenta considerablemente la producción de gas natural. Pasando de 43 millones de pies cúbicos/día (Mpcd) en promedio en 2002 a 336 millones de pies cúbicos/día (Mpcd) en 2010. Este cambio de matriz energética se notó desde el inicio de operaciones, en el 2003 el gas natural representaba el 6,4% de la matriz energética y paso a representar el 21,7% de la matriz energética en el 2005 (Ver figura 14).

«Camisea», como sabemos es el más grande yacimiento de gas natural en el país, esta nueva fuente energética permitió reducir notoriamente las importaciones de petróleo.

Figura 14. Matriz energética en 2003 y 2005, antes y después de Camisea.



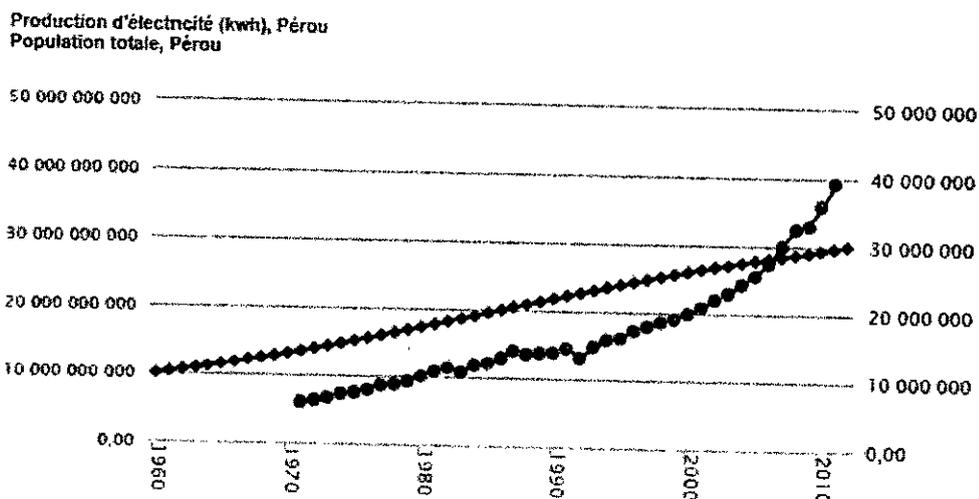
Fuentes: "Hacia una nueva matriz energética en el Perú", (MEM, 2007)

2.3.1.1 Producción de energía eléctrica

Es indudable que la producción de energía eléctrica está correlacionada directamente a la población peruana, además de otros factores como el crecimiento económico que el país tiene en estas últimas décadas. Es decir

que la producción eléctrica aumenta en función a la demanda de la creciente de la población y de los diferentes sectores productivos en el país.

Figura 15. Producción eléctrica en el Perú y población.



Fuente: Datos del Banco Mundial y de la Universidad de Sherbrooke. [Elaboración propia]

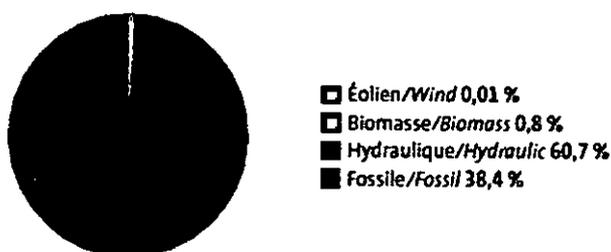
2.3.1.2 Estructura de la producción eléctrica

La producción de electricidad en el Perú en el año 2009 se basaba principalmente en la energía hidráulica (60,7% de la producción total) y los combustibles fósiles (38,4% el conjunto de petróleo, gas natural y carbón). Los dos otros sectores de energías renovables existentes, la biomasa y el eólico, están aún poco desarrollados: 0,8% para la biomasa y menos del 0,01% del total para la energía eólica. En el 2012 la energía hidráulica

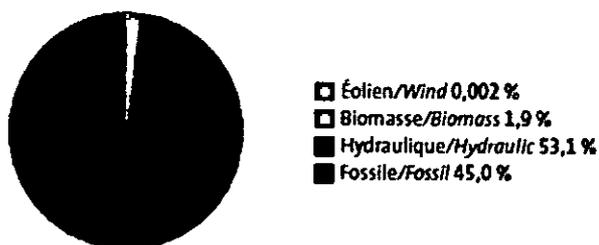
descendió al 53,1%, de otro lado la energía eléctrica producida por los combustibles fósiles se vio aumentada al 45%, el uso de la biomasa aumento al 1,9%. (Ver figura 16).

Figura 16. Estructura de la producción de electricidad

2009



2012



Fuente: "La producción de electricidad de origen renovable", (Obser.E.R., 2010) & (Observ.E.R., 2013).

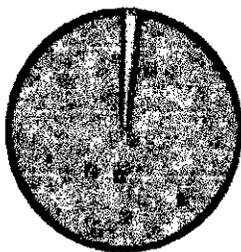
Producción de electricidad de origen renovable

En lo que concierne la parte de las energías renovables para producir electricidad, en el 2009, la energía hidráulica en alcanzó su nivel más alto de la producción durante el período (19,8 TWh) que represento el 98,6% del total de la producción de energía eléctrica de origen renovable. Muy por

detrás, la biomasa, segundo sector de la energía renovable del país, generó 277 GWh en el mismo año, lo que representó solo el 1,4% de la energía renovable del mismo origen.

Figura 17. Estructura, producción de electricidad de origen renovable

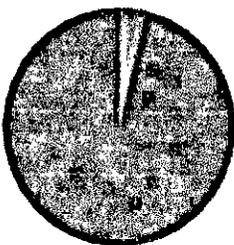
2009



Éolien/Wind 0,01 %
Biomasse/Biomass 1,4 %
Hydraulique/Hydraulic 98,6 %

Fuente: "La producción de electricidad de origen renovable", (Obser.E.R., 2010) & (Observ.E.R., 2013).

2012



Éolien/Wind 0,004 %
Biomasse/Biomass 3,4 %
Hydraulique/Hydraulic 96,6 %

Fuente: "La producción de electricidad de origen renovable", (Obser.E.R., 2010) & (Observ.E.R., 2013).

2.3.2 Iniciativa mundial sobre el metano

Metano procedente de los rellenos sanitarios/botaderos:

La iniciativa mundial sobre el metano es una colaboración multilateral voluntaria que mira a reducir las emisiones mundiales de metano y a promover la reducción y la recuperación del metano, y su utilización como fuente de energía limpia. La iniciativa mundial sobre el metano alcanza este objetivo por la creación de una red internacional de gobiernos socios (partner), miembros del sector privado, bancos de desarrollo, universidades y organizaciones no gubernamentales con el fin de reforzar las capacidades, elaborar estrategias, desarrollar mercados y de la eliminación de los obstáculos a la realización de proyectos de reducción de las emisiones de metano en los países socios.

La iniciativa mundial sobre el metano, ha sido lanzada en el 2004, esta es el única medida internacional que mira precisamente la reducción, la recuperación y la utilización del metano (CH₄) poniendo el acento sobre las cinco principales fuentes de emisiones de metano: (i) la agricultura, (ii) las minas de carbón, (iii) los sitios de rellenos sanitarios, (iv) las aguas servidas municipales y (v) las instalaciones de petróleo y gas. La iniciativa es un proyecto de colaboración con otros acuerdos internacionales, Convención de las Naciones Unidas sobre los cambios climáticos, para reducir las emisiones de gas de efecto invernadero. A la inverso de otros gases de

efecto invernadero, el metano es el principal componente del gas natural, que puede ser convertido en energía utilizable. Por consiguiente, la reducción de las emisiones de metano constituye un medio rentable de reducir los gases de efecto invernadero, de reforzar la seguridad energética y de mejorar el crecimiento económico, la calidad del aire y la seguridad de los trabajadores.

2.3.2.1 Importancia del gas metano

El metano (CH₄), es el segundo más importante gas a efecto invernadero de origen antropico después del dióxido de carbono (CO₂), el cual causa más del tercio del impacto climático antropico. Es igualmente el segundo gas a efecto invernadero en importancia, representando el 14% de las emisiones mundiales de gas a efecto invernadero. El metano es considerado como un "agente de activación del proceso climáticos de corta duración", lo que significa que tiene una duración de vida relativamente corta en la atmósfera, alrededor de 12 años.

Aunque el metano quede en la atmósfera a lo largo de un período de tiempo más corto que el CO₂ y es emitido en cantidades menores, su "potencial de calentamiento planetario", su capacidad a atrapar el calor en la atmósfera, es de 21 veces más elevadas que del CO₂.

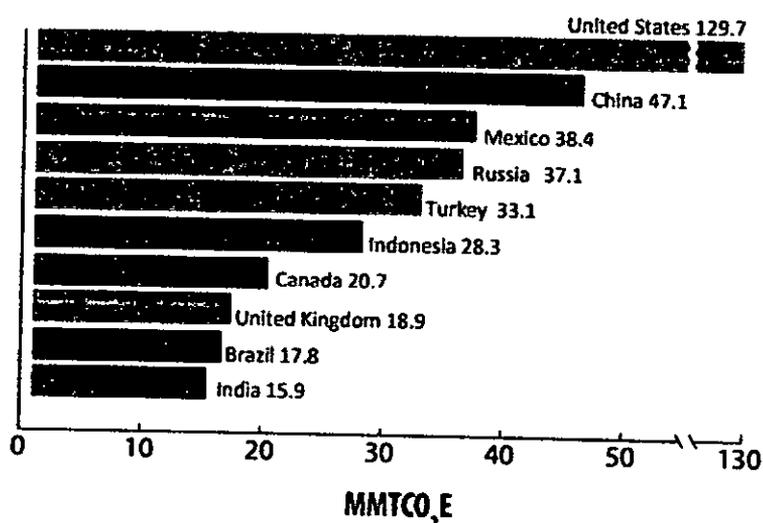
Las emisiones de metano se dan en la producción y transporte del carbón, del gas natural y del petróleo. Las emisiones se producen igualmente en la descomposición de la materia orgánica presente en los rellenos sanitarios, botaderos de desperdicio sólidos urbanos, en ciertos sistemas de almacenamiento de estiércol del ganado, y ciertos sistemas de trato de las aguas servidas municipales y agroindustriales. El metano brinda una ocasión única de atenuar los cambios climáticos y al mismo tiempo aumentando el aprovisionamiento energético disponible. Y eso, sin la adopción de medidas más estrictas que miran a reducir las fuentes de emisiones, se espera que las emisiones de metano aumenten alrededor del 18% y alcanzarían 8 522 millones de toneladas en equivalente de dióxido de carbono (CO₂) al 2030 (1). Alrededor del 70% de las emisiones mundiales estimadas de metano de origen antropico son atribuibles a los países socios de la iniciativa mundial sobre el metano. Las reducciones acumulativas de las emisiones de metano atribuible a la iniciativa mundial sobre el metano se elevan a casi 128,3 millones de toneladas en equivalente CO₂.

2.3.2.2 Gases de los rellenos sanitarios

Los gases de los rellenos sanitarios (botaderos) se forman de la descomposición de las materias orgánicas en los sitios descarga de desperdicio urbanos sólidos. Estos gases están compuestos de alrededor del 50% de CH₄ (metano) 50% de CO₂ (dióxido de carbono) y de una pequeña cantidad de compuestos orgánicos diferentes al metano. En lugar

de dejar los gases de los rellenos sanitarios escaparse en el aire, los propietarios de los sitios de descarga, las empresas y los gobiernos proceden cada vez más a la captación y a la conversión de estos gases con miras a utilizarlas como fuente de energía. La utilización de los gases de enterramiento permite reducir los olores y ciertos riesgos asociados a las emisiones de gas de los rellenos sanitarios, y de impedir la migración del metano hacia la atmósfera, lo que contribuye a la formación de smog a la escala local y a los cambios climáticos a la escala mundial. Mundialmente, los sitios (rellenos sanitarios) son la tercera fuente antropica de metano en importancia, lo que representaba, en 2010, alrededor del 11% de las emisiones mundiales de metano estimado o casi 799 millones de toneladas en equivalente CO₂ (2).

Figura 18. Emisiones de metano procedentes de los rellenos sanitarios



Fuente: Global Methane Initiative, sitio web: www.globalmethane.org

La figura 18 presente las emisiones de metano procedente del sector de los sitios de descarga (rellenos sanitarios) en ciertos países de la iniciativa mundial sobre el metano.

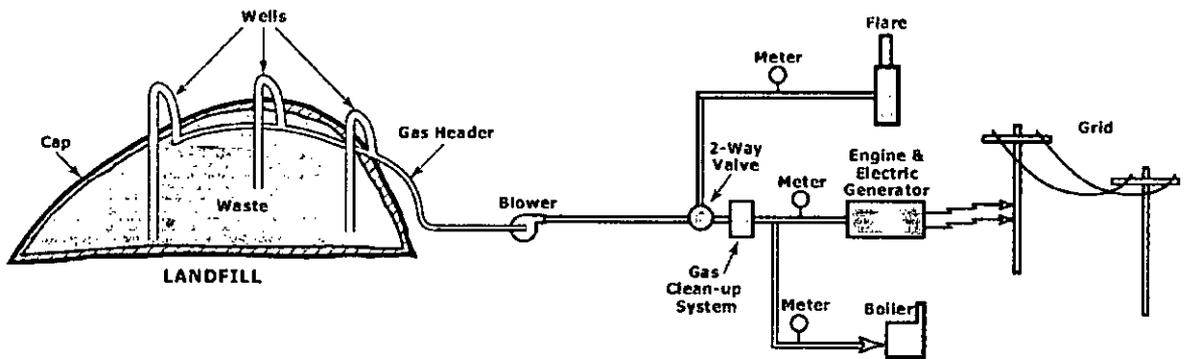
En los países socios de esta iniciativa, donde las economías de consumo están en alza al igual que el crecimiento demográfico, como la China y el Brasil, la tasa de eliminación de residuos sólidos urbanos está igualmente en constante crecimiento. Además, la tendencia de mucho de estos países es hacia una mejor gestión de estos residuos sólidos urbanos, hechos que incitan la concepción y la construcción de otros rellenos sanitarios de este tipo, que suministran el medio anaerobio necesario para la producción de metano.

2.3.2.3 Conversión de los gases de relleno sanitario en energía

Los gases de rellenos sanitarios tienen la mitad del poder calorífico del gas natural y pueden reemplazar a menudo los combustibles fósiles tradicionales en ciertas aplicaciones. Son una fuente de energía renovable local fiable, pues son producidos 24 horas sobre 24 a partir de desperdicios comerciales y domésticos que son producidos de manera ininterrumpidamente en los rellenos sanitarios acondicionados para este fin.

Si recurrimos al uso de los gases de rellenos sanitarios para producir energía, los sitios de descarga pueden reducir considerablemente sus emisiones de metano y contribuir a compensar la necesidad de producir energía a partir de combustibles fósiles, reduciendo así las emisiones de CO₂, de dióxido de azufre, de óxidos de nitrógeno y de otros contaminantes nacidos de la combustión de los combustibles fósiles.

Figura 19. Esquema de recuperación y valorización del gas de relleno sanitario



Fuente: (Global.Methane.Initiative, 2012)

Los gases de los rellenos sanitarios son extraídos de los sitios de descarga por medio de una serie de pozos y de un sistema soplador/chimenea, al vacío, ver Figura 19. Este sistema dirige los gases recogidos hacia un punto central donde éstos son transformados y tratados según su utilización final prevista. A partir de este punto, los gases pueden ser purificados, utilizados para producir electricidad, reemplazar los combustibles fósiles en el sector industrial o ser el objeto de una valorización para conseguir un gas

transportable por pipeline que puede ser utilizado directamente o transformado en un carburante de reemplazo para vehículos.

2.3.2.4 La iniciativa mundial sobre el metano en obra.

La iniciativa mundial sobre el metano reagrupa los recursos colectivos y las experiencias variadas de los socios, lo que facilita el traslado y la demostración de las tecnologías, el apoyo a las políticas, el refuerzo de las capacidades y el desarrollo de los mercados necesarios para la realización de proyectos de valorización energética de los gases de rellenos sanitarios y a la reducción acrecentada de las emisiones de este tipo de gas. Más precisamente, el sector de los sitios de rellenos sanitarios de la iniciativa mundial sobre el metano trabaja a reducir los obstáculos ligados a la elaboración de proyectos de valorización energética de los gases de rellenos sanitarios en los países socios, especialmente la falta de experiencia técnica en los países en cuestión, la evaluación o la elección inadecuada de sitios, rellenos sanitarios apropiados, la factibilidad técnica y económica no demostrada de tecnologías y de las prácticas probadas en un contexto local, y de otros obstáculos financieros, informativos e institucionales.

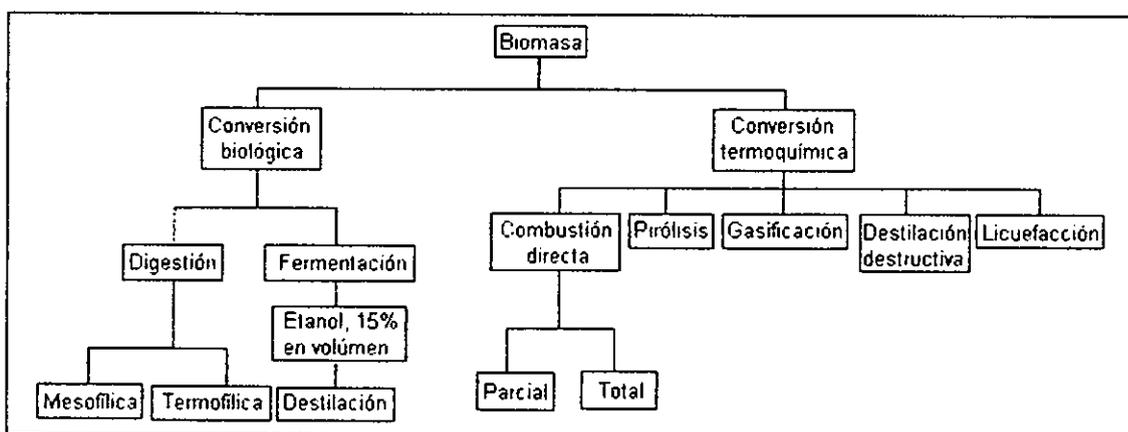
Puntos salientes de las actividades del sector de los sitios de rellenos sanitarios en el marco de la iniciativa mundial sobre el metano:

- Perfil del país y estrategias propias al país para rebasar los obstáculos ligados a la poca información sobre los sitios de rellenos sanitarios y sobre las prácticas de gestión de los gases producidos, metano y dióxido de carbono, en cada país.
- Estudios preliminares y proyectos de demostración a fin de evaluar la factibilidad técnica y económica de proyectos de valorización energética de los gases de rellenos sanitarios, incluidas las actividades realizadas en el marco de estudios de pre-factibilidad y de evaluaciones en 17 países socios. Algunas subvenciones han sido atribuidas igualmente en estos países en vista de dirigir el inventario de sitios de rellenos sanitarios, llevar de los estudios de pre-factibilidad y realizar de los proyectos de demostración de las tecnologías.
- Talleres y sesiones de formación de explotadores basados sobre las actividades de los sitios de rellenos sanitarios, la modelización de los gases de rellenos sanitarios y el avance de los proyectos ligados a estos rellenos sanitarios, dirigidos a los representantes del gobierno, a inversionistas y explotadores de rellenos sanitarios. Solamente, entre el 2009 y 2010 se organizaron cerca de 20 eventos en los países socios.
- Modelización y colecta de datos a fin de facilitar la elección de los sitios de relleno sanitario y encontrar ocasiones de proyectos eventuales de valorización de los gases de rellenos sanitarios.

2.4 Análisis técnico, Procesos de conversión de la biomasa.

La utilización con fines energéticos de la biomasa requiere de su adecuación para utilizarla en los sistemas convencionales (Guillén, 2004). Los posibles caminos para la conversión de la biomasa en energía se presentan en la Figura 20. Los procesos de conversión pueden ser: Biológicos o termoquímicos, con un tratamiento físico previo, como serían los procesos que actúan físicamente sobre la biomasa y están asociados a las fases primarias de transformación. Dentro de lo que puede denominarse fase de acondicionamiento se incluye: Triturado, astillado, compactado e incluso secado.

Figura 20. Alternativas para la conversión de biomasa en energía.



Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

2.4.1 Proceso biológico

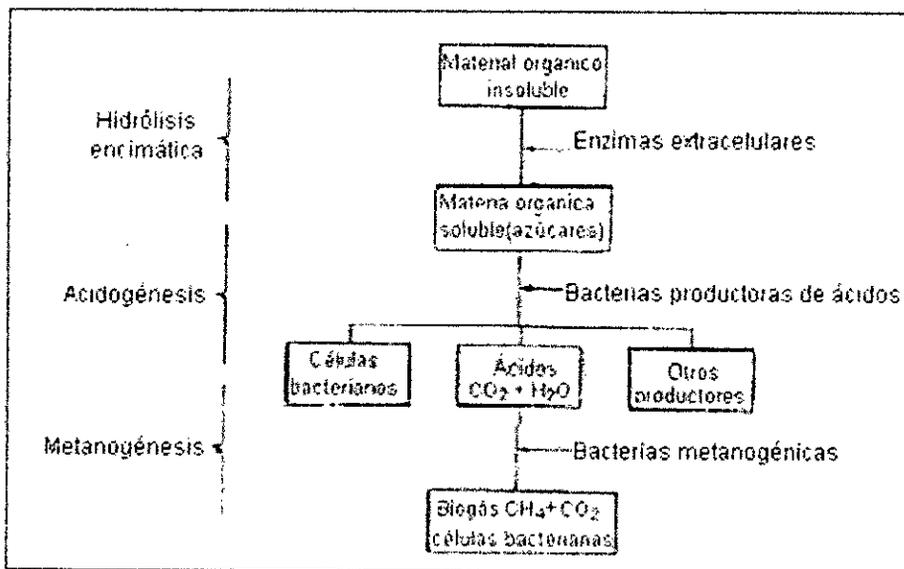
La conversión biológica de la biomasa en combustibles puede lograrse mediante la digestión (biometanización) o la fermentación (producción de etanol a partir de cultivos ricos en azúcares o almidones o, después de la polimerización química o enzimática, de lignocelulosa en azúcares simples y lignina). Los dos procesos son anaerobios e involucran un proceso de fermentación. La diferencia entre ellos reside en el tipo de microorganismos, sus actividades de digestión y los productos obtenidos. En ambos casos el primer paso en la conversión es un proceso de hidrólisis, en que la materia orgánica compleja se rompe en azúcares solubles al reaccionar la biomasa con agua en presencia de ácido o enzimas.

