

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI ROMA

"LA SAPIENZA"

**CIRPS: CENTRO INTERUNIVERSITARIO DI RICERCA
PER LO SVILUPPO SOSTENIBILE**

***PROGRAMA DE DOCTORATO EN
"TECNOLOGIA ENERGETICA Y MEDIOAMBIENTAL
PARA EL DESARROLLO"***

TESIS DE DOCTORADO:

**"PRODUCCION DE HIDROGENO EN PERU DE FUENTES
ENERGETICAS RENOVABLES: POTENCIALIDAD DEL BARBOJO
DE CAÑA DE AZUCAR"**

DOCTORANDO : ING. MAXIMILIANO ARROYO ULLOA

CICLO : XV

PERIODO : 1999 - 2002

Docente Guía : PROF. ING. VINCENZO NASO

Correlator : DR. ING. FABIO ORECCHINI

ROMA

Agradecimiento

A Dios.

Mi reconocimiento y eterna gratitud al Prof. Vincenzo Naso, por la oportunidad brindada, su asistencia científica y apoyo dentro y fuera del programa de doctorado.

Al Dr. Fabio Orecchini, por su disponibilidad, espíritu innovativo contagiante, su visión futurística y su considerable atención a la parte humana de los investigadores.

A toda la familia CIRPS – Colosseo: Adriano Santiangeli, Francesca Farioli, Enrico Bocci, Ricardo del Po, Fabrizio Zuccari, Simone Grego, Stefano Esposto, Stefano di Donato, Andrea Filipetti, Serena Drigo, Laura del Campo. Andrea Micangeli, Giacomo Spaghetti e Felipe.

A Pedro Mendoza, por su confianza en mi capacidad profesional y humana, su amistad y consejos.

A Lina Tieri e Paolo Bocci, por su fraternidad en los momentos difíciles e importantes de esta experiencia, pero sobre todo por su constante apoyo a las personas del Sur del Mundo (Africa) que no debe pasar desapercibido.

Eternamente agradecido.

A Maira, Mairita y Dieguito por todos los momentos que les he “robado” en la vida, por mi ausencia en las horas difíciles y porque sin su sacrificio esto no hubiera sido posible.

RESUMEN

Una de las estrategias para reducir las emisiones de efecto invernadero en el Perú, es tomar ventaja del recurso biomasa, específicamente de los residuos industriales del sector azucarero, como el bagazo y el barbojo (hojas y cogollo de caña de azúcar). La investigación demuestra dos puntos importantes: que la quema de los campos de caña para facilitar la cosecha, es una actividad con efectos negativos para la región; y la potencialidad de producir hidrógeno a partir del barbojo, con consecuencias ambientales y sociales positivas. Un cambio en la gestión de los cultivos, puede permitir a través de la cosecha en verde (sin quema), obtener beneficios sociales (nuevos puestos de trabajo) y económicos, si tenemos en consideración que la cosecha en verde significa un incremento en el contenido de sacarosa y menos presencia de materia extraña en la caña que llega a los ingenios. Si bien la tecnología de la mecanización por un lado presenta mayores índices de eficiencia, por otro lado agravaría el problema de la compactación y reducción de la porosidad de los suelos. Estudios realizados por organismos europeos y americanos, concluyen que producir hidrógeno de residuos biomásicos, es la alternativa más adecuada para los países en vías de desarrollo. Esto refuerza, la integración de un sistema de gasificación-fuel cell en los ingenios, utilizando el barbojo como materia prima, para repotenciar el sistema energético existente y la posibilidad de vender la energía eléctrica adicional a la red nacional. Vender energía eléctrica sostenible al sistema regional es reducir las emisiones de CO₂, porque se substituye el uso de combustible fósil en su generación. Y de acuerdo al Protocolo de Kyoto, este ahorro permitiría comercializar el CO₂ ahorrado a través del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL). La producción de hidrógeno del barbojo de caña de azúcar, representa para el Perú y todos los países cultivadores de caña, la oportunidad real hacia una evolución energética sostenible.

SIMBOLOS Y ABREVIATURAS

IPCC	: Grupo Intergubernamental en Cambios Climáticos
PVD	: Países en vías de desarrollo
E	: Exa (10^{18})
T	: Tera (10^{12})
G	: Giga (10^9)
M	: Mega (10^6)
k	: Kilo (10^3)
t	: Toneladas
w	: Watt
g	: Gramo
h	: Hora
OLADE	: Organización Latinoamericana de Energía
SICN	: Sistema de Interconexión Nacional Centro-Norte
CDM	: Clean Development Mechanism
FAO	: Organización para la Agricultura y la Alimentación
Ha	: Hectáreas
T/día	: Toneladas por día
OCM	: Organización Mundial del Comercio
CAN	: Comunidad Andina
PCS	: Poder calorífico superior
HHV	: High heating value
PCI	: Poder calorífico inferior
LHV	: Low heating value
PCU	: Poder calorífico útil
\$ ct	: Centavos de dólar
PEM	: Polymer electrolyte membrane
SOFC	: Solid oxide fuel cell
MCFC	: Molten carbonate fuel cell
SPP	: Small power plant
GT/CC	: Gasification technology/combined cycle
Nm ³	: Normal metro cúbico
Tep	: Tonelada equivalente de petróleo
PSA	: Pressure swing adsorption
η	: Eficiencia

INDICE

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Sìmbolos y Abreviaturas	iv
Indice General	v
Indice de figuras	ix
Indice de tablas	xi
Introduccìon	xii
Capìtulo I: Sector energètico-ambiental Peruano	
1.1. Energia primaria	1
1.2. Energia secundaria	2
1.3. Balance Energètico Nacional	2
1.4. Emisiòn de gases contaminantes	2
1.4.1. Emisiones de diòxido de carbono (CO ₂)	4
1.4.2. Emisiones de monòxido de carbono (CO)	5
1.4.3. Emisiones de metano (CH ₄)	5
1.4.4. Emisiones de òxido de nitrògeno (NO _x)	5
1.4.5. Emisiones de òxido de azufre (SO _x)	5
1.4.6. Emisiones de particulas	5
1.5. Perspectivas del utilizo de gas natural	6
1.6. Energìas renovables en el balance energètico nacional	6
1.6.1. Energìa geotèrmica	7
1.6.2. Energìa solar	7
1.6.3. Energìa eòlica	10
1.6.4. Biomasa	10
1.7. Objetivo de la investigaciòn	14
1.7.1. Metodologia de la investigaciòn	14
Capìtulo II: Agricultura – Biomasa y Cambio climatico	
2.1. Introduccìon	15
2.2. Impacto de la agricultura en el cambio climàtico	17
2.2.1. Gases de efecto invernadero generados en el sector agrìcola	17
2.3. Impacto del cambio climàtico en la agricultura	18

2.3.1.	Probables efectos negativos	18
2.3.2.	Probables efectos positivos	19
2.3.3.	Equilibrando los factores	19
2.4.	Opciones a tener en cuenta	20
2.5.	Biomasa	21
2.5.1.	Fuentes de biomasa	22
2.5.2.	Distribución mundial de biomasa	23
2.5.3.	Biomasa y ambiente	26
2.6.	Tecnología energética para el uso de la biomasa	26
2.6.1.	Procesos de transformación energética de la biomasa	27
2.6.1.1	Procesos de conversión bioquímicos	27
2.6.1.2	Procesos de conversión termoquímicos	28

Capítulo III: Caña de azúcar: desarrollo e impacto regional

3.1.	Producción de caña de azúcar en Perú	30
3.1.1.	Importancia del sector azucarero en la economía regional Peruana	31
3.2.	Caña de azúcar: características y su impacto en las regiones	33
3.3.	Residuos de la industria del azúcar	34
3.3.1.	Impacto del cultivo de caña de azúcar	34
3.3.2.	Impacto del proceso de producción de azúcar	40
3.4.	Emisión de gases de los ingenios azucareros	41
3.5.	Emisión de gases en la etapa agrícola de la caña de azúcar	43