2.4.1.1 Digestión

En el proceso de biometanización, desperdicios orgánicos o biomasa con alto contenido de humedad se alimentan a un recipiente llamado digestor biológico. Por la acción de microorganismos adecuados la materia orgánica se transforma en biogás, (una mezcla de dióxido de carbono y metano esencialmente), que puede aprovecharse como combustible, produciéndose además lodos residuales empleados como mejoradores de suelos o fertilizantes. El tratamiento de la materia orgánica mediante la digestión cumple así con tres funciones:

- Producir gas combustible.
- Producir mejoradores de suelos, fertilizantes o complementos de alimentos forrajeros.
- Reducir la contaminación ambiental producida por la disposición de desechos no tratados.

Figura 21. Etapas del proceso de digestión



Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

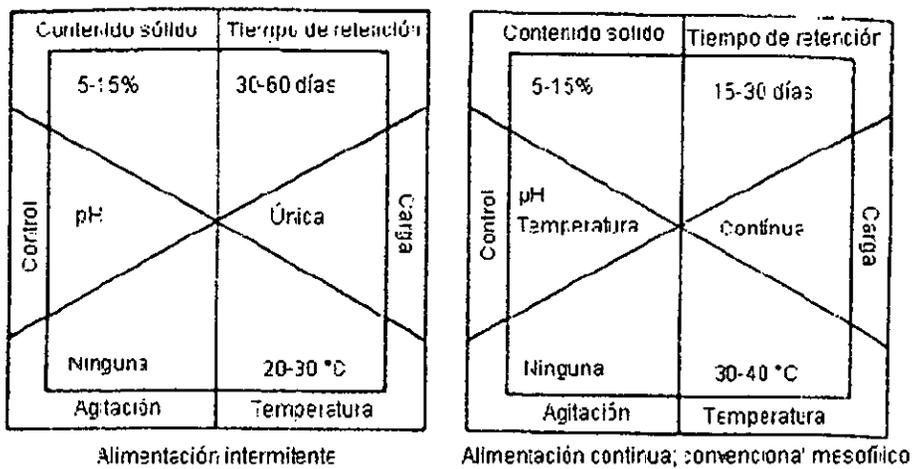
Los procesos de descomposición de materia orgánica pueden llevarse a cabo en presencia de oxígeno (aerobios) o en ausencia del mismo (anaerobios), dependiendo del tipo de microorganismos que producen la hidrólisis enzimática de la materia orgánica. Para la producción del biogás se emplean los procesos anaerobios. La digestión se realiza en tres

procesos degenerativos como lo muestra la Figura 21; (a) Hidrólisis enzimática, en que los sólidos fermentables son convertidos en compuestos solubles; (b) Acidogénesis que los compuestos solubles (azúcares), se convierten en ácidos orgánicos volátiles, como el acético, el bórico y el piónico, y (c) Metanogénesis en que los ácidos orgánicos volátiles se convierten en biogás mediante la acción de una familia de bacterias.

Las bacterias productoras de gas metano, llamadas por ello metanogénicas, se encuentran entre los organismos más estrictamente anaerobios que se conocen, e incluyen los géneros: *Metanococcus*, *Metanobacterium*, *Metanosarcina*, *Metanospirillum* y *Metanobacillus*. Usualmente no son móviles, crecen con lentitud (3 días aproximadamente) y se encuentran en forma natural en estiércol, pantanos y aguas negras. Muchas de las bacterias metanogénicas pueden vivir en medios que son básicamente fuentes simples de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre. Sin embargo, la presencia adicional de moléculas orgánicas complejas estimula su crecimiento, y algunas cepas pueden depender de éstas como fuentes orgánicas para crecer. La relación carbono/nitrógeno en el hábitat de las bacterias (mezcla estiércol/agua) es muy importante; generalmente se procura que esta relación sea de 20:1 a 30:1.

Según las temperaturas a las que ocurren, los procesos de digestión pueden clasificarse en:

- Sicrofílicos, que ocurren entre 10 y 25 °C
- Mesofílicos, que ocurren entre 35 y 42 °C
- termofílicos, que ocurren entre 50 y 55 °C y entre 55 y 60 °C
- **Figura 22. Etapas del proceso de digestión**

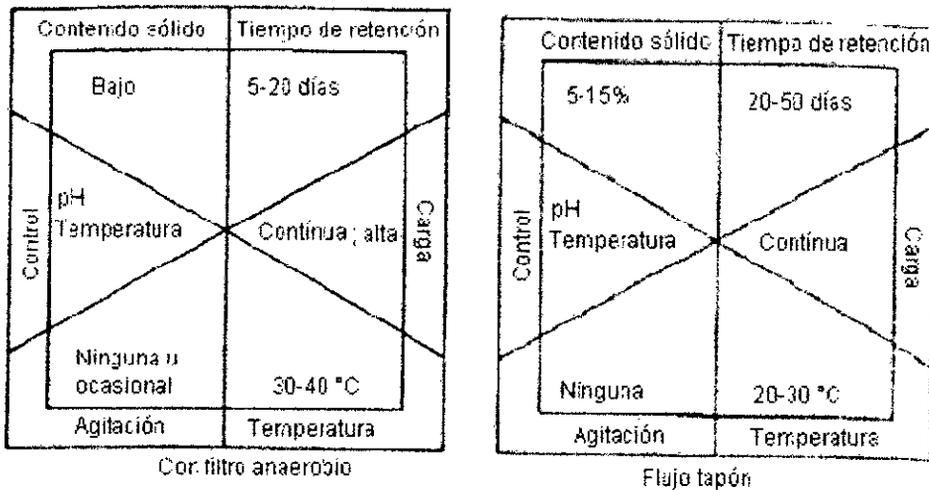


Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

Los procesos en el rango sicrofílico tienen poca importancia por la pequeña tasa de actividad que presentan las bacterias metano-génicas que se desarrollan a esas temperaturas. Los procesos de digestión operan a presión atmosférica, con un nivel de pH en la mezcla de entre 6 y 8 y requieren control de la temperatura. La concentración de sólidos totales en la mezcla es generalmente entre 5% y 15 %. Los principales factores que

fijan el costo de un digestor son la tasa de producción de gas metano y lodos (y la calidad de éstos), y el tiempo de retención de la mezcla en el interior del digestor. Según la forma de alimentación pueden distinguirse dos tipos diferentes de digestores: Intermitentes y continuos (Figura 22). Cuando la alimentación es intermitente, el digestor se llena y se cierra. La producción de biogás se manifiesta algún tiempo después, alcanza un máximo y vuelve a declinar.

Figura 23. Diseños de control en digestores tipo flujo tapón y de filtro anaerobio



Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

Al llegar a una producción muy pequeña de biogás, el digestor se destapa, se limpia y se cierra. Esto ocurre típicamente cada 3 ó 6 meses. En la Figura 23 se muestra el diseño de flujo tapón y del filtro anaeróbico, las características de éstos y otros sistemas digestores se presentan en la

Tabla 4. En los digestores de alimentación continua, una vez establecidas las condiciones normales de operación, la materia orgánica se alimenta diariamente (una o dos veces por día) de acuerdo al volumen del digestor y al tiempo de retención hidráulica de diseño.

En la Tabla 5 se presentan algunas características de los diferentes tipos de estiércol y las cantidades de biogás que pueden esperarse de su digestión. La alimentación máxima del digestor depende de la naturaleza del desecho y se determina experimentalmente.

Los más investigados han sido de ganado vacuno o porcino, siguiéndoles los de aves de corral (gallinas principalmente), caballo y carneros. El estiércol de ganado vacuno es el más favorable ya que una vaca excreta aproximadamente el 8% de su peso vivo al día entre estiércol y orina. El estiércol de ganado porcino posee una notable tendencia a bajar su nivel de pH durante el proceso de digestión, quizá por formarse grandes cantidades de ácidos grasos volátiles. Todos los estiércoles son aprovechables en digestores.

Tabla 4. Diversos sistemas de digestores

Sistema digestor	Tipo	Características
Una etapa	Lagos de estabilización	Rellenos sanitarios y fosas sépticas
	Digestor convencional	Tanques para desechos donde tiene lugar la estabilización biológica y la separación sólido-líquido
	Digestor tipo bolsa	Construido con materiales plásticos, son compactos y ligeros con geometrías cilíndricas e instalados con el eje horizontal
	Digestor de alto rendimiento	Incluye un mecanismo para la agitación de la mezcla y medio de calentamiento para asegurar la temperatura óptima
Dos etapas	Digestor de dos pasos	Combinación de un digestor de alto rendimiento y uno convencional, que se emplea para concentrar y separar los sólidos
	Digestor de dos etapas	Dos digestores de alto rendimiento conectados en serie, uno para la producción de ácido y el otro para la del metano
De contacto anaerobio	Recirculación de sólidos	Una fracción de los sólidos que llegan al segundo tanque del digestor de dos etapas se recircula hacia el primero, reduciendo el volumen requerido en el segundo
	Biomix	Consiste en una bomba tipo termosifón para mezclar el digestor y controlar la formación de la nata, y un cambiador de calor para elevar la temperatura a 35°C, cuenta con enfriador -separador por gravedad que separa los sólidos por choque térmico
De filtro anaerobio	Una capa de piedras o arena a la que se adhieren los microorganismos, aumentando con ello la zona de actividad biológica, los tiempos de retención son pequeños y la eliminación de sólidos suspendidos es alta.	
De flujo tapón	Un tanque estrecho, largo, alimentado por un extremo, los desechos avanzan hacia el otro extremo por gravedad, generalmente se aplican para desechos con alto contenido sólido	

Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

2.4.2 Procesos termoquímicos

Están basados en la transformación química de la biomasa, al someterla a altas temperaturas (300 °C –1500 °C). En la Figura 24 se encuentran dos

de los procesos de conversión de la biomasa y los productos obtenidos de ella.

Tabla 5. Características: tipos de estiércol y eficiencia en la degradación anaerobia a gas metano

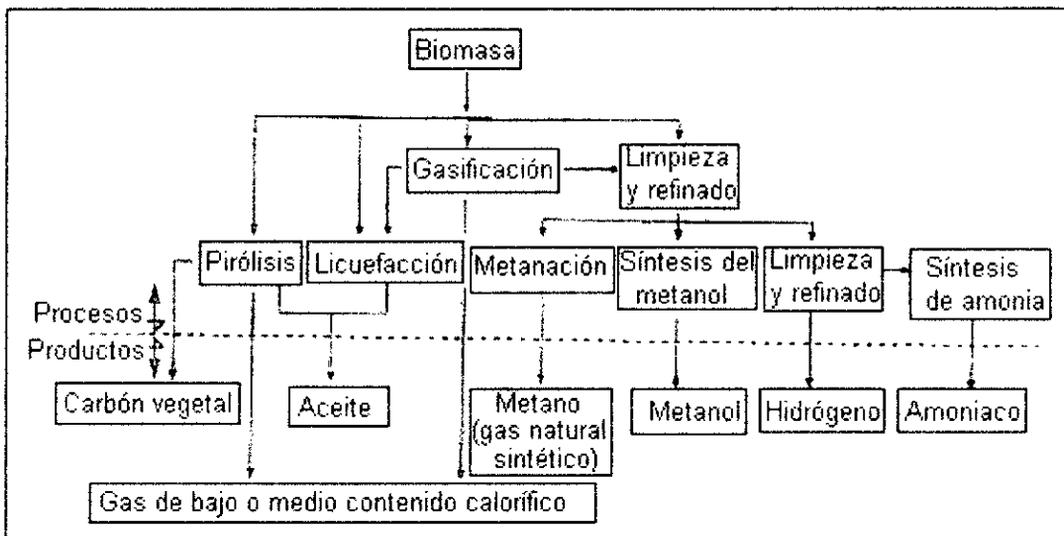
	Peso vivo	Humedad	Estiércol húmedo	Sólidos totales	Sólidos volátiles	Producción de biogás
	Kg	%	Kg/día	Kg/día	Kg/día	m ³ /KgSV
Vaca lechera	727	80	60	7.5	6.27	-
Vaca	-	-	-	-	-	0.09-0.3
Vaca	500	500	41.7	-	3.89	-
Caballo	454	75	20.4	4.3	3.41	-
Caballo	500	-	28	-	4	-
Cerdo	227	-	11.4	1	0.73	-
Cerdo	91	82	5.9	0.5	0.44	-
Cerdo	225	-	11.5	1.65	1.35	0.19
Camero	45	68	1.8	0.4	0.39	-
Borrego	50	-	2	-	0.43	-
Pollo	-	-	-	-	-	0.3
Pollo	5	-	0.31	-	0.053	-
Aves de corral	4.5	-	0.27	0.079	0.058	0.0049
Humano	-	-	-	0.135	0.113	-

Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

Cuando se calienta la biomasa se produce un proceso de secado y evaporación de sus componentes volátiles, seguido de reacciones de descomposición de sus moléculas y de reacciones en la que los productos resultantes de la primera fase reaccionan entre sí, junto con los componentes de la atmósfera en la que tenga lugar la reacción, de esta forma se consiguen los productos finales. Según el control de las condiciones del proceso se consiguen productos finales diferentes, lo que

da lugar a los tres procesos principales de la conversión termoquímica de la biomasa.

Figura 24. Procesos de conversión de la biomasa y productos obtenidos



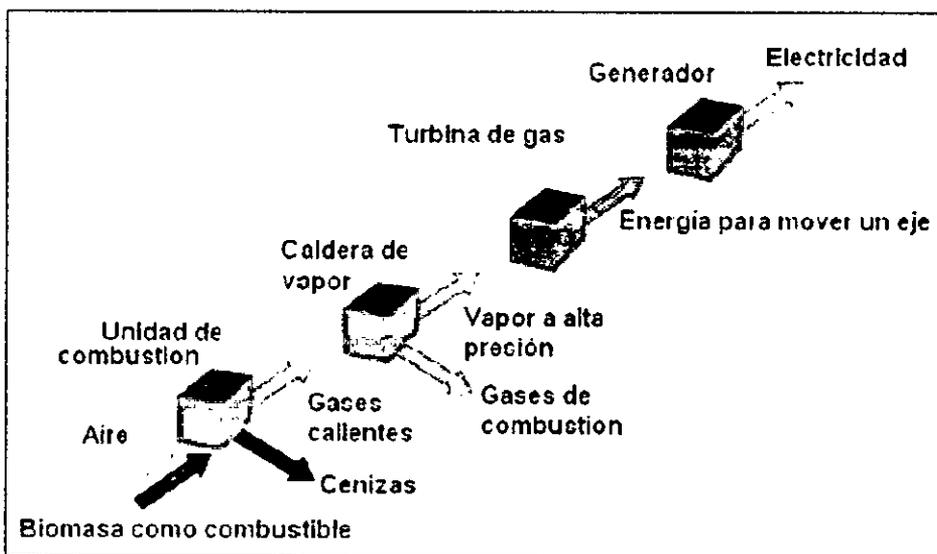
Fuente: "Alternativas energética", (Concheiro & Viqueira, 1985).

2.4.2.1 Combustión

El proceso de convertir la biomasa en un producto útil tal como electricidad y calor, puede involucrar tecnologías de conversión, tanto primarias como secundarias, o ambas. En la tecnología primaria, la biomasa sin tratamiento, es convertida directamente en calor, en un combustible más conveniente, o en un transportador de energía en forma de gases (tales como el CH_4 , H_2) combustibles líquidos (tales como el CH_3OH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) o ceniza (C).

Las tecnologías secundarias convierten estos transportadores en el producto final de energía deseado, tal como el transporte de los productos, mercancías y personas o iluminación eléctrica (Sims, 2002). Las tecnologías primarias y secundarias pueden ser inseparables en ciertas aplicaciones específicas. Tanto la combustión, la gasificación y pirólisis son tecnologías de conversión primarias. La Figura 25 muestra el esquema de una planta de combustión.

Figura 25. Esquema de una planta de combustión



Fuente: "The brilliance of bioenergy", (Sims, 2002)

La tecnología de conversión primaria incluye la combustión, gasificación y pirólisis e hidrólisis. Las tecnologías secundarias incluyen:

- **Calderas:** Utilizan el calor de la combustión y lo usan para elevar la temperatura del agua o convertirla en vapor. Dicho vapor o agua caliente puede usarse para abastecer las necesidades térmicas de una fábrica o para alimentar una turbina de vapor para generar la electricidad.
- **Turbinas de gas/motor de gas:** El proceso de gasificación primaria produce gas productivo (CO, H₂ y probablemente CH₄) con poder calorífico medio o bajo. Puede someterse a combustión directamente en una turbina de gas o motor de combustión interna, acoplándose directamente a un generador para la producción de electricidad o a una caja de cambios para conducción mecánica. En años recientes, se ha hecho énfasis en el mejoramiento de la eficiencia de la generación termoeléctrica, lo cual ha conducido al desarrollo de las plantas de ciclo combinado, que recuperan el calor liberado de las turbinas de gas, para producir vapor para utilizarlo en la generación de energía eléctrica extra por medio de una turbina de vapor.
- **Motor de combustión interna:** Usado para propósitos de transporte que puede ser alimentado por biocombustibles como el biodiésel, gas productivo o aceite pirolítico.

El proceso de combustión

Se quema el combustible en una atmósfera oxidante, de aire u oxígeno, obteniendo cuando es completa, dióxido de carbono, agua y sales

minerales (cenizas), obteniendo calor en forma de gases calientes. La combustión es un proceso de oxidación exotérmica que ocurre a una temperatura relativamente alta. El proceso incluye la volatilización de los vapores del combustible propios de la biomasa, el cual arde en llamas, mientras que el material residual en forma de cenizas de carbón es quemado, cuando se adiciona más aire. Cuando la biomasa seca es sometida a combustión las fases que ocurren son:

- **Calor y secado:** Cuando la biomasa es calentada, cantidades excedentes de humedad en la biomasa se evaporan de las células. Esta cantidad de humedad, varía entre 10% y 50% del total de peso (base húmeda), el cual es mucho mayor que la del carbón (normalmente entre 3% y 10% cuando es extraído de la mina). Ésto reduce la efectividad o el calor útil disponible de la energía contenida en el combustible proveniente de la biomasa. Esto también afecta el gradiente de temperatura, lo cual puede ocurrir dentro de la pieza o partícula de madera y como resultado alentar el proceso de calentado y secado.
- **Destilación de las partículas volátiles:** Después de que la evaporación de las moléculas de agua se completó, más calor es absorbido y los gases volátiles son liberados, cuando las temperaturas están entre los 180°C y los 530°C, y la destilación ocurre (similar a la destilación de los productos de aceite crudo en una óleo refinera). Estos gases incluyen componentes orgánicos complejos saturados e insaturados, incluyendo

las parafinas, fenoles, ésteres y ácidos grasos, los cuales tienen una temperatura de destilación por separado, y por tanto podrían teóricamente ser procesados en una biorefinería para producir diversos químicos.

- **Combustión de los gases volátiles:** La ignición toma lugar entre los 630°C y 730°C, los gases producidos de la biomasa se combinan exotérmicamente con el oxígeno para producir calor, y principalmente CO₂ y vapor de agua. La temperatura de flama que alcanza en el horno durante esta fase gaseosa dependerá del nivel de aire excesivo presente, de la cantidad de humedad en la madera o biomasa inicial, ya que habrá sido evaporada en esta zona, donde la fase de reacción gaseosa ocurre.
- **Combustión del carbono:** Una vez que la humedad y los volátiles se han apartado, el carbono del combustible queda en forma de ceniza, el cual comienza a quemarse cuando hay mayor disponibilidad de oxígeno. En un lecho común de combustión el oxígeno reacciona con el carbono para formar principalmente CO. Este gas es quemado para formar CO₂, pero es reducido por más carbono, regresando a la forma de CO. Estos tres procesos coinciden a un mismo tiempo, debido a esto, el producto gaseoso principal que abandona el lecho de combustión en esta etapa es el CO. Cuando este alcanza el aire secundario, éste se quema y forma CO₂, el cual es liberado a la atmósfera.

Para llevar a cabo un buen proceso de combustión se requieren 3 grandes factores: El tiempo, la temperatura y la turbulencia (Basu, 2006). Estos tres factores son encontrados en un combustor de lecho fluidizado, en el cual la buena recirculación, tanto interna como externa de los sólidos calientes a temperatura de combustión, proporciona a las partículas combustibles un tiempo prolongado y temperatura adecuada. Las altas temperaturas de la mezcla gas-sólido en los hornos de lechos fluidizados también proporcionan la turbulencia necesaria para un buen proceso de combustión.

Otra característica de la biomasa es su contenido relativamente volátil (60-80%). La combustión con procesos de reducción de NO_x evita la extracción de calor por ductos inmersos en el lecho, lo cual es mejor desde el punto de vista de disponibilidad de las calderas, debido a que la corrosión en las tuberías es el mayor problema de las calderas de lecho burbujeante. Una humedad relativamente alta contenida (10-65 %), incrementa el flujo volumétrico de gas por unidad de calor liberado. Ésto demanda grandes separadores ciclónicos y salidas muy amplias en las calderas de lecho fluidizado. En la Tabla 6 se observa que el contenido de oxígeno usando biomasa puede ser muy alto: Entre 30 y 40 %. Así la demanda de aire en la combustión para la biomasa es relativamente baja, lo que significa que podría haber menos nitrógeno en el gas, lo cual ayudaría a reducir las pérdidas del secado del gas.

La biomasa es generalmente más reactiva que los combustibles fósiles como el lignito y la antracita. El producto es la escoria, material pegajoso proveniente de los componentes de las cenizas que se deposita en las calderas y la corrosión (Basu, 2006).

Tabla 6. Composición de algunas fuentes combustibles de la biomasa

Combustible	Unidad	Cáscara de arroz	Desechos de madera	Aserrín
Poder calorífico máximo	MJ/Kg	16.2	20.14	20
Humedad	Peso %	9.7	14.2	53.9
Compuestos volátiles	-	66	79.1	39.19
C	Peso %	40.2	49	50.6
H	-	5	5.9	6
O	-	36.3	40.7	42.78
N	-	0.3	2.5	0.2
S	-	0.05	0.05	0.01
Cl	-	0.1	0.03	0.01
Cenizas	-	18.2	1.9	0.41
Composición de las cenizas	-	-	-	-
SiO ₂	% de ceniza	69	32	4.9
Al ₂ O ₃	-	0.41	6.2	0.93
TiO ₂	-	-	14	0.2
Fe ₂ O ₃	-	0.25	2.8	1.3
CaO	-	0.75	17	32
MgO	-	0.43	2.7	4.8
Na ₂ O	-	0.06	2.8	2.4
K ₂ O	-	2.2	4.7	6.7
P ₂ O ₅	-	-	6.3	-
SO ₃	-	0.49	-	19

Fuente: "Combustion and gasification in fluidized beds", (Basu, 2006).

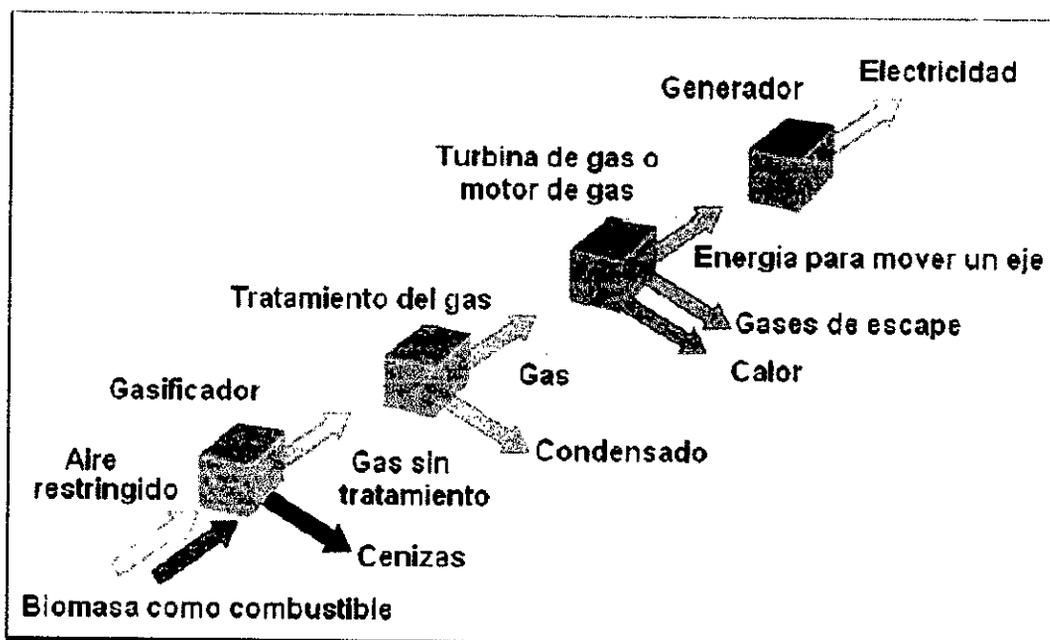
Actualmente, la combustión directa de la biomasa es empleada por la gran mayoría de la población rural en el mundo para el calentamiento y la cocción de alimentos y en algunas instalaciones industriales para generar calor y vapor. Los sistemas de combustión directa cuyos principios de operación son bien conocidos incluyen fogatas abiertas, cocinas simples, hornos holandeses, calderas y unidades de lecho fluidizado. En las unidades de combustión directa de óptimo diseño es posible lograr una

eficiencia de hasta un 60-80 %, mientras que en la combustión a cielo abierto se reduce al 5 ó 10 % (Concheiro & Viqueira, 1985). La mayor parte de los sistemas industriales de combustión directa de biomasa emplean cortezas celulósicas. Aunque pueden emplearse materiales con hasta un 65 % de humedad, pero cuanto menor sea la humedad, mayor será la eficiencia de los sistemas.

2.4.2.2 Gasificación

Es un proceso de oxidación parcial o reacción parcial a una temperatura entre 600 °C y 1,500 °C en una atmósfera pobre en oxígeno.

Figura 26. Esquema de una planta de gasificación



Fuente: "The brilliance of bioenergy", (Sims, 2002)

Es un proceso en el cual se produce gas de síntesis comprimido, principalmente hidrógeno (H₂) y monóxido de carbono (CO). No es una oxidación completa o proceso de combustión, el cual produce básicamente energía térmica en forma de calor y gases como el NO_x, SO₂ y CO₂. La gasificación convierte los hidrocarburos tales como el carbón, el coque de carbón y la biomasa, en un gas de síntesis, o simplemente en una mezcla gaseosa de alto valor económico, que puede ser procesado para producir químicos, fertilizantes, combustibles líquidos, hidrógeno y electricidad (Figura 26).

Tabla 7. Composición típica del gas de síntesis

Componente	Alimentado por aceite (%molar)	Alimentado por coque (%molar)
CO	45.6	47.7
H ₂	43.3	30.3
CO ₂	8.2	17.9
H ₂ O	0.3	0.1
CH ₄	0.4	0.01
Ar	1.0	0.8
N ₂	0.5	1.3
H ₂ S	0.7	1.6
COS	0.0	0.02

Fuente: "What is gasification?", Gasification Technologies Council, (Heaven, 2001)

El proceso funciona de la siguiente manera: Se parte de una biomasa o de un hidrocarburo en las condiciones en las que se encuentre. La biomasa se acondiciona mediante la limpieza, secado y homogeneizado. El reactor presurizado a altas temperaturas es alimentado por la biomasa, el aire

atmosférico y vapor, hasta que las estructuras químicas de la biomasa o hidrocarburos son rotas. Los productos resultantes de la reacción es el gas de síntesis y los residuos (cenizas) que alcanzan valores entre el 4 % y el 12 % según la biomasa inyectada. El gas de síntesis se limpia removiendo las impurezas tales como, el sulfuro, mercurio, partículas y otros que se muestran en la Tabla 7.

El dióxido de carbono, puede ser removido en este punto. El gas de síntesis es entonces utilizado para hacer un producto sencillo tal como un fertilizante o múltiples productos tales como el hidrógeno o vapor para generar electricidad. Actualmente existen las plantas que combinan los sistemas de gasificación con un moderno y altamente eficiente sistema de energía eléctrica de ciclo combinado, que consiste en una o varias turbinas de gas, integradas con turbinas de vapor y se les denomina plantas de energía integradas de gasificación y ciclo combinadas (GICC). La gasificación ayuda también a la producción de aceite de los vastos depósitos de chapopote en Canadá y a sustituir el gas natural proveniente del carbón en América. Los tres principales sistemas de gasificadores empleados actualmente son: Flujo ascendente, flujo descendente y lecho fluidizado.

- **Gasificador de flujo ascendente**

La toma de aire se encuentra en el fondo y los gases salen por arriba como lo muestra la Figura 27. Cerca de la parrilla, en el fondo, tienen lugar las

reacciones de combustión, que van seguidas de reacciones de reducción algo más arriba, en el gasificador. En la parte alta del gasificador tiene lugar el calentamiento y pirólisis de la carga, como resultado de la transferencia de calor, por convección forzada y radiación, de las zonas inferiores.

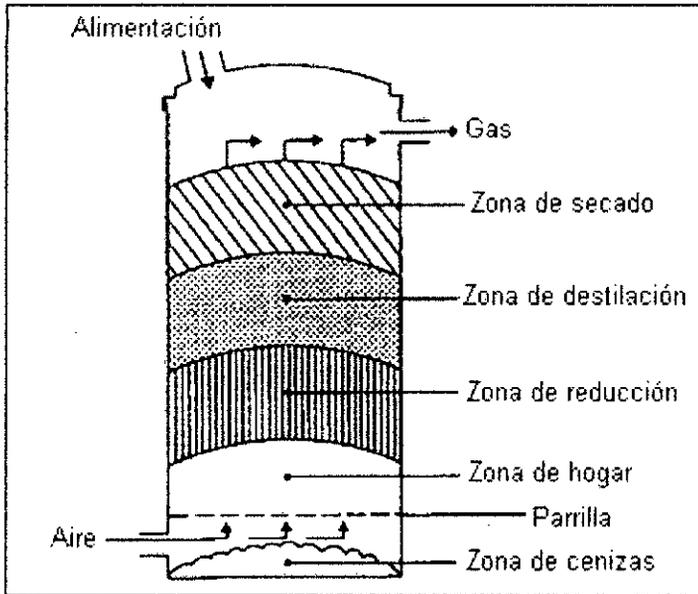
Los alquitranes y productos volátiles producidos durante este proceso son transportados por la corriente de gas. Las cenizas se remueven del fondo del gasificador.

Las principales ventajas de este tipo de gasificador consisten en su simplicidad, alta proporción de carbón vegetal quemado e intercambio interno de calor que genera que baje la temperatura de salida del gas y se incremente la eficiencia del equipo y también la posibilidad de funcionar con muchos tipos de carga (aserrín, cáscaras de cereales, etc.).

Los principales inconvenientes provienen de la posibilidad de que se produzcan chimeneas en el equipo, lo que puede motivar la salida de oxígeno y situaciones explosivas peligrosas y la necesidad de instalar parrillas de movimiento automático y también problemas relacionados con la eliminación de líquidos condensados que contienen alquitranes, resultantes de las operaciones de depuración del gas.

Esto último tiene poca importancia si el gas se emplea para aplicaciones directas del calor, en cuyo caso, los alquitranes se queman.

Figura 27. Esquema del gasificador de flujo ascendente



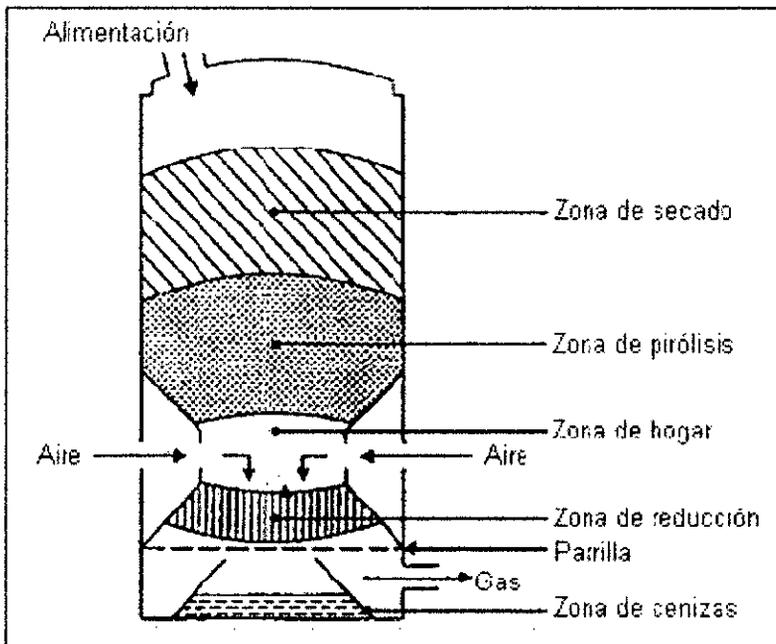
Fuente: "El gas de madera como combustible para motores", (FAO, 1993)

- **Gasificadores de flujo descendente**

Se ha encontrado una solución al problema del arrastre de alquitrán con la corriente de gas, diseñando gasificadores de tiro invertido o corriente descendente, en los cuales el aire de primera gasificación se introduce en la zona de oxidación del gasificador o por encima de ésta. El gas pobre sale por el fondo del aparato, de modo que el combustible y el gas se mueven en la misma dirección, como se muestra esquemáticamente en la Figura 28. En su camino hacia abajo, los productos ácidos y alquitranes de la destilación procedentes del combustible deben pasar a través de un lecho incandescente de carbón vegetal y se transforman por ello en gases

permanentes de hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono y metano.

Figura 28. Gasificador de corriente descendente



Fuente: "El gas de madera como combustible para motores", (FAO, 1993)

Dependiendo de la temperatura de la zona incandescente y del tiempo de paso de los vapores con alquitrán, se logra una descomposición más o menos completa de los alquitranes. La principal ventaja de los gasificadores de tipo invertido radica en la posibilidad de producir un gas sin alquitrán apropiado para aplicarlo a motores. Sin embargo, en la práctica es muy raro lograr un gas libre de alquitranes, en todo el funcionamiento del equipo.

Debido al menor contenido de componentes orgánicos en el líquido condensado, los gasificadores de tiro invertido sufren menos objeciones

ambientales que los gasificadores de tiro directo. Un inconveniente importante de los equipos de tiro invertido es que no funcionan con algunos tipos de biomasa. En particular, los materiales blandos y de baja densidad ocasionan problemas de circulación y una caída excesiva de presión y, el combustible sólido hay que convertirlo en gránalos o briquetas antes de utilizarlo.

Los gasificadores de tiro invertido sufren también los problemas relacionados con los combustibles de alto contenido de cenizas (formación de escoria), en mayor proporción que los gasificadores de tiro directo. Un pequeño inconveniente del sistema de tiro invertido en comparación con el de tiro directo es su baja eficiencia, debida a la falta de intercambio interno de calor y al bajo poder calorífico del gas.

Además de esto, la necesidad de mantener unas temperaturas altas uniformes en una sección transversal determinada, hace imposible el uso de los gasificadores de tiro invertido en una serie de potencias arriba de los 350 KW (potencia en el eje).

- **Gasificados de flujo transversal**

Los gasificadores de tiro transversal, son una adaptación para el empleo de carbón vegetal. La gasificación del carbón vegetal produce temperaturas muy elevadas (1500°C y más) en la zona de oxidación que pueden producir

problemas en los materiales. En los gasificadores de tiro transversal, el propio combustible (carbón vegetal) sirve de aislamiento contra estas altas temperaturas. Las ventajas del sistema, es que pueden funcionar en muy pequeña escala, pudiendo resultar económicamente viables y en ciertas condiciones puede haber instalaciones inferiores a 10 KW (potencia en el eje). La razón está en la gran sencillez del conjunto de depuración del gas (sólo un quemador de ciclón y un filtro caliente) que se puede emplear cuando se utiliza este tipo de gasificador junto con motores pequeños.

Un inconveniente de los gasificadores de tiro transversal es su capacidad mínima de transformación del alquitrán y la necesidad de emplear carbón vegetal de alta calidad (bajo contenido de productos volátiles).

- **Gasificador de lecho fluidizado**

El funcionamiento de los gasificadores de tiro directo y de tiro invertido se ve afectado por las propiedades morfológicas, físicas y químicas del combustible. Los problemas que se encuentran corrientemente son: La falta de tiro en el depósito, la formación de escoria y la excesiva caída de presión en el gasificador. En este gasificador se sopla aire a través de un lecho de partículas sólidas a velocidad suficiente para mantenerlas en estado de suspensión. Se comienza por calentar externamente el lecho y el material de alimentación se introduce tan pronto como se alcanza una temperatura suficientemente elevada. Las partículas del combustible se introducen por

el fondo del reactor, se mezclan muy rápidamente con el material del lecho y se calientan casi instantáneamente alcanzando la temperatura del lecho.

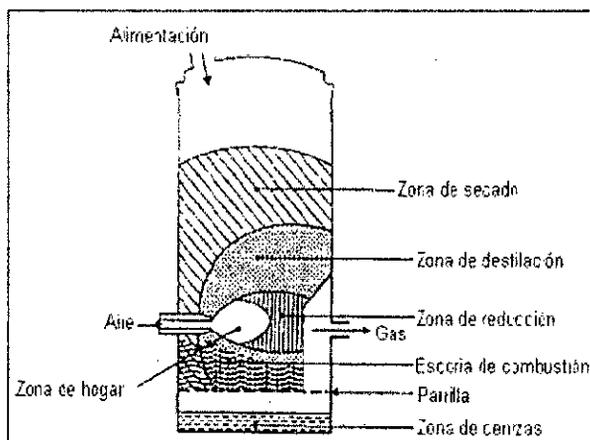
Como resultado de este tratamiento, el combustible se piroliza muy rápidamente, dando como resultado una mezcla de componentes, con una cantidad relativamente elevada de materiales gaseosos. En la fase de gas, se produce una nueva gasificación y reacciones de transformación de los alquitranes. La mayoría de los sistemas van equipados con un ciclón interno, a fin de reducir al mínimo el escape de alquitrán por soplado. En la Figura 29 se ilustra un gasificador de lecho fluidizado.

Las partículas de ceniza se transportan también por la parte superior del reactor, debiendo extraerse de la corriente de gas si éste se emplea en aplicaciones para motores. Un sistema de diseño que pretende eliminar tales dificultades es el gasificador de lecho fluidizado. La selección del tipo de gasificador que se va a emplear depende de la potencia que se desee.

Los gasificadores de lecho fluidizado se utilizan para instalaciones de gran escala, mientras que para pequeñas potencias se prefieren los de flujo descendente. Otros tipos de reactores son los de lecho fluidizado burbujeante, los de lecho fluidizado circulante, y los de lecho fluidizado presurizados.

Otros tipos de reactores son los ciclónicos y los rotatorios, además de diferentes tipos de reactores de cama móvil.

Figura 29. Esquema del gasificador de lecho fluidizado



Fuente: "El gas de madera como combustible para motores", (FAO, 1993)

Hasta potencias de 1 MW se recomienda casi exclusivamente la utilización de gasificadores de flujo ascendente. Este tipo de gasificador es, además, el más sencillo de todos; y para potencias mayores de 10 y hasta alrededor de 50 MW compiten los reactores de tipo flujo descendente y los de lecho fluidizado burbujeante. Para potencias mayores de 100 MW se usan exclusivamente los de lecho fluidizado presurizados. La Tabla 8 indica el tipo de gasificador y la capacidad de salida.

Tabla 8. Capacidad de salida típica para diversos diseños de gasificadores

Tipo de gasificador	Rango en watts
Flujo ascendente	20KW-1MW
Flujo descendente	1MW-15 MW
Lecho fluidizado burbujeante	2MW-50MW
Lecho fluidizado circulante	10MW-120MW
Lecho fluidizado presurizado	80MW-500MW

Fuente: "The brilliance of bioenergy", (Sims, 2002)

La gasificación permite la utilización del carbón doméstico, el coque de petróleo y la biomasa para producir electricidad con reducidos impactos ambientales significativos, comparados con la tecnología de combustión tradicional. Porque el gas de síntesis natural es limpiado antes de la combustión, las plantas de gasificación producen significativamente menos cantidades de contaminantes al aire, tales como el nitrógeno, y el dióxido de sulfuro. La Tabla 9 nos permite ver una comparación de la gasificación y la combustión.

Tabla 9. Gasificación comparada con la combustión del carbón

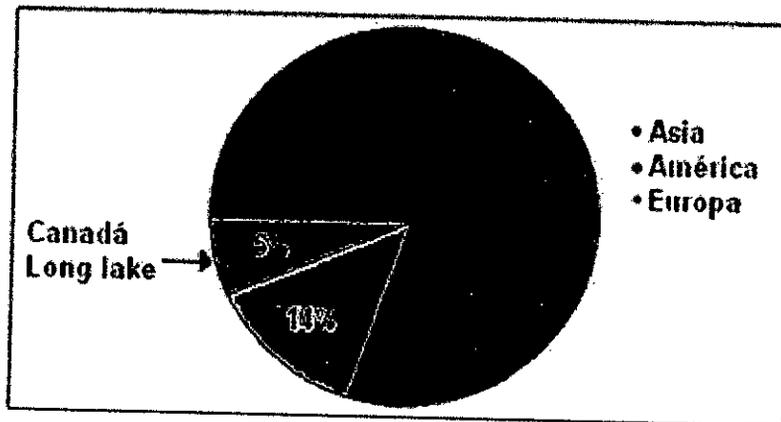
Componentes del carbón	Gasificación	Combustión
Carbono	CO	CO ₂
Hidrógeno	H ₂	H ₂ O
Nitrógeno	N ₂	NO ₂
Sulfuro	H ₂ S	SO ₂
Oxígeno	-	O ₂

Fuente: "Gasification: Redefining clean energy", (GTC, 2009).

La gasificación permite la recuperación de la energía disponible proveniente de materiales de bajo costo, tales como el coque de petróleo, y desperdicios sólidos de basura municipales, reduciendo en ambos problemas el impacto ambiental y los costos de manejo del desecho. El dióxido de carbono puede ser capturado por las plantas de gasificación usando las tecnologías que ya existen antes de la combustión del gas de síntesis en las turbinas de gas.

La gasificación ha sido utilizada comercialmente alrededor del mundo por más de 50 años por las industrias químicas, refinerías y fertilizantes y por más de 35 años por la industria eléctrica. Existen más de 420 gasificadores actualmente, en más de 130 plantas operando en el mundo.

Figura 30. Capacidad mundial de generación eléctrica por gasificación - plantas tipo GICC



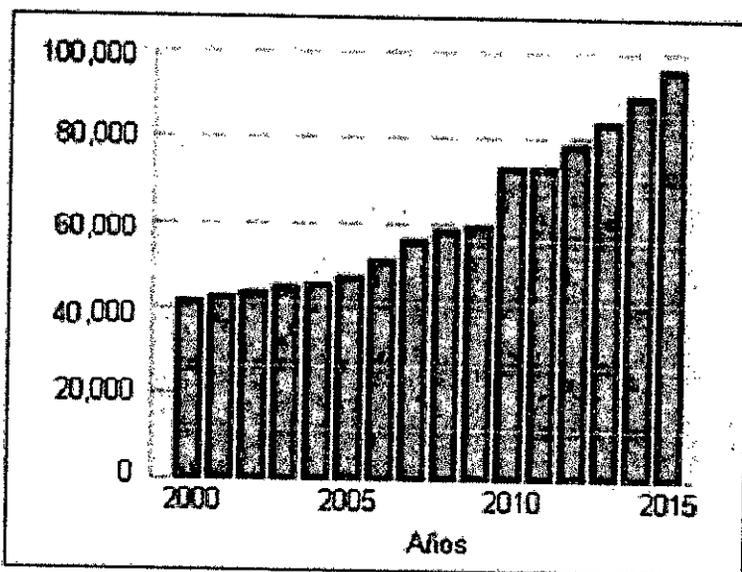
Fuente: "Gasification: Redefining clean energy", (GTC, 2009).

La Figura 30 muestra en porcentaje el desarrollo de la tecnología en el año 2004 al 2009, en los 3 continentes con mayor participación, también se muestra que en Asia se tiene el mayor crecimiento con un aporte del 81%. La capacidad de las plantas gasificadoras está proyectada para tener un crecimiento del 70 % para el año 2015 (Figura 31).

Las principales industrias interesadas en dicho crecimiento son las químicas y las de fertilizantes y las de carbón-líquidos en China y la poligeneración en E.E.U.U, así como refinerías en Europa. China tiene una

expectativa de crecimiento muy alto, desde el año 2004 ha tenido licencias y ha construido 29 nuevas plantas de gasificación.

Figura 31. Proyección hacia el 2015 en gasificación



Fuente: "Gasification: Redefining clean energy", (GTC, 2009).

2.4.2.3 Pirolisis

La pirólisis que también es conocida como carbonización, destilación destructiva, destilación seca, es una descomposición térmica de biomasa en ausencia de aire (aunque algunas tecnologías emplean aire en alguna parte del reactor), que puede llevarse a cabo en lotes o en procesos continuos. En la práctica no es posible conseguir una atmósfera libre de oxígeno; los sistemas pirolíticos son operados con menos que las cantidades estequiométricas necesarias de oxígeno.