Capítulo IV: Barbojo de caña de azúcar

4.1.	Perspectivas energéticas de los residuos de la caña de azúcar	46
4.2.	Importancia del barbojo en el cambio climático	47
4.3.	Características fundamentales del barbojo de caña	47
4.3.1.	Características energéticas del barbojo	48
4.4.	Impacto de la quema del barbojo en el ciclo agrícola	53
4.4.1.	Impacto de la quema en la degradación de suelos	54
4.5.	Métodos de obtención del barbojo	58
4.5.1.	Método de cosecha manual	58
4.5.2.	Método de cosecha mecanizada	58
4.6.	Impacto social por uso del barbojo	60
4.7.	Alternativas energéticas de uso del barbojo	62
4.8.	Costos y beneficios económicos de la cosecha en verde	64
4.9.	Costos y beneficios ambientales de la cosecha en verde	66
4.10.	Costos y beneficios sociales de la cosecha en verde	66

4.11. Hacia un futuro basado en la cosecha mecanizada de la caña: es conveniente?	67
4.11.1. Tipos de màquinas cosechadoras	68
4.11.2. Sistemas de manejo de la caña de azùcar	69
4.11.3. Escenarios futuros de rendimiento y costos de las labores del manejo de caña	70
4.12. Estrategias glocales del sector azucarero Peruano en busca de un desarrollo sostenible	72
Capítulo V: Hidrógeno, energía del futuro	
5.1. La conversión futura de la energía debe ser sostenible	77
5.2. Criterio de selección para la conversión de energía	78
5.2.1. Es el utilizo del gas natural un primer paso hacia una nueva economía energética?	83
5.2.2. Hidrógeno renovable: un sistema energético sostenible	85
5.3. Sistemas de producción de hidrógeno	87
5.3.1. Sistemas de producción de hidrógeno	88
5.3.1.1. Steam reforming	89
5.3.1.2. Electrólisis	90
5.3.1.3. Gasificación de biomasa	91
5.3.1.4. Fermentación anaeróbica de biomasa	92
5.3.1.5. Fotoproducción de hidrógeno	92
5.4. Selección del sistema de producción de hidrógeno	93
Capítulo VI: Producción de hidrógeno de barbojo de caña de azúcar	
6.1. Biomasa: oportunidad para países en vías de desarrollo	96
6.2. Obtención de energía a partir de biomasa cañera	100
6.3. Gasificación de biomasa cañera: barbojo	101
6.3.1. Gasificación: concepto y sistemas	101
6.3.1.1. Tipos de gasificadores	102
6.4. El proceso de gasificación del barbojo	106
6.4.1. Gasificación a calor indirecto del barbojo	108
6.4.2. Selección del agente oxidante	109
6.4.3. Cálculo de la producción de hidrógeno de barbojo	110
6.4.3.1. Utilizo del hidrógeno e sistemas de pilas de combustible	113
6.4.3.2. Esquema fundamental de la planta de producción de energía eléctrica a partir del barbojo	116

6.4.4.	Propuesta de planta energética para la Empresa Casa Grande en Perú	120
6.4.4.1.	Ventajas y desventajas del sistema propuesto	125
6.4.5.	Consideraciones económicas estimadas	126
Capítulo VII: El sector azucarero Peruano y el Protocolo de Kyoto		
7.1.	Introducción	127
7.1.1.	El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	127
7.2.	El papel de la caña de azúcar en el MDL	128
7.2.1.	Oportunidades para las empresas locales	130
7.2.2.	Tendencias locales y opciones hacia el MDL	132
7.2.3.	Participación del hidrógeno producido de barbojo en el Plan Nacional de Reducción de CO ₂ en Perú	136
Capítulo VIII: Conclusiones		137
Bibliografía		140