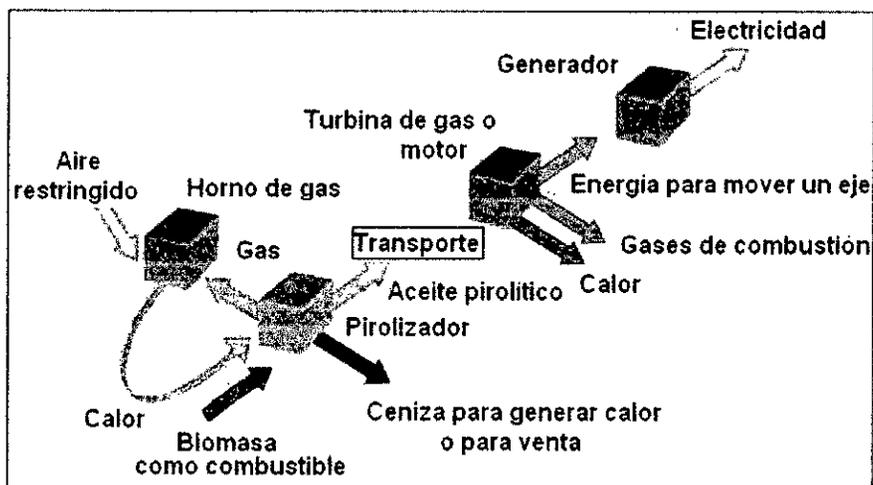
Hay dos grandes diferencias entre los procesos de combustión y pirólisis. El primero, los procesos de combustión son exotérmicos, mientras que la pirólisis es un proceso endotérmico, la pirólisis requiere la adición de calor, y segundo los productos del proceso de combustión son CO_2 , agua, y ceniza, mientras que los productos de la pirólisis son, aceite, gas combustible, aceite y residuos de carbón. Éstos productos pueden ser usados como combustible para un proceso de combustión o como productos intermediarios para síntesis y producción de químicos (Figura 32).

Los reactores pirolíticos operan a presiones cercanas a la atmosférica y a temperaturas adecuadas para volatizar la biomasa en líquidos y gases quedando como residuo carbón vegetal. Cuando las temperaturas se controlan alrededor de los 205°C se obtienen principalmente líquidos, mientras que con temperaturas cercanas a 650°C se obtienen gases como producto principal. En la Tabla 10 se muestran la mezcla de productos formados por las diferentes modalidades de pirólisis para maximizar la obtención del aceite pirolítico, el residuo sólido o el gas.

En general los gases obtenidos de la pirólisis son de bajo poder calorífico (16 a 18 MJ/m^3) y casi siempre una parte importante de ellos se quema para proporcionar el calor requerido por el proceso. Mientras que en procesos rápidos y a temperaturas de entre 800°C a 1200°C se obtienen mezclas de compuestos orgánicos aceitosos y de bajo pH, denominados aceites de pirólisis. Pudiéndose obtener combustibles sólidos (leña, astillas, carbón

vegetal), líquidos (biocarburantes, aceites, aldehídos, alcoholes, cetonas, ácidos orgánicos) y gaseosos (biogás, hidrógeno).

Figura 32. Esquema de una planta de pirólisis



Fuente: "The brilliance of bioenergy", (Sims, 2002)

Tabla 10. Productos obtenidos en las diferentes modalidades de pirólisis

Modalidad	Temperatura	Tiempo	Líquido (%)	Residuos sólidos (%)	Gas (%)
Pirólisis rápida	Moderada	Corto	75	12	13
Carbonización	Baja	Muy largo	30	35	35
Gasificación	Alta	Medio	5	10	85

Fuente: "The brilliance of bioenergy", (Sims, 2002)

Existen distintos procesos de conversión pirolítica, que emplean diferentes materias primas (tipos de Viqueira, 1985). Las mayores diferencias entre los sistemas pirolíticos se presentan en la manera como se proporciona el calor auxiliar requerido en el proceso. La destilación destructiva de madera y otros productos agrícolas para producción de metanol, carbón vegetal y gas de bajo poder calorífico es el proceso de pirólisis. Los aceites obtenidos de la pirólisis tienen un bajo contenido de azufre, cenizas y nitrógeno, y al quemarse, crean pocos problemas de contaminación ambiental. Por otra parte, son ácidos y sensibles al calor por lo que requieren de ciertas precauciones al ser manejados y almacenados. En la tabla 11 se muestran los poderes caloríficos de los diversos productos obtenidos del proceso de la pirólisis.

Entre los sistemas comercialmente disponibles o en estado de desarrollo avanzado pueden distinguirse:

- ✓ El de "Tech air", desarrollado en el Instituto de Tecnología de Georgia.
- ✓ El de Garret Energy Research, para estiércol.
- ✓ El de la Autoridad del valle de Tenesse (TVA), en una unidad transportable, para desechos de madera.
- ✓ El sistema francés Nilmelior.
- ✓ Los hornos alemanes DRP
- ✓ EL flash de pirólisis de origen occidental, desarrollado para desechos urbanos con alto contenido de celulosa.
- ✓ El horno de Nichols-Herreschoff, usado ampliamente como base para la producción de carbón.
- ✓ Vegetal "rostizado".

Tabla 11. Poder calorífico (diversos productos) resultante en el proceso de pirólisis

Productos obtenidos	Poderes caloríficos
Residuos sólidos	(MJ/Kg)
Desechos sólidos urbanos	19
Llantas	29
Madera	33
Carbón bituminoso	30
Aceites	(MJ/Kg)
Desechos sólidos urbanos	25
Llantas	42
Biomasa	25
Diésel	46
Gases	(MJ/m³)
Desechos sólidos urbanos	18
Llantas	40
Madera	16
Gas natural	37

Fuente: "Waste Treatment and Disposal", (Williams, 2005).

2.4.3 Residuos sólidos urbanos

2.4.3.1 Gestión de RSU, manejo, tratamiento y depósito

Un residuo es todo material o producto que se desecha, que puede encontrarse en estado sólido o semisólido, líquido o gaseoso. Dentro de los residuos sólidos, hay dos grandes tipos de residuos: (i) Los orgánicos o materiales biodegradables (sobras de comida, hojarasca, papel, cartón, madera), y (ii) residuos inorgánicos o no biodegradables, como vidrio, plástico, metales y otros materiales inertes. La Figura 33 muestra la composición de los residuos sólidos generados en el Perú.

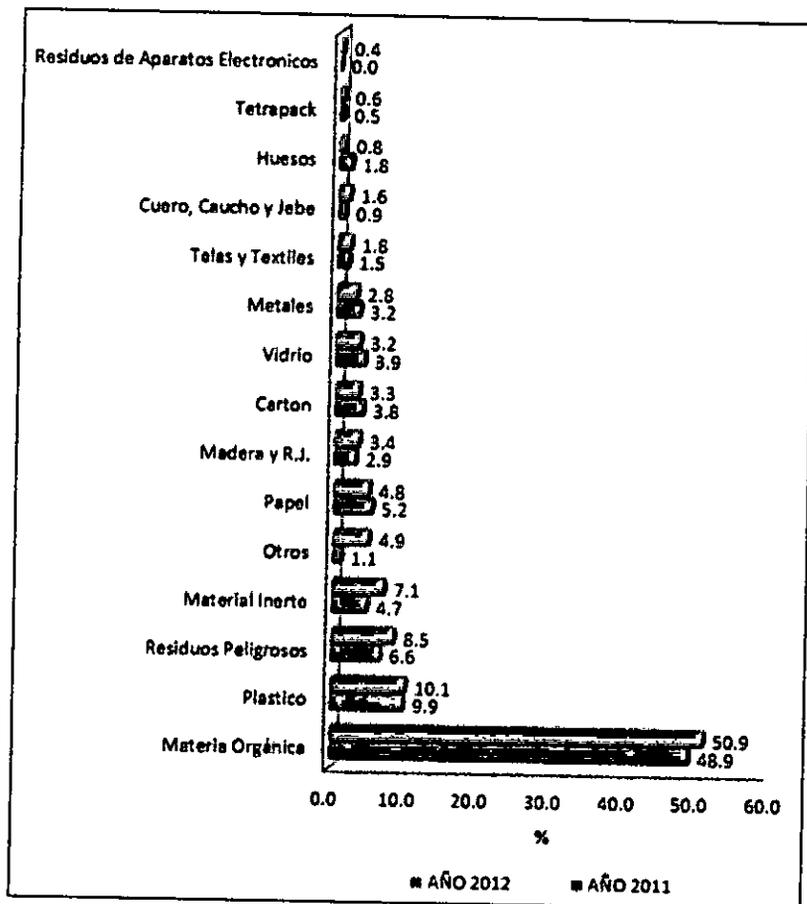
La basura acumulada en las calles altera la imagen y la infraestructura urbanas. La descomposición de la basura produce malos olores y origina plagas y fauna nociva, lo que a su vez genera enfermedades entre la población. Esta situación se agrava cuando se depositan los residuos en tiraderos clandestinos, carreteras, barrancas, situación que empeora al mezclarse residuos de los hogares, restos de madera, cajas de cartón plásticos, escombros, metales, estopas, botes de aceite, focos, entre muchos otros.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son los generados principalmente en los hogares. El volumen estimado de generación nacional de RSU en el 2010 y 2011 fue de 4,21 y 5,04 millones de toneladas. En 2010, los departamentos que generaron mayor volumen de RSU fueron Lima 2,4 millones de toneladas, seguido por la Libertad, Piura y Arequipa con una contribución de 332, 284 y 236 mil toneladas respectivamente. En contraste, los departamentos de Madre de Dios y Tumbes contribuyeron con el menor volumen de RSU con 17,6 y 23,2 mil toneladas respectivamente. (Ver Figura 34).

En 2011, según las estimaciones para la cobertura promedio de recojo de residuos sólidos urbanos a nivel del país fue de 73,1% del total de residuos sólidos urbanos generados. Los departamentos con la mayor recolección fueron Lima (90% del volumen generado, incluye el Callao), Moquegua y Ancash (ambos con el 91%), La Libertad (81%), Arequipa (79%), mientras

que las que tuvieron la menor recolección fueron los departamentos de Tumbes (52,5%), Madre de Dios (40%) y Apurímac (35%).

Figura 33. Composición de Residuos Sólidos en el Perú



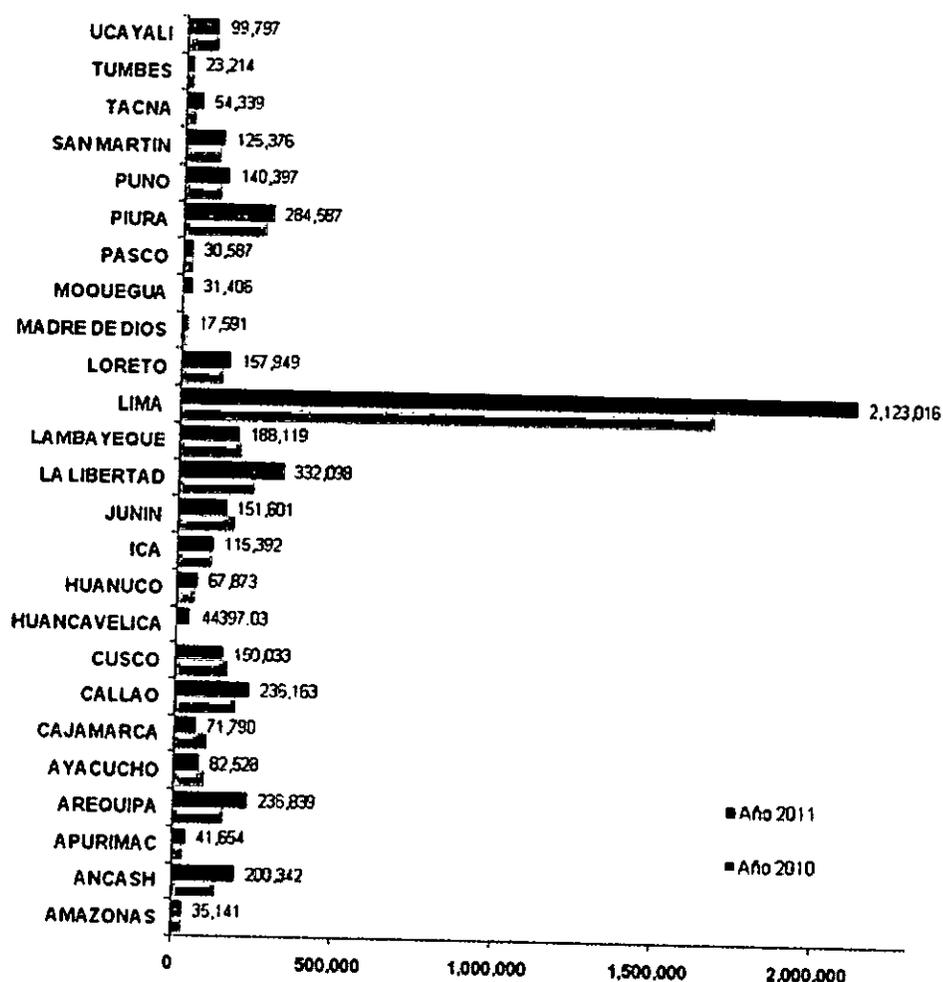
Fuente: "Quinto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales", (MINAMB, 2013)

2.4.3.2 La jerarquía del manejo de los residuos sólidos municipales

El manejo integral y sostenible de los residuos sólidos combina flujos de residuos, métodos de recolección y procesamiento, de lo cual derivan

beneficios ambientales, optimización económica y aceptación social en un sistema de manejo práctico para cualquier región. Esto se puede lograr combinando opciones de manejo que incluyen esfuerzos de reusó y reciclaje, tratamientos que involucran compostaje, metanización (biogás), incineración con recuperación de energía, así como la disposición final en rellenos sanitarios.

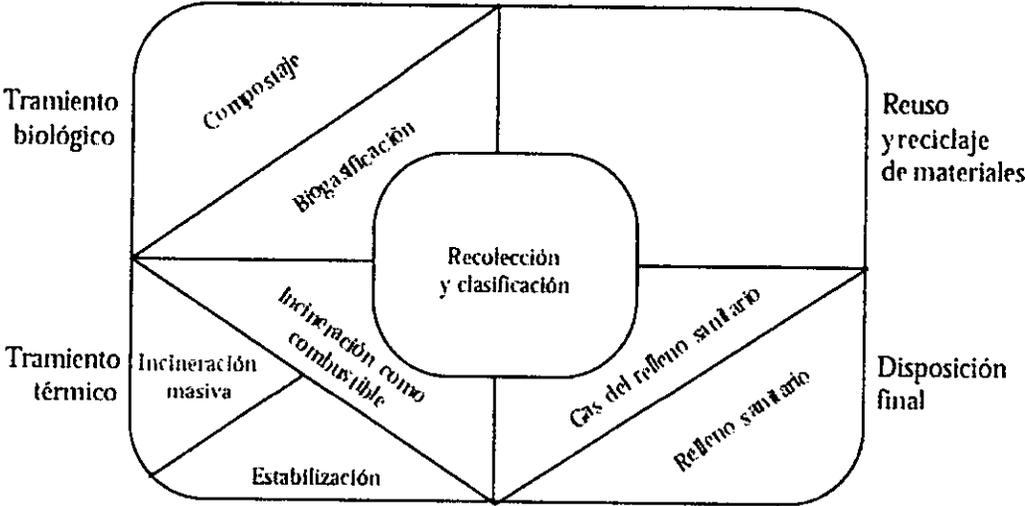
Figura 34. Generación de Residuos Sólidos Urbanos (toneladas/año)



Fuente: "Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales", (MINAMB, 2012)

El concepto de manejo integral de los residuos sólidos municipales le da una nueva dimensión al enfoque comúnmente conocido como la jerarquía del manejo de residuos sólidos referido en la Figura 35. El cual prioriza las opciones de manejo de residuos en un orden de preferencia que parte de la prevención en la generación, del reuso, reciclaje o compostaje, de la incineración con recuperación de energía, de la incineración sin recuperación de energía, y del confinamiento en rellenos sanitarios como última opción. Este enfoque ha influido significativamente en las decisiones y estrategias de manejo de residuos a nivel local, nacional e internacional durante los últimos años (SEMARNAT, 2001).

Figura 35. Manejo integral y sustentable de los RSM



Fuente: (SEMARNAT, 2001).

- **Reciclaje**

Aunque el reciclaje es muy favorecido por la sociedad, en ciertos casos puede llegar a tener algunos aspectos negativos. Como parte de una estrategia de manejo integral de los RSM, el reciclaje de subproductos puede ayudar a conservar recursos, evitar que materiales valorizables contenidos en los residuos vayan a disposición final y hacer participar al público en general en el tema. Sin embargo, en muchos casos se han creado expectativas irreales acerca de la contribución que el reciclaje puede hacer en un sistema de manejo integral de RSM (SEMARNAT, 2001). El reciclaje es un proceso complejo que en sí consume recursos durante el transporte, selección, limpieza y reprocesado de los materiales reciclables. Además, en este proceso también se producen residuos.

Por lo antes expuesto, el reciclaje debe ser considerado como parte de una estrategia integral para manejar los residuos, no como un fin en sí mismo, y promoverse únicamente cuando ofrece beneficios ambientales globales. Un manejo sostenible de residuos que proporcione mejoras ambientales reales de una manera económica y socialmente aceptable, sólo puede ser alcanzado a través de metas que sean parte de objetivos ambientales más amplios, tales como: Reducción de gases de efecto invernadero, disminución de tasas de residuos que llegan a rellenos sanitarios y maximización del aprovechamiento de los recursos.

Los beneficios obtenidos del reciclaje son mayores cuando los residuos se componen de materiales valorizables. La selección obligatoria de materiales reciclables a nivel domiciliario, constituye una acción esencial para el éxito de cualquier programa de reciclaje. Los residuos domiciliarios contienen pequeñas cantidades de muchos materiales mezclados y frecuentemente contaminados, no todos los cuales pueden ser reciclados. La clave es integrar el reciclado de los residuos domiciliarios, como parte de una estrategia de gestión integral.

Entre los factores a considerar para un programa de reciclaje, así como para la industrialización y comercialización de los productos reciclables recuperados de los RSM se encuentran los siguientes:

El material recuperado en un programa de reciclaje es un residuo, hasta que no se le encuentre un mercado para que sea transformado en un producto útil.

La comercialización de los materiales reciclables es un factor importante en la toma de decisiones para el establecimiento de un programa municipal de separación en la fuente y reciclaje de residuos. La determinación de qué materiales reciclar, cómo separarlos y recolectarlos, cuánta preparación requieren y cómo lograr todo lo anterior, dependerá de las opciones de comercialización disponibles.

Frecuentemente, el aspecto más problemático de un programa de reciclaje es encontrar mercados estables para los materiales recuperados.

La comercialización ineficiente puede traducirse en pérdida de ingresos, problemas administrativos y desinterés del público en participar en las etapas de selección y acopio de materiales reciclables. Por lo anterior, al implantar un programa de reciclaje, es fundamental dar prioridad a la comercialización de los subproductos reciclados.

La comercialización de los materiales secundarios involucra la necesidad de contactar a una empresa (micro, pequeña o grande) y llegar a un acuerdo de compra-venta con ella, de manera que tome el material "tal cual" o con un mínimo de acondicionamiento para usarlo en la manufactura de un nuevo producto.

Otra alternativa, consiste en localizar a un comprador que limpie el material o lo procese en forma sencilla, para convertirlo en materia prima aceptable por una tercera empresa industrial.

Composición de la industria del reciclaje

La industria del reciclaje consiste en una gran variedad de negocios que incluyen desde individuos que trabajan por su cuenta, hasta grandes empresas multinacionales, las cuales se agrupan en cinco tipos:

Recolectores: Cuya función primaria es identificar materiales reciclables y transportarlos desde la fuente hasta el local de los compradores. En este

caso se encuentran los pepenadores y los ropavejeros, así como los pequeños empresarios que adquieren residuos y recortes industriales.

Acopiadores-acondicionadores: Los cuales compran materiales reciclables, les aplican un proceso simple (como selección, densificación y flejado) y los revenden a una empresa manufacturera. Algunos se especializan en materiales reciclables específicos y llevan a cabo operaciones más amplias tales como lavado, triturado, aplastado o compactación de los mismos, antes de venderlos.

Corredores independientes: Que compran o aceptan materiales reciclables, los venden a más de un usuario final y organizan la transferencia de los materiales, todo ello por una tarifa o un porcentaje de la operación.

Recicladores: Empresas que someten al material recolectado a un proceso de limpieza y acondicionamiento industrial, para poder ser usado nuevamente en un proceso industrial como materia prima.

Usuarios finales: Quienes adquieren y procesan grandes cantidades de subproductos reciclados, para uso en sus operaciones de manufactura.

- **Tratamiento biológico**

Dentro de un sistema de manejo integral de residuos sólidos, el tratamiento biológico se enfoca en los residuos orgánicos húmedos, como los alimentos

y los residuos de jardín. La fracción orgánica varía significativamente entre lugares y estaciones. En la mayoría de los países industrializados la fracción orgánica representa 20% de los residuos sólidos municipales. En países en vías de desarrollo, la materia orgánica llega a exceder 50% de éstos.

El seleccionar los residuos orgánicos dentro de una estrategia integral tiene varios beneficios: Convertir los residuos orgánicos en un producto útil (compost) ó recuperar energía (SEMARNAT, 2001). El modo más simple para introducir el tratamiento biológico a un sistema de manejo integral de residuos sólidos es promover la elaboración de compost en los domicilios. Esto evita costos de recolección y mantiene el material orgánico completamente separado de los otros residuos, lo que mejora de manera significativa su manejo. En dado caso que el compostaje casero no sea una opción viable, se pueden recolectar los residuos orgánicos por separado para ser llevados y tratados en plantas, ya sea de compostaje o para su digestión.

Separar la fracción húmeda de los residuos sólidos incrementa el valor de otros residuos y reduce la cantidad de gas o lixiviado generado en los rellenos sanitarios. Los dos métodos básicos para tratar los residuos orgánicos son: Aerobio (en presencia de oxígeno) y anaerobio (en ausencia

de oxígeno). El compostaje se lleva a cabo en condiciones aerobias, ya sea a nivel hogar o en grandes plantas de compostaje.

- **Tratamiento termoquímico**

Existen tecnologías sólidas que procesan grandes volúmenes de residuos mezclados a partir de los cuales se puede recuperar energía útil, extendiendo significativamente la vida productiva de los rellenos sanitarios. A pesar de estos beneficios, el tratamiento térmico de los residuos frecuentemente genera resistencia pública. Existe la percepción de que el tratamiento térmico impide que sean reciclados los materiales y que las emisiones son peligrosas para la salud y el ambiente. La conversión térmica puede llevarse a cabo de varias maneras: Incineración (generalmente con recuperación de energía), pirólisis y gasificación.

La energía recuperada de los procesos de tratamiento térmico puede ser convertida en vapor de proceso para la industria o en electricidad. El tratamiento térmico puede reducir el volumen de los residuos hasta 90%, contribuyendo significativamente a disminuir el aporte a otras opciones de manejo dentro de un sistema integral, particularmente al relleno sanitario. En ciertos países de Europa existe legislación que limita el volumen del contenido orgánico de los residuos que van a los rellenos sanitarios. Estos requisitos solo se cumplirán si el tratamiento térmico es parte integral de un manejo de residuos sólidos. Existe mucha ansiedad pública respecto de los

potenciales efectos que las emisiones de plantas de tratamiento térmico pueden tener en la salud humana y en el medio ambiente. La emisión de dioxinas y compuestos relacionados es de particular preocupación. Por esta razón una parte muy significativa del costo de las plantas de tratamiento térmico se invierte en equipos de control de emisiones a la atmósfera.

La remoción de materiales no combustibles para ser reciclados como por ejemplo vidrio y metal, mejora la combustión, incrementando el poder calorífico del residuo a incinerar. Los procesos de tratamiento térmico generan residuos que requieren disposición adecuada. En el caso de la incineración estos residuos incluyen cenizas. Las cenizas más pesadas que se recolectan en la cámara de combustión pueden disponerse en rellenos sanitarios o pueden ser usadas como agregados en la construcción de carreteras o en la industria de la construcción, dependiendo de su composición y de la normatividad aplicable. Las cenizas ligeras que se recolectan en los equipos de control de emisiones a la atmósfera típicamente contienen altos niveles de metales y sales, por lo que deben ser tratadas antes de ser dispuestas. Las opciones de tratamiento a considerar incluyen la vitrificación, la solidificación, la extracción química o la disposición final en rellenos sanitarios especiales.

2.4.3.3 Vertedero controlado

Un vertedero se considera controlado cuando se toman las medidas oportunas para evitar todo lo que sea nocivo o molesto (López, 1975). El establecimiento de un vertedero controlado implica no solo la utilización de medios mecánicos, también de las siguientes reglas:

Las basuras se descargan en capas sucesivas de espesores de 1.5 a 2 m.

Las capas se nivelan y se limitan por taludes, al objeto de que las lluvias no las arrastren. Se operará sobre un frente limitado al objeto de limitar los taludes descubiertos.

El depósito debe ser debidamente compactado y no debe contener clase alguna de bolsas de aire. Los objetos voluminosos deben ser quebrados o divididos y colocados preferentemente en la base de los taludes.

Los depósitos deben recubrirse con tierra o con materias apropiadas que constituyen la cobertura.

Se colocarán telas metálicas móviles en la zona de explotación para evitar que vuelen los papeles en el momento de la descarga. Asimismo se aconseja cercar el vertedero con tela metálica de 1.5 m de altura como mínimo y rodearlo de árboles. El cerramiento impedirá la entrada de: personas extrañas y permitirá un adecuado control por la puerta existente.

Al colocar la basura de esta forma, la materia orgánica que contiene comienza a fermentar de forma aerobia y anaerobia en las capas superior e inferior, respectivamente.

Existen tres clases de vertederos controlados:

- **Vertedero controlado tradicional**

En este procedimiento no se coloca, si ello es posible, una nueva capa hasta que la anterior no baje su temperatura a la natural del suelo. El depósito debe compactarse suficientemente pero sin exceso para evitar las bolsas de aire que favorecen los incendios. La basura debe ser recubierta de tierra antes de las 72 horas, y con una capa de 10 a 50 cm de espesor. En el recubrimiento es especialmente recomendable el empleo de arena y de chatarra, pues asegura la circulación del agua de lluvia y evita la formación de aguas estancadas. En este tipo de vertederos, los malos olores se evitan con la capa de recubrimiento, como también la salida al exterior de larvas y moscas y los roedores no encuentran comida a su alcance. Así mismo, es difícil que se produzcan incendios, dado que el depósito queda suficientemente comprimido y por lo tanto no hay suficiente aire en su interior para la combustión.

- **Vertedero de basura compactada**

Se trata de un sistema que se está extendiendo rápidamente y, si se controla debidamente, los resultados son buenos, sin peligro ni molestia

vertedero queda en condiciones adecuadas facilitando la fermentación tanto aerobia como anaerobia, la basura triturada no atrae moscas, roedores y pájaros.

La basura triturada es aireada uniformemente, por lo que la fermentación aerobia transforma muy rápidamente las materias orgánicas cercanas a la superficie, constatando una nueva reducción de volumen después de la fermentación. Reiterando que no es necesaria la capa de cobertura, extendiéndola únicamente al cerrar el vertedero para cultivar una zona verde, un campo de golf, etc. Las capas de basura deben limitarse estrictamente a 2 m de espesor, y dejar transcurrir un período de dos meses para cubrirla con otra capa igual.

La instalación de molienda de la basura puede estar situada en la estación de transferencia, o bien en el mismo vertedero. Para la instalación de un vertedero controlado por cualquiera de los dos sistemas citados, es interesante elegir una depresión del terreno, pero haciendo un estudio geológico adecuado para evitar filtraciones a agua subterránea o arrastres de corriente de agua superficial.

2.4.3.4 Relleno sanitario

El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura más completo y de menor costo en inversión que existe, siempre que se cuente

vertedero queda en condiciones adecuadas facilitando la fermentación tanto aerobia como anaerobia, la basura triturada no atrae moscas, roedores y pájaros.

La basura triturada es aireada uniformemente, por lo que la fermentación aerobia transforma muy rápidamente las materias orgánicas cercanas a la superficie, constatando una nueva reducción de volumen después de la fermentación. Reiterando que no es necesaria la capa de cobertura, extendiéndola únicamente al cerrar el vertedero para cultivar una zona verde, un campo de golf, etc. Las capas de basura deben limitarse estrictamente a 2 m de espesor, y dejar transcurrir un período de dos meses para cubrirla con otra capa igual.

La instalación de molienda de la basura puede estar situada en la estación de transferencia, o bien en el mismo vertedero. Para la instalación de un vertedero controlado por cualquiera de los dos sistemas citados, es interesante elegir una depresión del terreno, pero haciendo un estudio geológico adecuado para evitar filtraciones a agua subterránea o arrastres de corriente de agua superficial.

2.4.3.4 Relleno sanitario

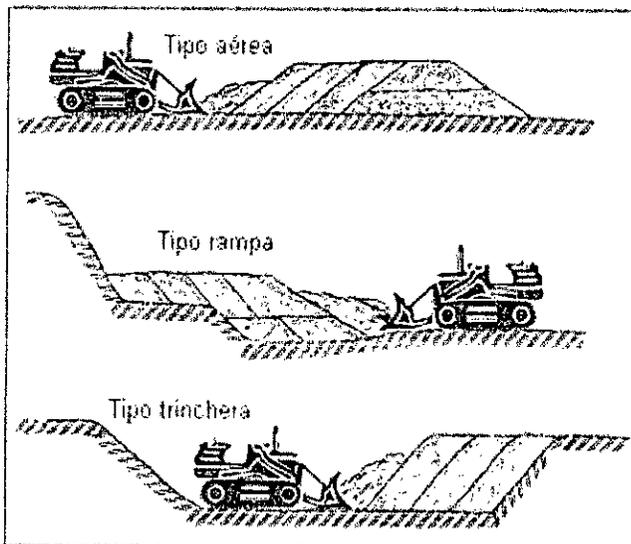
El relleno sanitario es el método de disposición final de la basura más completo y de menor costo en inversión que existe, siempre que se cuente

con un terreno a bajo costo; es también uno de los métodos más antiguos. La Figura 36 muestra las modalidades de los diversos rellenos sanitarios. Un buen relleno sanitario se debe apegar a estrictos códigos de operación basados en principios sólidos de ingeniería. Estos principios se definen cada vez mejor conforme avanza el conocimiento sobre el comportamiento de los materiales de desecho en las condiciones del relleno.

Algunas de las principales ventajas de este método son las siguientes:

- Si se consigue un terreno a bajo costo, es el método más económico para la disposición de los desechos sólidos.
- La inversión inicial es baja comparada con otros métodos de disposición.
- Es un método completo de disposición final; es decir, no deja residuo.
- Se puede poner en operación en corto tiempo.
- Recibe todo tipo de desechos sólidos, con esto se elimina la necesidad de colecciones separadas.
- Es flexible ya que puede disponer cantidades mayores o menores de basura con poco personal o equipo adicional.
- Una vez terminado el proceso, el terreno se puede habilitar como campos deportivos, aeropuertos, estacionamientos, etc.

Figura 36. Diferentes modalidades de rellenos sanitarios



Fuente: (Trejo, 1999)

Sin embargo, también pueden existir algunas desventajas, como son:

- En áreas muy pobladas, el terreno apropiado puede no estar dentro de distancias costeables para el transporte.
- La ubicación del relleno en áreas residenciales puede tener fuerte oposición pública.
- Un relleno terminado tendrá asentamientos y requerirá mantenimiento periódico.
- Las construcciones permisibles sobre el relleno son especiales y muy limitadas debido a los gases y asentamientos.

2.4.3.5 Descomposición de la basura

Se sabe que la basura sufre un proceso de descomposición y fermentación después de depositada en un relleno sanitario. Sin embargo, es muy difícil predecir tal descomposición debido a la heterogeneidad del material y al poco conocimiento que existe sobre los diferentes mecanismos de descomposición que operan en la basura. Algunos de los cambios físicos, químicos y biológicos más importantes que sufre la basura durante su descomposición son los siguientes:

- ✓ Decaimiento biológico de compuestos orgánicos con generación de gases y líquidos
- ✓ Oxidación química de materiales
- ✓ Escape y difusión de gases a través del relleno
- ✓ Disolución (lixiviado) de materiales orgánicos e inorgánicos por el agua y por el propio lixiviado
- ✓ Movimiento de líquidos durante y después del relleno
- ✓ Asentamientos causados por consolidación del material en los huecos creados por la descomposición, lixiviado y paso del gas.

Actualmente se distinguen cuatro etapas en la descomposición de la basura: (i) Aerobia, (ii) anaerobia no metano-génica, (iii) anaerobia metano-génica inestable y (iv) anaerobia metano-génica estable.

Los residuos en el relleno sanitario tradicional se descomponen de forma anaerobia, y existe fermentación aerobia sólo en la capa superior. Como se sabe, la descomposición aerobia es más rápida, pero se requiere una proporción adecuada de aire y agua dentro de la basura. Para favorecer esta descomposición, conviene que el espesor de la capa superior no sea mayor de 2 m, que la basura no esté demasiado compactada, que la capa de material de cubierta sea porosa, y que los taludes no sean excesivos. En aquellos rellenos que se manejan manualmente o con máquinas pequeñas, la descomposición aerobia ocasiona que las temperaturas a 70 cm de profundidad asciendan de 40 a 60° (entre los tres y 14 días y disminuye unos 15 °C después de 15 semanas).

Ahora bien, en los rellenos que se colocan con maquinaria pesada, las temperaturas máximas son más bajas por procesos anaerobios. Este comportamiento es prácticamente independiente del clima, ya que la elevación de temperatura está en función de la actividad microbiana aerobia.

Algunos estudios sobre degradación aerobia indican que al moler la basura y facilitar su oxidación con sopladores de aire a baja presión en un lapso de seis a 12 meses se logró duplicar la compactabilidad de la basura. Se cree que las condiciones anaerobias en un relleno se producen aproximadamente un mes después de que se colocó el material. La descomposición anaerobia produce gran cantidad de gases, lo que crea mayor presión en el relleno y mayor velocidad de difusión de los gases.

Un relleno es una masa en movimiento constante con importantes cantidades de material biológico. Si los lixiviados se colectan en una laguna anaerobia se puede regular la proporción de líquido en el relleno y estimular el crecimiento de microorganismos en el líquido. Esto constituye un inóculo muy efectivo para el proceso de digestión. Diversos estudios sobre descomposición concuerdan en que los principales gases presentes en un relleno son el hidrógeno (H_2), oxígeno (O_2), nitrógeno (N_2), metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). También se detectaron trazas de ácido sulfhídrico (H_2S) y, en los casos en que el pH es altamente alcalino, se descubrió la presencia de amoníaco (NH_3).

Los primeros gases que se producen en la descomposición son CO_2 y H_2 que aparecen a los pocos días de haber depositado y cubierto los residuos. Después de dos semanas, aproximadamente, la concentración de CO_2 es superior al 80%, nivel que tiende a bajar más o menos a la mitad una vez transcurridos dos meses y después se estabiliza. El rápido aumento de

CO₂, se acompaña de una veloz descomposición de O₂. El hidrógeno alcanza su máxima concentración, que es aproximadamente del 20%, entre la primera y la segunda semanas y luego disminuye constantemente, de modo que después de un año su concentración es alrededor de 1%.

El hidrógeno molecular presente es indicativo de que existen condiciones en la fermentación que propician la reducción de hidrógeno. En la etapa anaerobia no metano-génica, la materia orgánica se descompone en ácidos orgánicos mediante organismos facultativos y anaerobios. En la etapa metano-génica inestable el gas metano, presente en trazas desde la segunda semana, alcanza valores significativos, rebasa el 5%, y se mantiene con tendencia a aumentar durante la etapa, hasta llegar, finalmente, a concentraciones de 40 a 50% si son óptimas las condiciones de fermentación anaerobia. Los gases que se encuentran en el relleno se estratifican y en la parte más baja quedan el CO₂, CH₄ y H₂.

En la parte superior se localiza N₂ y O₂. En esta etapa el nitrógeno orgánico ya se convirtió en nitratos y el hidrógeno, el fósforo y el azufre orgánico formaron agua, fosfatos y sulfatos. Al mismo tiempo, se liberaron trazas de minerales disueltos o arrastrados en el lixiviado. La compactación es un parámetro importante en la cantidad y composición de gases producidos; a mayor compactación se obtiene más gas por unidad de volumen de sólidos. Los cambios más notables en los materiales orgánicos ocurren en los

primeros 60 días, aún después de dos años los rellenos están lejos de estabilizarse.

En la etapa metano-génica estable se producen metano y dióxido de carbono a partir de los ácidos orgánicos procedentes de la descomposición de la materia orgánica. Esta etapa dura mientras existe materia orgánica susceptible de descomponerse. Los gases producidos son, casi en su totalidad CO₂ y CH₄, y se cree que se producen equimolarmente. El tiempo transcurrido para lograr la fase metano-génica estable varía, ya que depende de la humedad y composición de la basura.

En sitios donde se alcanza rápidamente la fase metano-génica estable implantar este sistema resulta problemático, porque aún no se alcanza la altura final del relleno. Durante el periodo inicial de gran producción de CO₂, la velocidad de difusión de éste es de 0.2 a 0.3 metros/día. Al disminuir el gradiente de concentración de CO₂, disminuye también su velocidad de difusión. Algunos estudios estiman que la cantidad de CO₂ que sale a la atmósfera es 18 veces mayor que la cantidad que pasa al suelo desde el relleno.

El tiempo de actividad del relleno, es decir, el tiempo en que se producen gases todavía no se mide experimentalmente. Sin embargo, se han hecho estimaciones teóricas al tomar como base la cantidad total de carbono, presente al principio, y su velocidad de desaparición observada

experimentalmente. Se espera que exista una concentración importante de CO₂, durante muchos años, en las capas inferiores del suelo, en donde se difundirá. De esta manera, el CO₂ puede llegar a contaminar el agua subterránea, aunque esto depende de la profundidad a que se encuentre ésta y de la dilución posible.

Para estimar la cantidad de agua que un relleno sanitario puede admitir sin producir lixiviado, algunos estudios consideran que una libra de carbono convertida en CO₂ aerobiamente, producirá en la oxidación calor suficiente para calentar 5.42 kilogramos de agua de 0 a 100 °C y evaporarla. Con este dato, por ejemplo, para el caso de una basura típica de 200 Kg/m³ de densidad, con un espesor de 1.5 metros de profundidad, si el 35% de su peso seco es carbón y asumiendo que la mitad de éste se transforma en CO₂ en 140 días. El calor de la oxidación originará una evaporación de agua de 0.09 a 1.1 Kg de agua/metro al día; es decir, el equivalente a una precipitación anual de 162 centímetros.

En la consideración anterior se asume que se cede todo el calor a humedad. Sin embargo, una parte se usa para calentar la basura y la otra se pierde en el aire. Diversos autores proponen el modelo ya estudiado de la descomposición de la celulosa para la modelación de la descomposición de la basura. Según este modelo, en una primera fase aerobia se producen las siguientes dos reacciones catalizadas por microorganismos aerobios:

Celulosa----->Glucosa

Glucosa + Oxígeno-----> CO₂+ Agua + Energía

Si se suman las reacciones teóricas anteriores, se puede ver que la celulosa se oxida completamente y produce CO₂ y agua, en condiciones aerobias. En este caso, la liberación de energía es de 688,000 cal/mol de glucosa. Para condiciones anaerobias el 50% del carbón en la celulosa se oxida en CO₂ y el otro 50% se reduce en CH₄ Libera sólo 57,000 cal/mol de glucosa, cuando todas las reacciones bioquímicas son completas. En algunos estudios se propone una ecuación sobre una base molar empírica para la oxidación aerobia de la materia orgánica. Esta se desarrolla sólo que el nitrógeno se oxide y produzca nitrato.

Ahora bien, aunque se sabe que en sistemas de agua natural la nitrificación proviene de la oxidación de amoníaco en nitritos, por intermediación de las bacterias Nitrosomonas, y la subsecuente oxidación de los nitritos en nitratos, por las bacterias Nitrobacter, tal fenómeno no se ha medido en el ambiente del relleno sanitario. La mayoría de los microorganismos aerobios son capaces de oxidar completamente la glucosa, mientras que en condiciones anaerobias la descomposición de celulosa en CO₂ y CH₄, se realiza por grupos de bacterias capaces de utilizar sólo sustratos específicos.

En el proceso anaerobio, la conversión de etanol en ácido acético y CO₂ y la conversión de ácido acético en CO₂ y metano se realiza principalmente por *Methanobacterium onielianskii* y bacterias de metano. Estas son originarias de la flora natural del suelo, del agua o de los propios residuos sólidos. En primera instancia estas bacterias solubilizan los residuos insolubles mediante enzimas hidrolíticas extracelulares, para luego digerirlos dentro de las células gracias a la acción de endoenzimas.

Parte del residuo metabolizado se transforma en nuevo material celular y parte en metano, CO₂ y otros. A esto se debe que la descomposición de la celulosa sea relativamente lenta en condiciones anaerobias. Prueba de ello es que trozos de periódico, de estratos anaerobios, aún son legibles después de 40 años. Mediante técnicas de radioisótopos y agua pesada se ha logrado demostrar que del total de metano generado en proceso de digestión de celulosa, dos tercios provienen del ácido acético y un tercio de la reducción de CO₂.

En general, se conocen poco las bacterias actuantes en las diferentes etapas de la degradación anaerobia. Porque no se pueden cultivar en laboratorio. La mayoría son anaerobias estrictas, aunque también hay facultativas. Las más conocidas son las generadoras de metano sobre las que hay bastante información, dado el interés en la producción de energéticos. De acuerdo con las cuatro etapas consideradas en la descomposición de basura, se sabe que en la primera etapa (hidrólisis fermentativa), se encuentran altas concentraciones de bacterias

proteolíticas de (1 a 100 millones/g), la mayoría son anaerobias facultativas, entre ellas predomina la Clostridium (65%) va acompañada de Bacteroides, Bifidobacterias y Veillonella, que producen exoenzimas proteolíticas que solubilizan y degradan proteínas, proteosomas y polipéptidos.

También, hay abundantes bacterias celulolíticas (del orden de 100 millones/g), anaerobias estrictas, que solubilizan a las celulosas, hemicelulosas, pectinas, etc., y las transforman en almidón, glucosa y otros azúcares simples. Además aparecen bacterias lipolíticas, anaerobias estrictas, que mediante la acción de lipasas degradan materias grasas. En general se desconoce la taxonomía y concentración de estas bacterias. En la segunda etapa (formación de ácidos orgánicos e hidrógeno), hay unas 100 veces más bacterias anaerobias que facultativas (de 1,000 a 10,000 millones/ml), su taxonomía se conoce poco, y se ha visto que existen principalmente bacilos gran negativos no esporulados.

Los productos de su metabolismo son diversos: CO₂, ácidos orgánicos, amoníaco, alcoholes, hidrógeno y cetonas. Sin embargo, la mayoría de estos productos desaparece rápidamente del medio y no se acumula (los alcoholes y las cetonas se transforman en ácidos orgánicos, mientras que el hidrógeno reduce al CO₂ para generar metano). También se encuentran bacterias sulfato-reductoras (Desulfovibrio) en concentraciones de 10,000/ml, que compiten con las bacterias metano-génicas por el hidrógeno

y forman ácido sulfhídrico que insolubiliza metales tóxicos para las bacterias metano-génicas.

En la tercera etapa (formación de metano inestable) participan bacterias muy especiales, para su metabolismo y estructura, que se clasifican dentro de los protistas más primitivos de la tierra. Las Archaeobacterias son anaerobias estrictas que inhiben su desarrollo aun con poco oxígeno. Es muy difícil aislar, purificar, cultivar y enumerar este tipo de bacterias en el laboratorio. En los ambientes donde se genera metano existen en cantidades de unos 100 millones/ml. Los sustratos son específicos y producen metano sólo cuando están presentes compuestos como el CO₂, hidrógeno, acetato, formato, y otros orgánicos de bajo peso molecular.

Se les clasifica por su capacidad para generar metano y se conocen 22 especies, de las cuales se reconocen 40 cepas. Su pH óptimo de desarrollo es entre 6.9 y 7.2 y su rango aceptable de 6.5 a 8; fuera de este rango se inhiben desde el punto de vista de la temperatura, los hay mesófilos (de 20 a 25 °C) y termófilos (de 45 a 55°C). Su relación carbono-nitrógeno (C-N) óptimo es igual o un poco inferior a 20 y usan como fuente de nitrógeno sales amoniacales. Para que el nitrógeno sea aprovechado. Su concentración debe ser de 50 a 500 mg/l.

Otro factor importante en su desarrollo es la concentración de ácidos volátiles presentes en el medio, éstos expresados como ácido acético deben ser de 500 mg/l. La digestión mesófila es más lenta que la termófila.