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1: Flujo energètic del Sistema Nacional Peruano (2000)	3
Fig. 2: Potencial disponible de energia geotèrmica	8
Fig. 3: Potencial disponible de energia solar	9
Fig. 4: Potencial disponible de energia eòlica	11
Fig. 5 : Utilizo del bagazo de caña de azùcar (2000)	12
Fig. 6: Relaciòn temperatura y combustibles fòsiles	15
Fig. 7: Distribuciòn global de biomasa	24
Fig. 8: Clasificaciòn de las empresas azucareras en Perù (2000)	32
Fig. 9: Composiciòn y caracterìsticas de la caña de azùcar	33
Fig. 10: Sistema clàsico de cultivo de caña de azùcar	35
Fig. 11: Impacto que genera el cultivo de caña de azùcar	36
Fig. 12: Residuos generados durante el proceso de producciòn de azùcar	41
Fig. 13: Emisiòn global de gases de los ingenios azucareros (2000)	45
Fig. 14: Impacto de la quema del barbojo en el ciclo agrìcola	54
Fig. 15: Efecto de la quema de caña en la fertilidad de los suelos	56
Fig.16: Compactaciòn y reducciòn de actividad bacteriana por quema de campos de caña de azùcar	57
Fig. 17: Maquinaria para cosecha mecanizada	59
Fig. 18: Escenario de cosecha con caña quemada	72
Fig. 19: Escenario de cosecha con caña en verde	72
Fig. 20: Integraciòn de zonas àridas y recuperaciòn de suelos	74
Fig. 21: Substituir a futuro en un 100% sistemas de irrigaciòn	75
Fig. 22: Estrategias y acciones para reducir el CO ₂ en la atmòsfera	79
Fig. 23: Tendencias de sistemas de producciòn de energia	80
Fig. 24: La transiciòn del sistema energètic global	83
Fig. 25: Evoluciòn del ìndice hidrògeno-carbono de las fuentes de energia	84

Fig. 26: Alternativas de producció de hidrógeno renovable	86
Fig. 27: Producció de hidrógeno de gas natural	90
Fig. 28: Electrólisis del agua	91
Fig. 29: Alternativas de almacenamiento de CO ₂	94
Fig. 30: Acceso a la electricidad de países en vías de desarrollo	98
Fig. 31: Consumo de biomasa en países en vías de desarrollo	98
Fig. 32: Gasificadores de lecho fijo	104
Fig. 33: Gasificadores de lecho suspendido	104
Fig. 34: Gasificador a lecho fluido	104
Fig. 35: Producció y aplicació de gas de bajo poder calorífico (3,5-7 MJ/m ³)	105
Fig. 36: Producció y aplicació de gas de poder calorífico medio (9-15 MJ/m ³)	105
Fig. 37: Producció y aplicació de gas de alto poder calorífico (16-36 MJ/m ³)	105
Fig. 38: Esquema general de gasificació con calor indirecto	108
Fig. 39: Cantidad teórica de hidrógeno y energía eléctrica equivalente producible con barbojo	112
Fig. 40: Esquema básico de producció de hidrógeno de barbojo	118
Fig. 41: Flujo cuantitativo de la planta Casa Grande	120
Fig. 42: Esquema de planta energética propuesta para Casa Grande	124
Fig. 43: Cultivo de caña de azúcar a nivel mundial	129
Fig. 44: Superficie cosechada de caña según procedencia en el 2000	131
Fig. 45: Producció de energía eléctrica en base a energía hidráulica y térmica (petróleo) y la posibilidad de substitución con energía a partir de caña de azúcar	133
Fig. 46: Expectativas de ahorro de CO ₂ (Gg) en sectores productivos	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1:	Producció de energia primaria	1
Tabla 2:	Producció de energia secundaria	2
Tabla 3:	Consumo final de energia por fuentes	4
Tabla 4:	Balance energètico consolidado del Sistema Nacional Peruano (2000)	13
Tabla 5:	Biomasa en el sistema energètico mundial	25
Tabla 6:	Capacidades de las empresas azucareras Peruanas	30
Tabla 7:	Emisió de CO ₂ en el ingenio azucarero	42
Tabla 8:	Emisió de gases por utilizo del bagazo y combustible fòsil	43
Tabla 9:	Emisió de gases por la quema del barbojo	44
Tabla 10:	Anàlisis pròximo del barbojo y bagazo	48
Tabla 11:	Anàlisis ùltimo del barbojo y bagazo	48
Tabla 12:	Cosecha y post-cosecha del barbojo	60
Tabla 13:	Costos estimados de cosecha en verde por Ha/año (2000)	65
Tabla 14:	Comparació de la generació de electricidad a partir de biomasa cañera y petròleo bunker	67
Tabla 15:	Rendimiento y costos de sistemas de manejo de caña de azùcar	71
Tabla 16:	Materia extraña y sacaroza segùn tipo de cosecha	76
Tabla 17:	Costos de producció de hidrògeno c/s secuestro de CO ₂	93
Tabla 18:	Comparació de sistemas de producció de hidrògeno	95
Tabla 19:	Composició final del gas, segùn tipo de oxidante	110
Tabla 20:	Características fundamentales de las pilas de combustible	114
Tabla 21:	Datos energèticos de la planta Casa Grande (Perù)	122
Tabla 22:	Portafolio preliminar de proyectos para el CDM	135
Tabla 23:	Cantidad de CO ₂ evitada substituyendo combustible fòsil por hidrògeno producido de barbojo	136