Si el pH baja del rango aceptable, las Metanobacterias se inhiben y se produce acumulación de ácidos orgánicos que, a su vez, hacen descender más el pH, con el consiguiente desequilibrio del sistema y la posibilidad de que se detenga la producción de gas. Si por el contrario, las bacterias productoras de ácidos están activas y las del metano en periodo de adaptación, pueden descender los ácidos volátiles de tal forma que ocasionen la acumulación de amoníaco, provocando una elevación del pH. Cuando el sistema está en equilibrio, se mantiene la neutralidad del medio por la capacidad reguladora del sistema CO₂-bicarbonato. Estos compuestos interaccionan con los ácidos volátiles y el amoníaco formado en el proceso. Así se compensan las variaciones de acidez o alcalinidad del medio y se mantiene la estabilidad del pH.

Para que el medio esté libre de grandes fluctuaciones de pH, se requiere una alcalinidad de 1,500 a 3,000 mg/l, expresada como carbonato de calcio. Una buena concentración de ácidos volátiles es de menos de 1,000 mg/l en ácido acético, pero además se debe conocer la concentración de ácido propiónico en el total de ácidos volátiles ya que éste es difícil de degradar y su acumulación limita la producción de metano. Para que el ácido propiónico se convierta en metano, primero se debe oxidar en acetato, esto requiere mucha energía. Esta conversión requiere que no se acumule el hidrógeno en el medio, de esto se encargan las bacterias del metano. En un proceso anaerobio la relación C:N:P:S debe ser 100:10:1:1, ya que ésta

es la proporción en que se encuentran los nutrientes dentro del material celular.

En la fase de crecimiento, de la masa bacteriana, la relación C-N debe ser cercana a 20; la concentración de nitrógeno amoniacal presente en los residuos debe ser alrededor de 50 mg/l. Si estas concentraciones son excesivamente altas (1,500- 3,000 mg/l), ocasionan un incremento en el pH que afecta el proceso, y valores aún más altos detienen el proceso. Con respecto al azufre, todos los sulfuros inorgánicos en concentraciones de nueve millones/l inhiben la metanogénesis. Sin embargo, en el proceso siempre se produce ácido sulfhídrico por acción de las bacterias sulfatorreductoras, éstas casi siempre se combinan con metales presentes en el medio y forman sales insolubles.

Con respecto a metales pesados se puede decir que aunque todos los cationes son capaces de producir efectos tóxicos en los microorganismos a altas concentraciones, la toxicidad es variable y aumenta por lo general con el peso molecular. A ello se debe que 105 llamados metales pesados, inhiban o dañen a las bacterias del metano, que son bastante más sensibles a ellos que otros microorganismos. Por esta razón es importante que en los rellenos sanitarios dedicados a la recuperación del metano, se evite depositar productos químicos o materiales que contengan elementos químicos tóxicos o inhibitorios de microorganismos mencionados. El tiempo de generación de las bacterias del metano es de cinco horas.

III. VARIABLES E HIPOTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis General

Utilizando el nuevo modelo de gestión para redes de distribución eléctrica con biomasa, mejoraremos el suministro del sistema eléctrico Huancayo.

La cual incluye el nuevo modelo de gestión para redes de distribución eléctrica con biomasa de residuos solidos, puntualmente se trata de la recuperación energética producida por los gases de rellenos sanitarios. Utilizando dicho modelo mejoraremos el suministro del sistema eléctrico Huancayo.

1. Teniendo una evaluación del plan anual del sistema eléctrico peruano mejoraremos el suministro sistema eléctrico Huancayo.
2. Teniendo un listado de las alternativas de las energías renovables proponemos la implementación de generación distribuida a partir de la biomasa para el suministro sistema eléctrico Huancayo.
3. Teniendo el análisis económico de la generación distribuida con biomasa basada en residuos sólidos se propone la implementación de la central para mejorar el suministro sistema eléctrico Huancayo.
4. Teniendo los compromisos medioambientales se muestra que la generación distribuida aprovecha mejor los recursos en sectores aislados y contribuye con la reducción emisión de millones de toneladas de CO₂.

3.1.2 Hipótesis Secundaria

Proponer la implementación de generación distribuida con biomasa de residuos sólidos para la ciudad de Huancayo.

3.1.3 Metodología

3.1.4 Relación entre las variables de investigación

Se hará una descripción del modelo de gestión para redes de distribución eléctrica con biomasa el cual nos permitirá determinar cuáles son las variables dependientes e independientes. Las variables que se determinarán para modelo de gestión para redes de distribución eléctrica con biomasa basada del manejo de residuos.

3.1.5 Operacionalización de las variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis, se operacionaliza, obteniéndose variables e indicadores que se indican:

a.- Variable X= suministro eléctrico

Indicador:

mejora del suministro eléctrico X_1

b.- Variable Y=Recursos energéticos renovables (biomasa de residuos sólidos)

Indicadores:

Factor económico Y_1

Reducción de emisiones de CO_2 Y_2

c.- Variable Z = Modelo de gestión de generación distribuida

Indicador:

Mejora del suministro eléctrico, Z_1

IV. METODOLOGÍA

4.1 Tipo de investigación

El presente trabajo, es una investigación científica experimental, por lo que se analizarán las técnicas y parámetros del Modelo de gestión para redes eléctricas de distribución con biomasa, caso Huancayo. Aplicándose así la implementación de nuevas tecnologías de energía renovables para su implementación y operación en el sistema eléctrico Huancayo, los cuales nos permitirán evaluar dichas técnicas y parámetros a fin de optimizarlos.

4.2 Diseño de la investigación

Este trabajo se aplicará mediante los resultados provenientes de la simulación. Durante el periodo de tiempo especificado en el cronograma de trabajo se analizarán con detalle las técnicas utilizadas por Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) para la generación distribuida para el *sistema eléctrico Huancayo*.

Teniendo una evaluación del plan anual del sistema eléctrico peruano mejoraremos los índices de calidad de suministro sistema eléctrico Huancayo.

Teniendo un listado de las alternativas de las energías renovables proponemos la implementación de generación distribuida a partir de la biomasa para el suministro sistema eléctrico Huancayo.

Teniendo un listado de las h-h y h-m de actividades de mantenimiento mejoraremos los índices de calidad de suministro sistema eléctrico Huancayo.

Teniendo los compromisos medioambientales se muestra que la generación distribuida evita la emisión de millones de toneladas de CO₂. Simular los resultados probando su desempeño respecto a lo que actualmente se ejecuta.

Observaciones y conclusiones.

4.3 Etapas de la investigación

Las etapas de la investigación se concretan en los siguientes aspectos:

- a) Descripción experimento.
- b) Hipótesis de investigación.
- c) Variables.
- d) Universo-muestra.
- e) Instrumento de medición.
- f) Etapas de la investigación.
- g) Prueba piloto.
- h) Limitaciones y alcances.

4.4 Población y muestra

La población está conformada por usuarios de la ciudad de Huancayo, y que según el criterio de inclusión y exclusión se consideró una población de 60 familias.

4.5 Técnicas de instrumentos de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos son las distintas formas de obtener información, en la presente investigación son los datos provenientes del Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN), del Ministerios de Energía y Minas, del Ministerio del Medio Ambiente, del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) de Gobiernos regionales y locales.

Se utilizaron los siguientes instrumentos:

- ✓ Encuesta sobre el servicio y satisfacción del cliente del servicio eléctrico.

4.6 Procedimiento estadístico y análisis de datos

La realización del estudio del Modelo de gestión para redes eléctricas de distribución con biomasa, caso Huancayo, precisa de la cuantificación para su ejecución.

Se ha considerado un valor crítico de $Z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$ con $\alpha = 0.05$; y una proporción poblacional p, y q del 50%; y un error máximo permisible del 5%; con N=60, se utilizó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{z^2 pqN}{z^2 pq + e^2(N-1)}$$

Se obtuvo un tamaño de muestra de 52 usuarios.

Se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: Cumplimiento de las metas del Suministro eléctrico

H₁: Recursos energéticos renovables (biomasa de residuos sólidos)

Se fijó un 5% de nivel de significación

Se utilizó el estadístico Z_{ks} de Kolmogorov Smirnov, los resultados se muestran:

KS del planeamiento estratégico	
Z_{ks}	Probabilidad asintótica
0.577	0.893

Fuente: Encuesta ELECTROCENTRO

Con los resultados no se puede rechazar la hipótesis nula que sostiene que el suministro eléctrico tiene distribución normal en la población, para niveles de significación inferiores al 89.3% así pues al 5% de nivel de significación se acepta la hipótesis nula.

4.1.1.1 Normalidad en el rendimiento académico

Se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: El rendimiento del suministro eléctrico tiene distribución normal en la población

H₁: El rendimiento del suministro eléctrico no tiene distribución normal en la población

Se fijó un 5% de nivel de significación

Se utilizó el estadístico Z_{ks} de Kolmogorov Smirnov, los resultados se muestran:

KS del rendimiento del suministro eléctrico	
Z_{ks}	Probabilidad asintótica
0.403	0.997

Fuente: Encuesta ELECTROCENTRO

Con los resultados no se puede rechazar la hipótesis nula que sostiene que el rendimiento del suministro eléctrico tiene distribución normal en la población, para niveles de significación inferiores al 99.7% así pues al 5% de nivel de significación se acepta la hipótesis nula.

4.1.1.2 Normalidad en el diseño del suministro eléctrico

Se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: El Modelo de gestión de generación distribuida tiene distribución normal en la población

H₁: El Modelo de gestión de generación distribuida no tiene distribución normal en la población

Se fijó un 5% de nivel de significación

Se utilizó el estadístico Z_{ks} de Kolmogorov Smirnov, los resultados se muestran:

KS El modelo de gestión de generación distribuida	
Z_{ks}	Probabilidad asintótica
0.652	0.789

Fuente: Encuesta ELECTROCENTRO

Con los resultados del cuadro 4.3 no se puede rechazar la hipótesis nula que sostiene que el diseño del plan estratégico tiene distribución normal en la población, para niveles de significación inferiores al 78.9% así pues al 5% de nivel de significación se acepta la hipótesis nula.

4.1.1.3 Normalidad en el cumplimiento del suministro eléctrico

Se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: El cumplimiento de las metas del suministro eléctrico tiene distribución normal en la población

H₁: El cumplimiento de las metas del suministro eléctrico no tiene distribución normal en la población

Se fijó un 5% de nivel de significación

Se utilizó el estadístico Z_{ks} de Kolmogorov Smirnov, los resultados se muestran:

KS del cumplimiento de las metas suministro eléctrico	
Z_{ks}	Probabilidad asintótica
0.647	0.796

Fuente: Encuesta ELECTROCENTRO

Con los resultados no se puede rechazar la hipótesis nula que sostiene que el cumplimiento de las metas del suministro eléctrico tiene distribución normal en la población, para niveles de significación inferiores al 79.6% así pues al 5% de nivel de significación se acepta la hipótesis nula.

4.7 La zona de estudio

La zona seleccionada para esta tesis es la ciudad de Huancayo, específicamente se trata del área metropolitana de Huancayo.

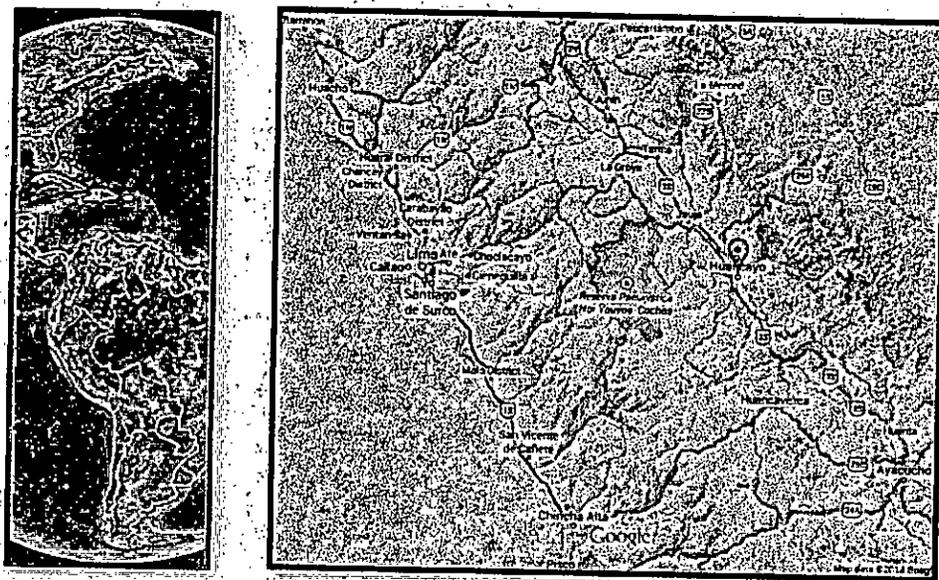
4.8 Aspectos generales de la zona de estudio

4.8.1 Geografía

La ciudad de Huancayo se ubica en la parte central del Perú, en plena cordillera de los Andes (aproximadamente 300 km al Este de Lima y a una altitud de 3'249 msnm.). La ciudad se ubica en medio del valle del Mantaro entre las cordilleras occidental y central. El valle Mantaro se extiende desde el norte de la ciudad de Jauja hasta el distrito de Pucará con un largo aproximado de 70 Km. Este valle es considerado el más ancho del Perú y es uno de los de mayor producción agrícola del país. (Ver Figura 37)

La Provincia de Huancayo comprende 28 distritos y con una superficie de 3 558,10 km². El área metropolitana lo comprenden los distritos de Huancayo, El Tambo y Chilca, que abarcan respectivamente superficies de 237,56 km², 73,56 km² y 8,3 km² (INEI, 2007).

Figura 37. Localización de la zona de estudio



Fuente: Google, (elaboración propia)

4.8.2 Clima

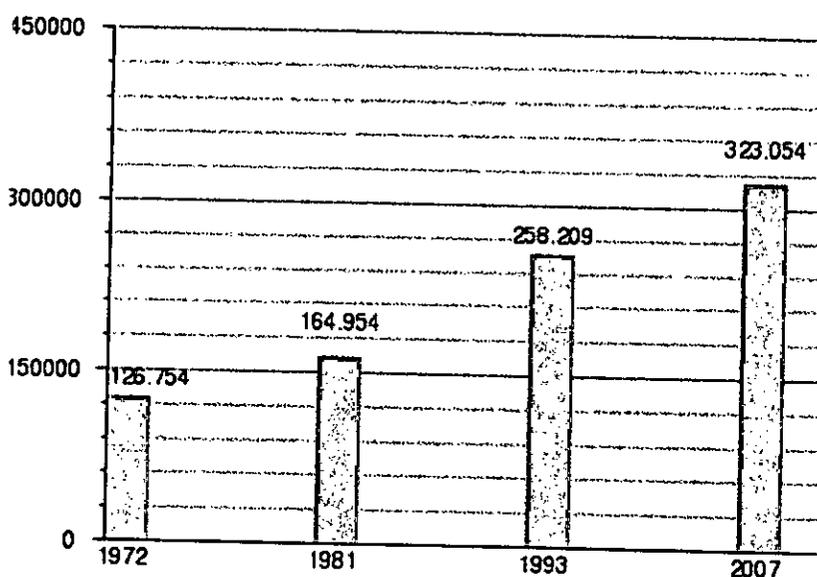
Debido a su latitud (12° LS), Huancayo debería tener un clima cálido. Sin embargo, la presencia de la Cordillera de los Andes y la altitud de la ciudad causan grandes variaciones en el clima. Huancayo tiene un clima templado pero inestable durante todo el año, variando entre 24°C en los días más cálidos y 5°C en las noches más frías. La gran variación de las temperaturas hace que en la zona sólo se distingan dos estaciones, la temporada de lluvias desde octubre hasta abril (correspondiente a gran parte de la primavera y el verano) y la temporada seca de mayo a septiembre. Las temperaturas más bajas se registran en las madrugadas de los días de los meses de junio a agosto.

4.8.3 Demografía

En los últimos años se ha verificado un fenómeno de inmigración a la ciudad. La consolidación de Huancayo como la ciudad más importante del centro del país ha acelerado la llegada de migrantes de los departamentos cercanos. Este fenómeno hizo que la población de la ciudad aumente constantemente. Así, de ser una ciudad de 258'209 habitantes (1993) a 323'054 habitantes en el Censo 2007. La ciudad de Huancayo, según el INEI es la novena ciudad y la sexta área metropolitana más poblada del Perú.

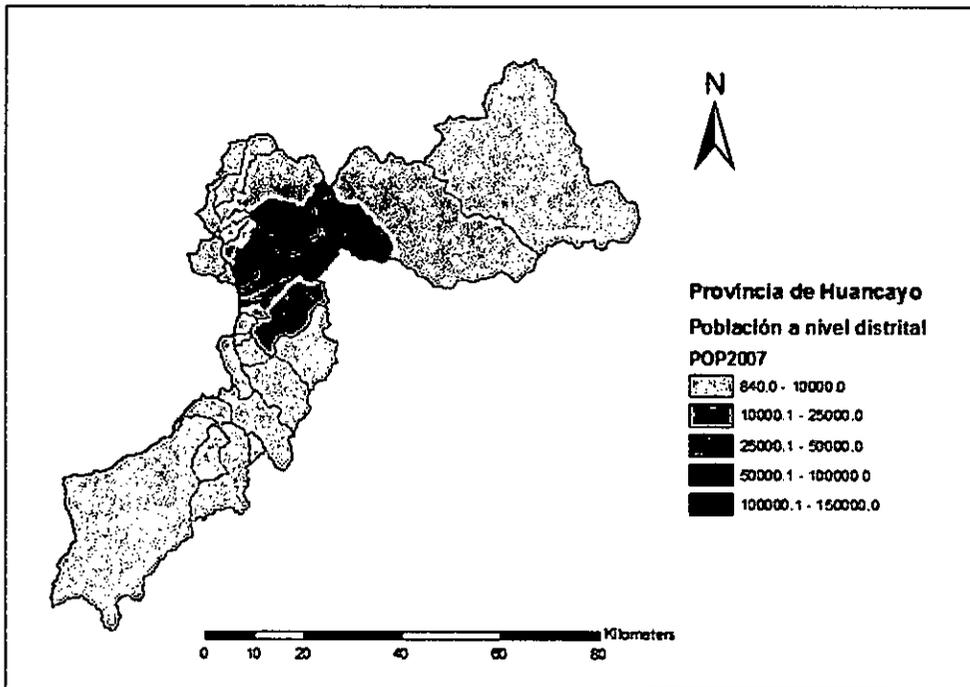
Según estimaciones para 2014 su población pasa el medio millón de habitantes. (Ver Figura 38)

Figura 38. evolución de la población de Huancayo entre 1972 y 2014



Fuente: INEI 1993-2007, (elaboración propia)

Carta 1. Población de Huancayo, distribución por distritos.



Fuente: INEI 2007-2014, (elaboración propia)

4.9 Residuos sólidos urbanos (RSU) en Huancayo

La generación de residuos sólidos de origen domiciliario está íntimamente ligada al número de habitantes o pobladores que existen en la localidad. La Tabla 12, muestra el tamaño poblacional por distrito y la generación de residuos domésticos.

En el Tabla 12, se observa que la generación total de residuos sólidos de origen domiciliario y comercial en los distritos analizados es de 285

toneladas por día. Para ello se tomaron valores de generación per cápita, caracterización de residuos sólidos de los distritos concernientes para nuestro estudio, datos obtenidos del Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos (SIGERSOL). La generación per cápita promedio hallada para los 3 distritos de 0,52 kg/hab/día es consistente con estudios de caracterización de residuos que se han realizado en otras ciudades peruanas, y con el promedio nacional estimado al 2010 de 0,58 kg/hab/día (MINAMB, 2012).

Tabla 12. Número de habitantes y generación de residuos

Distrito	Población (1) (habitantes)	Generación per cápita (2) (kg/hab/día)	Generación de Residuos Sólidos (3) (Ton/día)
Chilca	111'000	0.45	70
Huancayo	174'600	0.63	110
El Tambo	166'700	0.48	105
Total promedio	452'300	-	285

Fuente: (1) datos INEI 2007-2014, (2) SIGERSOL, Sistema de Información para la Gestión de Residuos Sólidos, (3) Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales: Gestión 2010-2011

En la Tabla 13 se muestra la composición física de los residuos sólidos de la zona de estudio.

Las propiedades físico-químicas de los RSU pueden ser descritas como sigue:

- Densidad media: 0,25 tonelada por metro cúbico.
- Porcentaje de agua: 49,1 %
- Fracción de los desperdicio superiores de 40 mm: 88.7 %
- Sustancias volátiles: 35,2%
- Contenido de cenizas: 15,7 %
- Poder calorífico: 5800 kilo joule por kilogramo de desperdicio.

La parte de carbono orgánico degradable (COD) es del 16% (porcentaje en peso), este porcentaje fue determinado del IPCC en 1996. En la hipótesis de la incineración para producir de la energía eléctrica, esta incineración de los RSU necesitará una aportación de energía externa, así como una infraestructura adecuada, lo que constituye una mayor presión en términos económicos.

4.10 Proyección de la producción de RSU

La producción de los RSU está en función directa de población presente en las ciudades. La generación de energía eléctrica dependerá de cómo los RSU son almacenados o tratados. Recordemos que el metano (CH₄)

constituye un importante gas de efecto invernadero pues su poder de calentamiento global es 21 veces más importantes que el gas carbónico (CO₂). Por ello es conveniente pues limitar o de reducir su emisión directa en la atmósfera. Es más el Perú como signatario de acuerdos internacionales se comprometió a limitar y reducir sus emisiones para ayudar a proteger el planeta contra el calentamiento global.

Tabla 13. Composición física de los residuos sólidos

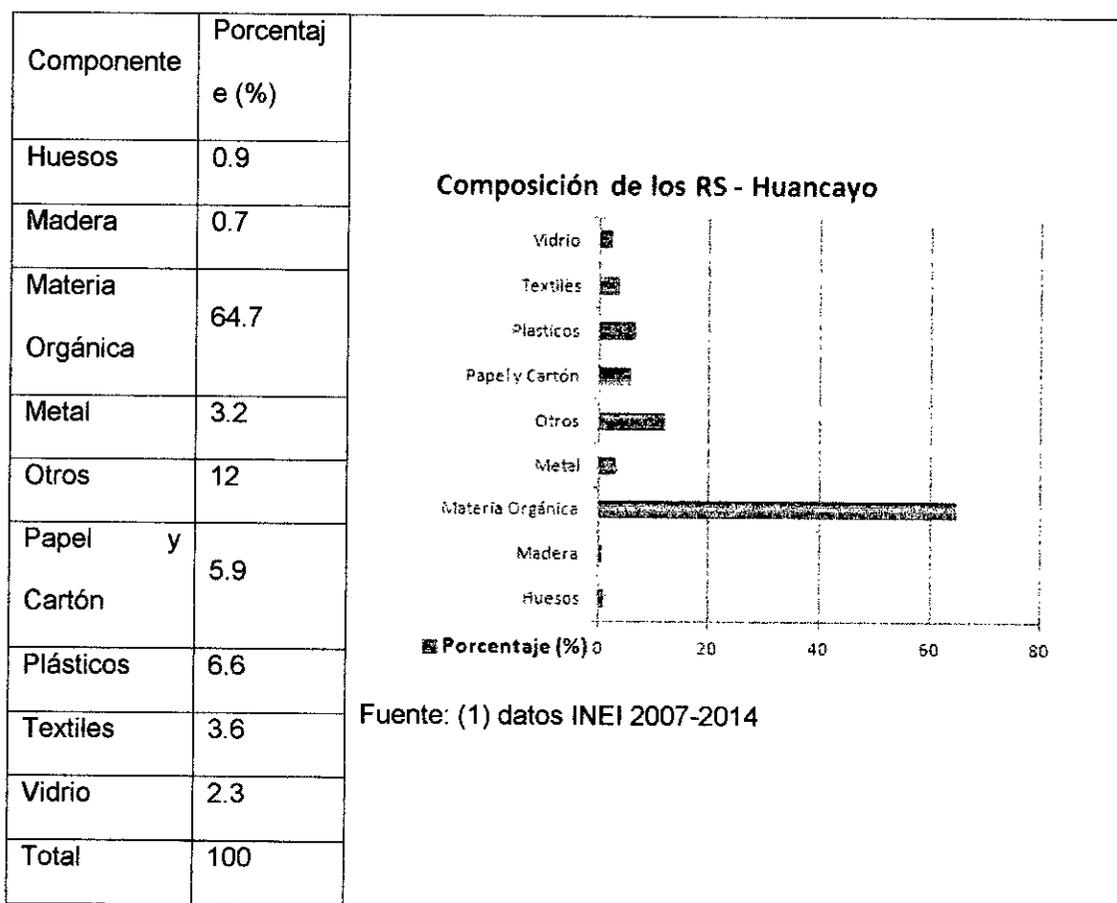


Tabla 14. Composición de los RS en Chilca, El Tambo y Huancayo.

	Chilca	El Tambo	Huancayo
Materia orgánica	63,68	61,05	61,91
Papeles y cartones	4,85	12,49	6,22
Plásticos	6,26	10,76	8,61
Metales	0,6	2,35	2,87
Otros	24,6	9,7	20,38

Las soluciones, que son propuestas en este trabajo, tienen por objetivo la aplicación de una gestión integral de residuos sólidos, la cual permitirá transformar una parte de esto RSU en compost y de enterrar el resto en las rellenos sanitarios controlados. El fin es de recuperar el metano producido por los RSU de los rellenos sanitarios y de quemarlos o de utilizarlos en la producción de energía eléctrica.

4.10.1 Análisis nivel nacional.

La Tabla 15 muestra las proyecciones de la producción de RSU hasta el horizonte 2040, estos resultados son basados en la población estimada, la tasa de generación de RSU y la tasa de recolección para dichos años.

4.10.2 Proyección de la producción del biogás al horizonte 2040

Basándose en la evolución de la población y la tasa de producción de los RSU, se puede estimarse la producción del metano proveniente de los

deshechos. Se aprecia que las emisiones de metano van a incrementarse en aproximadamente un 50% para el horizonte 2040, si se toma medidas para remediar a la situación actual.

Tabla 15. Proyecciones de población y de RSU al horizonte 2040

Año	2014	2020	2030	2040
Población total (millones de personas)	30.8	31.1	37.6	41.3
Población Urbana	23.2	25.2	27.2	29.2
Tasa de generación de RSU (kg/hab/año)	0.58	0.6	0.7	0.8
Tasa de recolección (%)	80	80	80	80
Producción de RSU (millones de ton/año)	5.3	5.8	7.1	7.9

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 16. Proyecciones relativas a las emisiones de metano

Año	2014	2020	2030	2040
Metano (CH ₄) en miles de toneladas	238.0	260.5	318.8	354.7

Fuente: (Elaboración propia)

4.1 Escenarios de tratamiento de desechos mediante enterramiento en relleno sanitario, recuperación y quema o utilización del biogás.

En este escenario, el biogás (mezcla de metano, dióxido de carbono y óxido nitroso) producido por la descomposición de los residuos orgánicos se recupera usando tubos colectores que están dispuestas dentro de los rellenos sanitarios. El biogás es luego quemado o recuperado como combustible de energía para su uso en forma de calor o electricidad.

La recuperación total del biogás es bastante difícil y requiere de instalaciones eficientes. Por lo tanto, el rendimiento considerado (para rellenos sanitarios) se toma al 80%. Durante la fermentación, la descomposición de la materia orgánica no es total. Quedando un residuo que no es degradado. Las cantidades de biogás se determinan por el método recomendado por el IPCC, el OCDE y el AIE.

En lo que sigue, se toma como la unidad básica de procesamiento 1 millón de toneladas de relleno sanitario ya sea por tratamiento total o por tratamiento parcial de 50% de la materia orgánica en compost y 50% por relleno sanitario. Las estimaciones financieras se hicieron sobre la base de las instalaciones operativas en todo el mundo.

4.1.1 Caso de enterramiento en relleno sanitario y quema del biogás.

La siguiente tabla muestra las especificaciones del tratamiento de un millón de toneladas de residuos que son enterrados en relleno sanitario con recuperación de biogás y quema.

Tabla 17. Enterramiento en relleno sanitario y quema del biogás
(unidad de base: 1 millón de toneladas de residuos)

Parámetros	Valor
Cantidad de residuos (millones de toneladas)	1
Rendimiento de Relleno sanitario (%)	80%
Cantidad de biogás producido (miles de toneladas)	43
Costo de inversión para asegurar la quema (millones de dólares)	3,5
Costo de funcionamiento anual (millones de dólares)	0,2-0,7
Renta anual	Ninguna

Fuente: (Elaboración propia)

4.1.2 Caso de enterramiento en relleno sanitario y utilización del biogás

El siguiente cuadro da las características técnicas del trato de un millón de toneladas de residuos que son enterrados en relleno sanitario con recuperación de biogás producción y utilización. En este caso, hace falta

incorporar: (1) los costos relacionados a las inversiones relativas a las instalaciones de almacenamiento y de regulación del biogás producido al nivel de relleno sanitario, (2) los costos relacionados al funcionamiento y al mantenimiento de las instalaciones que son más elevados que en el caso anterior.

Tabla 18. Enterramiento en relleno sanitario y utilización del biogás

Parámetros	Valor
Cantidad de residuos (millones de toneladas)	1
Rendimiento de Relleno sanitario (%)	80%
Cantidad de biogás producido (miles de toneladas)	43
Costo de inversión para asegurar la utilización del biogás (millones de dólares)	10
Costo de funcionamiento anual (millones de dólares)	0,5- 2
Renta anual	1 - 6

Fuente: (Elaboración propia)

4.2 Escenarios de tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario con recuperación, quema o utilización del biogás

En este escenario, el 50% de la masa de los residuos orgánicos (42% de la masa total de los residuos) es compostado y la cantidad restante de los

residuos es de 58% de la masa total de los residuos será enterrado. El compostaje requerirá un costo adicional de 20 dólares por tonelada en comparación con el costo que se induce por el relleno sanitario. La cantidad de residuos enterrados tiene una fracción másica orgánica de 68% al 84% en los residuos recogidos en el origen.

Este escenario permite una economía de uso del suelo que también permite una mayor vida útil del relleno sanitario, lo que equivale a un ahorro del orden de 5,5 dólares por tonelada de residuos compostados.

4.2.1 tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario, con recuperación y quemado de biogás

En este caso, consideramos que el compost "abono" se distribuye gratuitamente.

4.2.2 Tratamiento a través del compostaje y enterramiento en relleno sanitario, con recuperación y utilización del biogás.

En este caso igualmente se considerara que el compost "abono" se distribuye gratuitamente. La renta proviene únicamente de la producción de biogás como una fuente de energía renovable competitiva.

Tabla 19. Compostaje y enterramiento de desechos con recuperación y quema del biogás

Parámetros	Valor
Cantidad de residuos (millones de toneladas)	1
Rendimiento de Relleno sanitario (%)	80%
Masa de residuos, compostaje (millones de toneladas)	0,42
Masa de residuos, enterrados (millones de toneladas)	0,58
Cantidad de biogás producido (miles de toneladas)	21,5
Costo de inversión para producir compostaje (millones de dólares)	8,4
Costo de inversión para asegurar la quema (millones de dólares)	2,1
Costo de funcionamiento anual (millones de dólares)	0,3 - 0,4
Beneficio del compostaje (mejora del suelo) (millones de dólares)	2,3
Renta anual	Ninguna

Fuente: (Elaboración propia)

Tabla 20. Compostaje y enterramiento de desechos con recuperación y utilización del biogás

Parámetros	Valor
Cantidad de residuos (millones de toneladas)	1
Rendimiento de relleno sanitario (%)	80%
Masa de residuos compostados (millones de toneladas)	0,42
Masa de residuos enterrados (millones de toneladas)	0,58
Cantidad de biogás producido (miles de toneladas)	21,5
Costo de inversión para producir compostaje (millones de dólares)	8,4
Costo de inversión para asegurar la utilización del biogás (millones de dólares)	5,8
Costo de funcionamiento anual (millones de dólares)	0,3 - 1,2
Beneficio del compostaje (mejora del suelo) (millones de dólares)	2,3
Renta anual	0,6 - 3,5

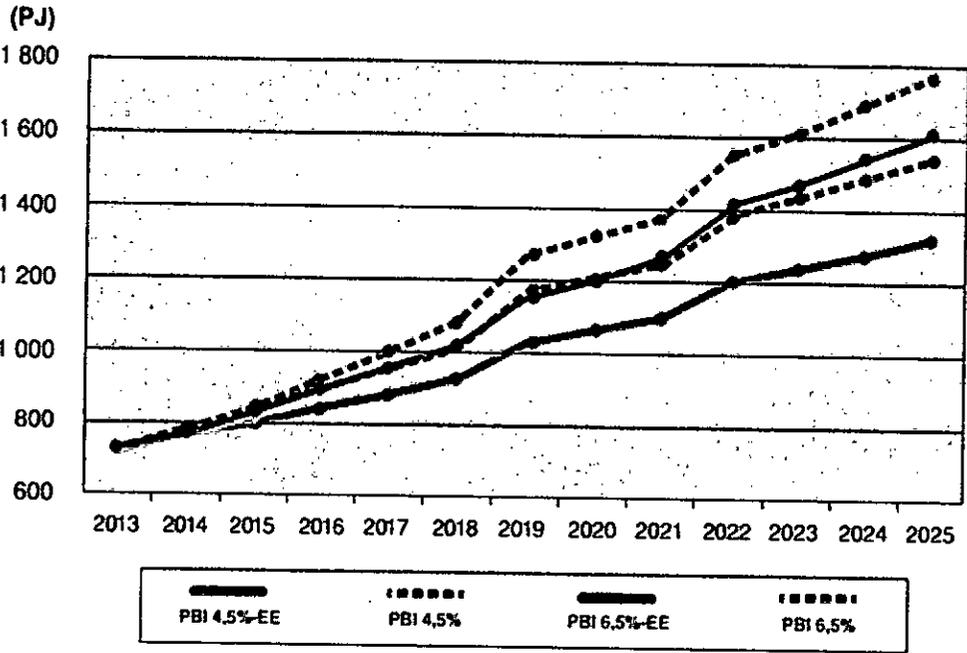
Fuente: (Elaboración propia)

4.3 Proyección de la producción de la energía eléctrica

En la última década, el Sector Energía peruano ha registrado un importante crecimiento debido al incremento de la demanda interna ligada al desarrollo económico de productos y servicios de calidad a precios que reflejaron las

condiciones óptimas de un mercado competitivo en las actividades petroleras, y a tarifas resultantes de subastas en el mercado de producción de gas natural y generación eléctrica. En esta década, se ha perfeccionado los mecanismos de regulación para aquellas actividades monopólicas, tal es el caso de los servicios de transporte y distribución de energía.

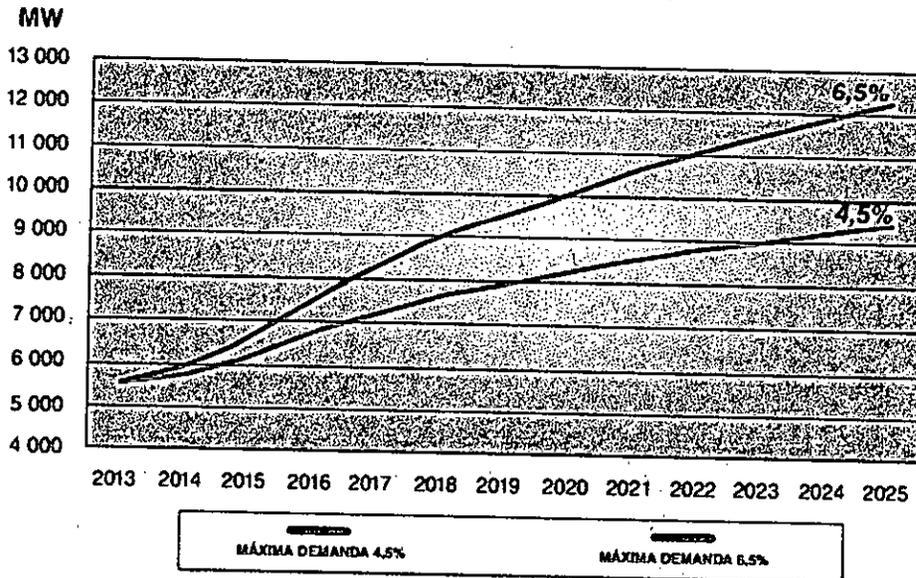
Figura 399. Proyección del Consumo Final de Energía (TJ) 2014 y 2025



EE: proyección del consumo final de energía con medidas de eficiencia energética.

Fuente: MINEM - Plan Energético Nacional 2014-2025

Figura 40. Proyección de la Máxima Demanda 2014 y 2025



Fuente: MINEM

4.3.1 Escenarios posibles

En la siguiente década, la producción de energía eléctrica provendrá, en mayor proporción, de la hidroelectricidad, incrementándose también la participación de fuentes renovables no convencionales a través de subastas y en función a los costos competitivos de las tecnologías que utilizan. En el caso de la generación térmica se utilizará tecnologías más eficientes, a gas natural.

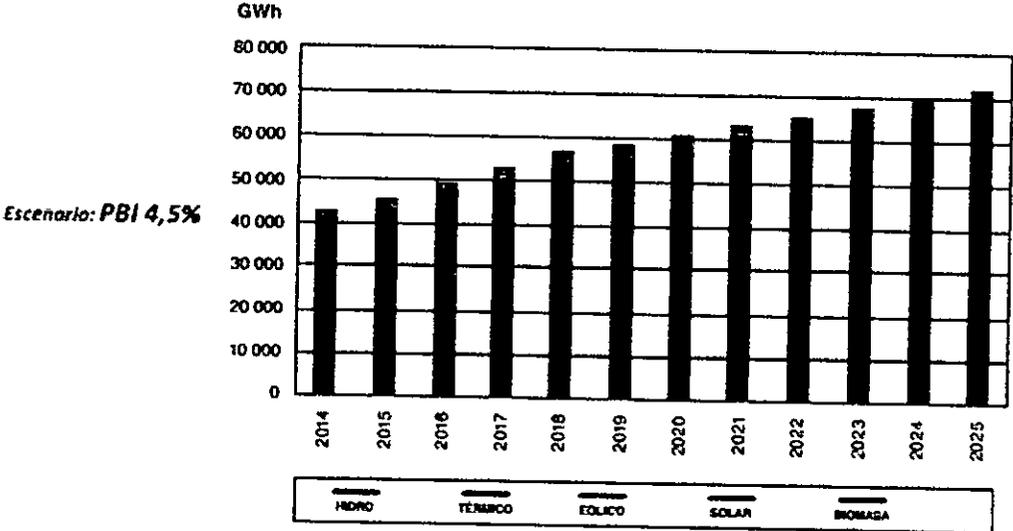
El desarrollo de fuentes de generación para la próxima década ya se ha iniciado. En primer lugar, la generación termoeléctrica del nodo energético del sur con más de 2 000 MW, con turbinas en ciclo simple de gas natural

y que podrá alcanzar más de 3 000 MW en ciclo combinado, consolidarán la generación descentralizada en el sur peruano.

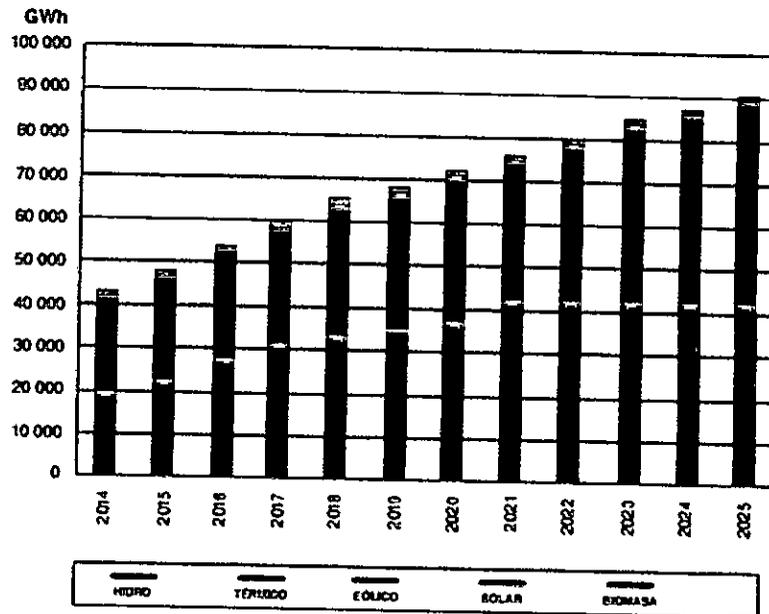
Con relación a las fuentes renovables, las nuevas centrales de generación hidroeléctrica se irán incorporando al 2018 (aproximadamente 2 000 MW en actual construcción). Adicionalmente, para los años 2020 y 2021 estarán en operación los 1 200 MW de generación hidroeléctrica licitados durante el 2014.

Sumado a ello, se añadirá recursos renovables no convencionales que elevarán su contribución al 5%, todo lo cual evidencia el compromiso por desarrollar este tipo de fuentes de energía.

Figura 41. Producción de Electricidad por Fuente



Escenario: PBI 6,5%



Fuente: MINEM

V. RESULTADOS

El sistema eléctrico del valle Mantaro tiene una longitud de 156.79 Km con tensiones de 13.2, 33 y 60 kV. En el 2013 contaban con un área de influencia de 185 547 clientes, con un área de concesión 1 810 km², con redes de BT 1 907 km, con redes de MT 2 350 km y con 3 661 SED. La empresa ELECTROCENTRO S.A. Ha estimado en base la mixtura de los modelos de tendencia y econometría que las ventas crecerán en promedio anual de 6.08% en MT y de 6.95% en BT. Para el 2016 se estima que la venta total en AT será 4 583.81 MWh, 154 351.38 MWh en MT y 704 531.90 MWh en BT.

El diseño del sistema económicamente adaptado corresponde al principio de adaptación a la demanda para un periodo de 15 años, y constituye la configuración de mínimo costo total del servicio. El SEA, en general, corresponde a la configuración existente tomando en cuenta el SEA que OSINERG ha establecido para el SST de las empresas que inyectan energía al SST de ELECTROCENTRO S.A. Asimismo, el SEA es consistente con el dimensionamiento y configuración de las redes de distribución primaria.

La generación Distribuida de una central de biomasa con residuos sólidos urbanos en la ciudad de Huancayo, mejoraría la confiabilidad del suministro Eléctrico. En caso de la pérdida de cualquiera de las radiales en 60 KV, la segunda radial podrá seguir suministrando energía a la ciudad de

Huancayo (ciudad más importante del sistema ELECTROCENTRO) mediante un sistema de transferencia de carga automática y reducir pérdidas técnicas en el sistema de distribución.

VI. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En la actualidad el auge económico para nuestro país, se contó con el soporte de un suministro de energía seguro. Esto se debe principalmente al gas natural, que permitió atender la demanda adicional así como iniciar la exportación de este recurso en cantidades equivalentes al consumo interno. La oferta de las demás fuentes de energía registró un leve descenso, como en el caso de la producción de petróleo crudo.

Esta situación trajo como consecuencia el incremento de su importación; además, se produjo un crecimiento limitado para las fuentes hidroeléctricas. Se ha diversificado las fuentes de producción del mercado energético esencialmente con el gas natural, recurso con precios competitivos y bajo nivel de emisiones, siguiendo las tendencias del planeta.

La GD mejora el número de mantenimiento programados en las maniobras de las interrupciones que causan los transitorios, tales como sobretensiones y/ o sobrecorrientes en el sistema de redes eléctricas, los cuales no siempre pueden ser tolerados.

VII. CONCLUSIONES

La presente tesis ha evaluado los diferentes puntos de vista que condicionan la viabilidad de la producción energía por generación distribuida de biomasa a partir de residuos sólido de diversos orígenes en la ciudad de Huancayo, se presentan las siguientes conclusiones.

- a. Se propone un modelo de gestión para redes eléctricas de distribución con biomasa a partir de los residuos sólidos que será sostenible y sustentable para a ciudad de Huancayo. Este modelo tiene tres partes fundamentales. La primera etapa del modelo se basa en una adecuada gestión de manejo de residuos sólidos para su disposición final en un relleno sanitario oficial. La segunda etapa es plantear la comercialización de los bonos de carbono al mercado internacional constituyendo una asociación nacional de todas las ciudades que se adecuen al modelo propuesto y así comercializar en conjunto y no de manera individual e incluirlo en un programa de actividades. La tercera etapa es la generación de energía eléctrica como generación distribuida con los residuos sólidos.
- b. La generación distribuida en la red eléctrica mejora el suministro eléctrico de la ciudad de Huancayo, y la diversificación de la matriz energética con la incorporación de las nuevas tecnologías de la generación en la red eléctrica como la fotovoltaica, eólica, biomasa y geotérmica.

- c. El enterramiento en el relleno sanitario y utilización del biogás, en el escenario de 1 millón de toneladas con un rendimiento del relleno del 80%, se estima que la cantidad de biogás es de 43 mil a un costo de inversión para asegurar la utilización del biogás 10 millones de dólares, con un costo de funcionamiento anual de 0,5 a 2 millones de dólares con una renta anual de 1 a 6 millones de dólares.
- d. Se propone que este modelo se incluya como una política medio ambiental con su reglamento regulatorio, incluyendo el trabajo en conjunto de los ministerios del ambiente y el ministerio de energía y minas. De esta forma se aprovecharía mejor los recursos públicos asignados a los gobiernos locales en su presupuesto anual.