INTRODUCCIÒN

El proceso natural del efecto invernadero ha crecido debido a la emisiòn de gases provenientes de actividades humanas, tales como el consumo de mayores cantidades de combustible fòsiles y el abandono de residuos sin tratamientos especìficos previos. El *Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambios Climáticos* (IPCC) ha concluido que el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero, son la causa del aumento de la temperatura sobre la superficie de la tierra. Esta conclusiòn puede llegar a extremos màs crìticos, en vista de una dràstica demanda energètica que se prevee de parte de los Paìses en Vías de Desarrollo (PVD).

Siendo el Perú un paìs considerado en el grupo de PVD, es necesario mirar detenidamente nuestra realidad y los potenciales con los que cuenta de manera que se puedan tomar medidas necesarias para afrontar decididamente nuestro rol en la lucha por un mundo sostenible. Una manera de poder reducir nuestras emisiones contaminantes, es tomando ventaja de las fuentes energèticas renovables con las que cuenta el paìs, gracias a su posiciòn geogràfica y a las condiciones climáticas; y de los residuos que se generan en los sectores industriales, para producir energìa, substituyendo el uso de combustibles fòsiles.

El Perú es un paìs agrìcola, y una de las principales actividades de la industria Peruana es el cultivo y proceso de la caña de azúcar, cultivo que no-solo provee azúcar sino también energìa. La industria de la caña de azúcar genera cada año grandes cantidades de bagazo (fibra de la caña), que se utilizan para alimentar los calderos de los ingenios para generar vapor de proceso y electricidad (tìpicamente en ciclos tèrmicos de baja eficiencia).

El bagazo es reconocido como un combustible renovable, que puede ser utilizado para producir cantidades significantes de electricidad adicional, pero existe ademàs otro combustible biomàsico tìpico de la cultivaciòn de la caña de

azúcar, llamado barbojo (cogollo, hojas de caña verdes y secas) que son quemadas antes y después de la cosecha. El barbojo ofrece una alternativa sostenible como combustible por su importante contenido energético y su presencia natural en el crecimiento de la caña, y sin necesidad de destinar otras áreas de cultivo para su obtención. El barbojo en su condición de biomasa residual, ofrece la alternativa de ser utilizada como combustible en sistemas energéticos sostenibles para producir nuevos vectores de energía, como es el caso del hidrógeno.

¿Porqué hidrógeno?. Por que el hidrógeno como combustible puede cambiar fundamentalmente nuestra relación con el medio ambiente. Considerado como un vector energético ideal, el hidrógeno jugará un papel importante en el desarrollo de nuevas infraestructuras energéticas descentralizadas, proveyendo energía a los sectores: transporte, residenciales, comerciales e industriales. El hidrógeno tiene muchas ventajas en relación a otros combustibles, para ello es importante entender las limitaciones de los combustibles de los cuales dependemos hoy en día, es así que los combustibles convencionales basados en el petróleo contienen carbono, que al ser quemado y unirse al oxígeno del aire forman dióxido de carbono, que es el principal gas que produce el calentamiento global. Hoy en día, el hidrógeno es producido por “des-carbonización” de combustibles fósiles. Debido a que puede ser producido por varios métodos, se puede adaptar fácilmente a la economía de diferentes países, aunque el proceso de conversión a una economía basada en hidrógeno es compleja, los beneficios ambientales pesarán más que los costos.