VIII. RECOMENDACIONES

- a. La aplicación de este modelo debería ser una política de estado para el desarrollo de las ciudades principales del Perú, la falta de una adecuada gestión de manejo integral de residuos sólidos por los municipios y la inacción de los gobiernos regionales a nivel nacional, han llevado a la acumulación de la basura en un problema a nivel nacional. Ha esto se suma la falta de compromiso por parte de los contribuyentes de cada localidad. En Huancayo, el tambo y chilca se generan diariamente alrededor de 350 toneladas de residuos sólidos que representan un grave impacto ambiental. Viabilizar la construcción de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos en el sector de Tiranapampa que cuenta con 130,404.58 m² y un perímetro de 2,066.33 m que traerá desarrollo y una mejor calidad de vida para la comunidad.
- b. Asesorar y Desarrollar proyectos que tienen intenciones de desarrollarse como MDL y vender sus créditos en el mercado de carbono, básicamente hay que ponernos en el contexto internacional que tiene un plazo de cumplimiento como una primera etapa, para que los países desarrollados que han asumido compromisos tengan que cumplirlos. En el Perú el aumento de aplicación de tecnologías agrarias de gran importancia para la agricultura nacional ha contribuido en el lento pero sostenido aumento de la producción y productividad de los principales cultivos y crianzas del Perú. Como la papa, maíz, trigo y arroz, siendo este último uno de los recursos potenciales para la

generación de energía eléctrica de biomasa no aprovechados hasta el momento. La producción nacional de arroz alcanzará este año las 3 millones 147,200 toneladas. De acuerdo con el INEI, la principal región productora en 2015 fue San Martín con 21.6% de la producción nacional, le siguieron Piura (16,1%), Lambayeque (14,1%), Amazonas (11,2%) y La Libertad (11%). Luego se encuentran Arequipa (8,4%) y Cajamarca (6,4%). Esto representa una oportunidad para aprovechar la cascara de arroz para la generación de energía eléctrica para dichas regiones que tienen deficiencia en el suministro.

- c. Se habrá una ventana muy importante para el mercado de carbono en la cual los proyectos con MDL pueden seguir siendo desarrollados, para efectos del Perú buscan incentivar en términos financieros algunos puntos porcentuales en Tasa interna de retorno de proyectos que son dineros adicionales que permitirían que el proyecto en condiciones normales no se hubiesen desarrollado, este dinero adicional principalmente se había ideado que provenga por inversiones directas en proyectos en países en vías de desarrollo con el nuestro. Pero sin embargo la evolución del mercado ha obviado esa idea original y la inversión ha venido indirectamente de 2% a 3%, y con 2% en el caso de centrales hidroeléctricas aproximadamente han venido en forma indirecta a través de la compra de crédito futuros principalmente por parte de los países de la comunidad europea, que tiene un esquema del cumplimiento obligaciones o límites de emisión de gases de efecto

invernadero. Extendiendo estos compromisos hasta el 2020 lo cual nos favorece enormemente para adquirir estos créditos que se puedan desarrollarse en nuestro país.

- d. El cambio climático ha desequilibrado por completos las condiciones ambientales y climatológicas del planeta, la tala indiscriminada así como la contaminación del aire, ríos y suelo por la minería ilegal debería ser sancionada de forma real y efectiva. La generación distribuida con biomasa de residuos sólidos para las ciudades principales del Perú es nuestra solución a corto plazo.

IX. REFERENCIAS

1. Decreto Legislativo N° 1002, Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables.
2. "Ley de Concesiones Eléctricas". (Noviembre de 1992). *Decreto Ley N° 25844*. Lima, Perú.
3. "Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos". (Octubre de 1997). *Decreto Supremo N° 020-97-EM*. Lima, Perú.
4. "Reglamento de la Ley de Concesiones Eléctricas". (Febrero de 1993). *Decreto Supremo N° 009-93-EM*. Lima, Perú.
5. Albritton, D. L. (2001). *Technical summary: A report accepted by Working Group 1 of the IPCC*. Cambridge: Climate change.
6. Basu, P. (2006). *Combustion and gasification in fluidized beds*. Florida, E.E U.U.: Ed. Taylor & Francis Group. Boca Raton.
7. Bauknecht, D., & Brunekreeft, G. (2008). Distributed Generation and Network Regulation. *Sioshansi, FP (Hg.) Competitive Electricity Markets: Design, implementation and performance.*, 469-497.
8. Bhatti, J. L. (2006). *Climate change and managed ecosystems*. Florida, E.E. U.U.: Ed Taylor & Francis Group. Boca Raton.
9. Borrás, S., Franco, J., Kay, C., & Spoor, M. (2011). «*El Acaparamiento de tierras en América Latina y el Caribe: visto desde*

- una perspectiva internacional más amplia». Santiago de Chile: FAO (brouillon).*
10. Brown, R. E. (2002). "Electric Power Distribution Reliability". New York: U.S.A.
 11. Concheiro, A., & Viqueira, L. (1985). *Alternativas energéticas*. México D.F.: Ed. Fondo de Cultura Económica.
 12. (s.f.). *Decreto Legislativo N° 1002, Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables*.
 13. Del Sol, N., & Cabrera, E. (2008). Energía renovable y no renovable. *Revista Técnica de la Empresa de Telecomunicaciones de Cuba*, 85-89.
 14. Duarte, C. (2006). "Cambio global." *Impacto de la actividad humana sobre el sistema Tierra*. CSIC.
 15. FAO. (1993). *El gas de madera como combustible para motores*. Vol. 72. Roma, Italia: Publicación de Food and Agriculture Organization.
 16. Global.Methane.Initiative. (2012). *Global methane emissions and mitigation opportunities*. GM.
 17. GTC. (2009). *Gasification: Redefining clean energy*. Arlington, Virginia, E.E. U.U.: Publicación de la Gasification Technology Council.

18. Guillén, O. (2004). *Energías renovables: Una perspectiva ingenieril*. México, D.F.: Trillas.
19. Heaven, D. (2001). *What is gasification?, Taller sobre gasificación por la Gasification Technologies Council*. Tampa, Florida, E.E. U.U.
20. IEA, T. N. (2010). *World energy outlook 2010*. Paris: International Energy Agency.
21. IPCC. (1996). *Intergovernmental Panel on Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge, U.K.: Intergovernmental Panel on Climate Change.
22. IPCC. (2001). *Climate change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Inglaterra: Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
23. IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, 2007.
24. López, J. V. (1975). *Basura Urbana recogida, eliminación y reciclaje*. Ed. editores. Barcelona, España: Editores técnicos y asociados.
25. McMichael, P. (2011). «*The food regime in the Land Grab: Articulating 'Global Ecology' and Political Economy*». Land Deal

Politics Initiative. Paper presented at the International Conference on Global Land Grabbing.

26. Meléndez, J. (2008). *La importancia de la energía en nuestro planeta*.
27. MEM, G. P. (2007). *Hacia una nueva matriz energética en el Perú*. Lima: Ministerio de Energía y Minas.
28. MINAMB. (2012). *Cuarto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales 2010-2011*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
29. MINAMB. (2013). *Quinto Informe Nacional de Residuos Sólidos Municipales y No Municipales 2012*. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente.
30. Obser.E.R. (2010). *"La producción de electricidad de origen renovable, 12vo inventario"*, (*La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde, Observatoire des Énergies Renouvelables*). Observ.E.R.
31. Observ.E.R. (2013). *"La producción de electricidad de origen renovable, 15vo inventario"*, (*La production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde, Observatoire des Énergies Renouvelables*). Observ.E.R.

32. OFGEM, O. o. (March de 2002). Distributed generation: price, controls, incentives and connection charging. *Ofgem*.
33. Onishi, Y. (2014). *Fukushima and Chernobyl Nuclear Accidents, Environmental Assessments and US Hanford Site's Waste Management*. (Vol. Volumen 10). Procedia IUTAM.
34. OSINERGMIN. (s.f.). "Reportes Semestrales de la Gerencia de Fiscalización Eléctrica N° 1-2005, N° 2-2005, N° 1-2006, N° 2-2006, N° 1-2007, N° 2-2007, N° 1-2008, N° 2-2008, N° 1-2009, N° 2-2009, N° 1-2010, N° 2-2010". Lima, Perú.
35. OSINERGMIN. (Abril de 2004). "Procedimiento para la Supervisión de la Operación de los Sistemas Eléctricos". *Resolución OSINERG N° 074-2004-OS/CD*. Lima, Perú.
36. REN21. (2010). *Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century*. Paris, France.
37. Roldán, J. (2008). *Fuentes de Energía*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
38. Sánchez, D. (1996). *Fuentes de energía: La necesidad de energía. Tecnología y Sociedad*. México DF.: Ed. Santillana.
39. Schiffer, I., & González-Macías, C. (2005). *La tierra tiene fiebre*. México: FCE, SEP, CONACyT y CAB.

40. SEMARNAT. (2001). *Minimización y manejo ambiental de los residuos sólidos*. México, D.F.: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
41. SENER, S. d. (2010a). *Estrategia Nacional de Energía, Prospectiva del Sector Eléctrico 2010-2025*. México, D.F.
42. Sims, R. (2002). *The brilliance of bioenergy*. Londres, Inglaterra: Ed. James & James.
43. Trejo, R. (1999). *Procesamiento de la basura urbana*. . México, D.F.: Ed. Trillas.
44. VTT. (2007). *Bioenergy Technology Review, Internal Report for IEA*. Helsinki, Finlandia: Technical Research Institute of Finland.
45. Wiener, E. (2011). «*The concentration of land ownership in Latin América: An approach to current problems*». The International Land Coalition.
46. Williams, T. (2005). *Waste Treatment and Disposal*. West Sussex, Inglaterra: Ed. John Willey & Sons, ltd.

ANEXOS

Matriz de consistencia

Proyecto: Modelo de gestión para redes eléctricas de distribución con biomasa, caso Huancayo.

Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores
<p>General: ¿Qué podemos hacer para implementar la generación distribuida con biomasa y mejorar el suministro del sistema eléctrico Huancayo?</p> <p>Específico: ¿Cómo la falta de generación distribuida mejoraría el suministro del sistema eléctrico Huancayo?</p>	<p>General: Implementar la generación distribuida con biomasa basa en residuos sólidos al sistema eléctrico Huancayo.</p> <p>Específicos:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Revisión y análisis del plan anual del sistema eléctrico Peruano. 2) Proponer del modelo de gestión para las redes eléctricas con biomasa y su implementación. 3) Análisis económico de la generación distribuida con biomasa basada en residuos sólidos para el <i>sistema eléctrico Huancayo</i>. 4) Cumplir con los compromisos medioambientales reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de combustibles fósiles. 	<p>Utilizando el nuevo modelo de gestión para redes de distribución eléctrica con biomasa, mejoraremos la calidad de suministro del sistema eléctrico Huancayo.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Teniendo una <u>evaluación</u> del plan anual del sistema eléctrico peruano mejoraremos los índices de calidad de suministro sistema eléctrico Huancayo. 2. Teniendo un listado de las alternativas de las energías renovables proponemos la implementación de generación distribuida a partir de la biomasa para el suministro sistema eléctrico Huancayo. 3. Teniendo el análisis económico de la generación distribuida con biomasa basada en residuos sólidos se propone la implementación de la central para mejorar los índices de calidad de suministro sistema eléctrico Huancayo. 4. Teniendo los compromisos medioambientales se muestra que la generación distribuida evita la emisión de millones de toneladas de CO₂. 	<p>Variable Dependiente: suministro eléctrico.</p> <p>Variable Independiente Generación distribuida con biomasa basada a residuos sólidos.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mejorar el sistema eléctrico. 2. Modelo de gestión para las redes eléctricas de distribución con biomasa 3.Reduccion de la contaminación ambiental

Multianual del Sector Ambiente 2013-2016 y la Agenda Nacional de Acción Ambiental AgendAmbiente Perú 2015 – 2016.

- Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM, Política Nacional del Ambiente.
- Resolución Suprema N° 189-2012-PCM, Ejes Estratégicos de la Gestión Ambiental.
- Decreto Supremo N° 054-2011-PCM, Plan Bicentenario: El Perú hacia el 2021.
- Decreto Supremo N° 014-2011-MINAM, Plan Nacional de Acción Ambiental PLANAA- PERÚ 2011-2021.
- Resolución Ministerial N° 334-2012-MINAM, Plan Estratégico Sectorial Multianual del Sector Ambiente 2013-2016.
- Resolución Ministerial N° 405-2014-MINAM, Agenda Nacional de Acción Ambiental 2015-2016.

Instrumentos Complementarios a la Gestión Ambiental en el Perú.

- Acuerdo Nacional - Políticas de Estado del Acuerdo Nacional, 2002.
- Decreto Supremo N° 011-2015-MINAM, Estrategia Nacional ante el Cambio Climático- ENCC.
- Plan de Acción de Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático (NAMA)2010.
- Resolución Ministerial N° 373-2010/MINSA, Plan Nacional de Gestión de Residuos Sólidos en Establecimientos de Salud y Servicios Médicos de Apoyo 2010-2012.

- Decreto Supremo N° 017-2012-ED, Política Nacional de Educación Ambiental.
- Decreto Supremo N° 004-2012-MIMP, Plan Nacional de Igualdad de Género 2012-2017 – PLANIG.
- Resolución Ministerial N° 171-2016-MINAM, Agenda de Investigación Ambiental al 2021.
- Decreto Supremo N° 008-2013-MIDIS, Estrategia Nacional de Desarrollo e Inclusión Social: "incluir para crecer".
- Decreto Supremo N° 034-2014-PCM, El Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - PLANAGERD 2014-2021.

PBI, Número de Clientes y Cantidad de Población Histórica

AÑO	PBI REGIONAL		NÚMERO DE CLIENTES		POBLACIÓN REGIONAL	
	(Mio. S/)	TASA DE CRECIM. (%)	Nro CLIENTES	TASA DE CRECIM. (%)	HABITANTES	TASA DE CRECIM. (%)
1992	6641.14		159115		2882578.518	
1993	7457.94	12.30	162683	2.24	2923039.00	1.40
1994	7423.45	-0.46	177695	9.23	2964107.36	1.40
1995	9009.47	21.37	184664	3.92	3005793.31	1.41
1996	10216.09	13.39	213037	15.36	3048106.75	1.41
1997	11475.74	12.33	231181	8.52	3091057.72	1.41
1998	12032.91	4.86	249531	7.94	3134656.45	1.41
1999	12607.04	4.77	269585	8.04	3178913.33	1.41
2000	13116.75	4.04	283856	5.29	3223838.93	1.41
2001	13187.04	0.54	296385	4.41	3269444.00	1.41
2002	14809.18	12.30	316703	6.86	3309210.57	1.22
2003	15625.98	5.52	341594	7.86	3317194.00	0.24
2004	16442.79	5.23	364905	6.82	3417447.00	3.02
2005	17259.59	4.97	390755	7.08	3466907.00	1.45

Fuente: ELECTROCENTRO

Resultados del Método de Tendencias

ELECTROCENTRO S.A.
DEMANDA DE ENERGÍA (MWH)
HISTÓRICA 1992-2005
MERCADO REGULADO

Año	Energía
1992	220.475
1993	260.093
1994	267.291
1995	251.352
1996	245.926
1997	261.352
1998	278.144
1999	286.137
2000	296.273
2001	294.112
2002	305.444
2003	313.428
2004	343.428
2005	383.820

Tasa de Crecimiento: **2.84%**

La Ecuación Ajustada, es la que mejor se aproxima a la tasa calculada con los datos históricos.

CORRELACIÓN 1992-2005

PROYECCIONES - DEMANDA DE ENERGÍA 2006-2021 (MWh)

Año	Lineal	Polinómica	Exponencial	Ecuación Ajustada			
				Y = 6294.23X + 231847.88	Y = 262604.8 + 884.4702X - 4068.57X ²	Y = 234279.4 * EXP(0.02957X)	Y = 181851.77 + 60441.71 * (1/(X-1)) + 12654.67 * X
	R ² = 0.8425	R ² = 0.9479	R ² = 0.8697	R ² = 0.9488			
	Energía	Energía	Energía	Energía			
2006	347.967	378.924	354.269	363.667			
2007	356.261	400.486	364.890	375.989			
2008	364.556	423.816	375.829	388.356			
2009	372.850	448.916	387.096	400.759			
2010	381.144	475.784	398.701	413.191			
2011	389.438	504.421	410.654	425.648			
2012	397.733	534.828	422.965	438.126			
2013	406.027	567.003	435.646	450.622			
2014	414.321	600.947	448.706	463.133			
2015	422.615	636.661	462.158	475.657			
2016	430.910	674.143	476.013	488.192			
2017	439.204	713.394	490.284	500.737			
2018	447.498	754.414	504.982	513.291			
2019	455.792	797.203	520.121	525.853			
2020	464.087	841.761	535.714	538.421			
2021	472.381	888.089	551.774	550.966			
Tasa Prom Histórica 19	2.84%	2.84%	2.84%	2.84%			
Tasa Prom 2006-2021:	2.06%	5.84%	3.00%	2.81%			

Fuente: ELECTROCENTRO

Resultados del Método Econométrico

Modelo F: Energía = C + B1*POB + B2*Dummy

Dependent Variable: ENERGIA
Method: Least Squares
Date: 09/16/05 Time: 11:28
Sample: 1992 2005
Included observations: 14

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-656495.9	100871.2	-6.508262	0.0000
POB	0.308988	0.034545	8.918747	0.0000
DUMMY	-29878.10	8246.088	-3.623306	0.0040

R-squared	0.952179	Mean dependent var	285591.0
Adjusted R-squared	0.943484	S.D. dependent var	37469.36
S.E. of regression	8907.601	Akaike info criterion	21.21461
Sum squared resid	8.73E+08	Schwarz criterion	21.35155
Log likelihood	-145.5022	F-statistic	109.5123
Durbin-Watson stat	1.132503	Prob(F-statistic)	0.000000

La tasa de crecimiento se encuentra entre 2.82% y 3.47%, sin embargo la proyección con el comportamiento para el escenario Dummy1 (2.82%), tiene mayor realismo al contar con mayor cantidad de datos para el comportamiento histórico.

Modelo F	Modelo F	Modelo F
Pob. Dummy	Pob. Dummy	Pob. Dummy
229475	229475	229475
260093	260093	260093
267291	267291	267291
251352	251352	251352
246926	246926	246926
261352	261352	261352
279144	279144	279144
296137	296137	296137
296273	296273	296273
294112	294112	294112
305444	305444	305444
313426	313426	313426
343429	343429	343429
363820	363820	363820
421020	391142	361264
434524	404646	374768
448028	418150	388272
461533	431655	401777
475037	445159	415281
488541	458663	428785
502046	472168	442290
515550	485672	455794
529054	499176	469298
542559	512681	482803
556063	526185	496307
569567	539689	509811
583072	553194	523315
596576	566698	536820
610080	580202	550324
623585	593707	563828
3.47%	2.82%	3.01%

Fuente: ELECTROCENTRO

ENCUESTA DE SERVICIO Y SATISFACCION DEL CLIENTE DEL SERVICIO ELÉCTRICO

Las respuestas a las preguntas siguientes son optativas. Le agradecemos su cooperación (Todas las respuestas son confidenciales)

INFORMACIÓN GENERAL

- 1) **¿Cuál es su sexo?**
 - a) Masculino
 - b) Femenino
- 2) **¿Qué edad tiene?**
 - a) 18-24
 - b) 25-34
 - c) 35-44
 - d) 45-54
 - e) 55-61
 - f) Más de 62

SATISFACCIÓN GENERAL

- 3) **¿Cuál es su grado de satisfacción en su vivienda?**
 - a) Muy satisfecho
 - b) Satisfecho
 - c) Insatisfecho
 - d) Muy insatisfecho
 - e) No se aplica
- 4) **¿Cuál es su grado de satisfacción en su vecindario?**
 - a) Muy satisfecho
 - b) Satisfecho
 - c) Insatisfecho
 - d) Muy insatisfecho
 - e) No se aplica

MANTENIMIENTO Y REPARACIONES

- 5) **Durante el año pasado, ¿Cuántas veces llamo para pedir mantenimiento o reparaciones**
 - a) Nunca llamo
 - b) Menos de una semana
 - c) Una a cuatro semanas
 - d) Más de cuatro semanas
 - e) Nunca se corrigió el problema
- 6) **Si llamo por mantenimientos o reparaciones urgentes, el trabajo se terminó generalmente en:**
 - a) Nunca llamo
 - b) Menos de seis horas
 - c) Seis a 24 horas
 - d) Más de 24 horas
 - e) Nunca se corrigió el problema
- 7) **¿Fue fácil solicitar las reparaciones?**
 - a) Siempre
 - b) Casi siempre
 - c) Algunas veces
 - d) Casi nunca
 - e) Nunca
- 8) **¿Cuál fue la calidad de las reparaciones?**
 - a) Muy satisfecho
 - b) Satisfecho
 - c) Insatisfecho
 - d) Muy insatisfecho
 - e) No se aplica

9) **¿Cómo lo trato la persona que contacto?**

- a) Muy satisfecho
- b) Satisfecho
- c) Insatisfecho
- d) Muy insatisfecho
- e) No se aplica

10) **¿Cómo lo trato la persona que realizo las reparaciones?**

- a) Muy satisfecho
- b) Satisfecho
- c) Insatisfecho
- d) Muy insatisfecho
- e) No se aplica

COMUNICACIONES

- 11) **Cree que la empresa le proporciona información de los términos de su contrato.**
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) En desacuerdo
 - d) Totalmente en desacuerdo
 - e) No se aplica
- 12) **La empresa responde a sus preguntas e inquietudes.**
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) En desacuerdo
 - d) Totalmente en desacuerdo
 - e) No se aplica
- 13) **La empresa le brinda un trato cortés y profesional**
 - a) Totalmente de acuerdo
 - b) De acuerdo
 - c) En desacuerdo
 - d) Totalmente en desacuerdo
 - e) No se aplica

SERVICIOS

- 14) **En el último año, ¿cuántos problemas ha tenido con la electricidad?**
 - a) Nunca he tenido problemas
 - b) Uno o dos problemas
 - c) Tres o cuatro problemas
 - d) Más de cuatro problemas
- 15) **Si tuvo un problema con la electricidad, ¿Cuánto tiempo llevo la reparación?**
 - a) Nunca he tenido problemas
 - b) Menos de seis horas
 - c) Seis a 24 horas
 - d) Más de 24 horas
 - e) Nunca se corrigió el problema