Integrar la potencialidad de verdaderos recursos renovables de los países en vías de desarrollo a las nuevas tecnologías de aquellos países desarrollados, es la mejor alternativa hacia un beneficio ambiental global, y la oportunidad hacia el desarrollo sostenible para los menos favorecidos.

CAPÍTULO I

SECTOR ENERGETICO-AMBIENTAL PERUANO

1.1.- Energía primaria

En el año 2000, la producción de energía primaria fue 439 700 TJ inferior en 1,34% respecto al año 1999. Este descenso se debió principalmente a una considerable disminución en los niveles de producción de petróleo crudo, manifestado por un menor rendimiento en los pozos de operación. La producción de gas natural sigue en aumento respecto al año anterior, debido a que en Aguaytía y Talara se ha incrementado la producción de este recurso. En la estructura de producción de energía primaria los hidrocarburos continuaron prevaleciendo como la principal fuente de energía primaria (1). La producción de energía comercial (conformada por todas aquellas fuentes de energía susceptibles a ser fácilmente compradas o vendidas en un mercado de energéticos) representó el 77,3% del total. Ver tabla 1:

Tabla 1: Producción de Energía Primaria (TJ)

FUENTE	2000
Energía Comercial	
Petróleo crudo	202 044
Gas natural + LGN	64 732
Carbón mineral	487
Hydroenergía	72 756
Energía No Comercial	
Leña	73 189
Bagazo	13 583
Bosta-Yareta	10 692
Energía solar	2 217
TOTAL	439 700

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2000)

1.2.- Energía secundaria

La producción de energía secundaria durante el año 2000 fue de 423 208 TJ, como se muestra en la tabla 2. En la estructura de la misma continúan predominando los hidrocarburos obtenidos de las refinerías y las plantas de gas, que participan con el 82,03 % del total producido. La energía eléctrica

proveniente de las centrales hidroeléctricas y de las térmicas (a gas natural, diesel y petróleo industrial) participan con el 16,94 %. El 1,03 % restante corresponde a la participación del carbón vegetal (producto de la combustión incompleta de la leña), del gas industrial (proveniente del carbón mineral) y a la del coque (en las coquerías).

Tabla 2: Producción de Energía Secundaria (TJ)

FUENTE	2000
Electricidad	71 686
Hidrocarburos	347 168
Derivados del carbón	2 000
Carbón vegetal	2 354
TOTAL	423 208
Consumo Final Energía Secundaria	
Hidrocarburos	270 863
Electricidad	62 357
Carbón de leña	2 354
Coque & Gas Industrial	2 061
TOTAL	337 635

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2000)

1.3.- Balance energético nacional

El balance energético nacional del año 2000, muestra que el consumo energético con respecto a la leña ha disminuido (en 1999: 69326 TJ), pero existe un mayor consumo del bagazo y de energía solar (Tabla 3). El consumo energético Peruano, es una gran dependiente de los hidrocarburos en su estructura final; la Fig. 1 muestra el flujo energético del consumo de energía secundaria, siendo del orden del 80,22% del total. Los sectores con un mayor consumo de combustibles fósiles, siguen siendo los sector transporte e industrial.

1.4.- Emisiones de gases contaminantes

Los organismos responsables del control ambiental son los Ministerios de Energía-Minas, Ministerio de Agricultura, Ministerio de Pesquería y Ministerio de la Salud. Particularmente el Ministerio de Energía y Minas con la Dirección General de Asuntos Ambientales, trabajan con los sectores de electricidad, hidrocarburos y minería para evitar la contaminación y preservar el ambiente.

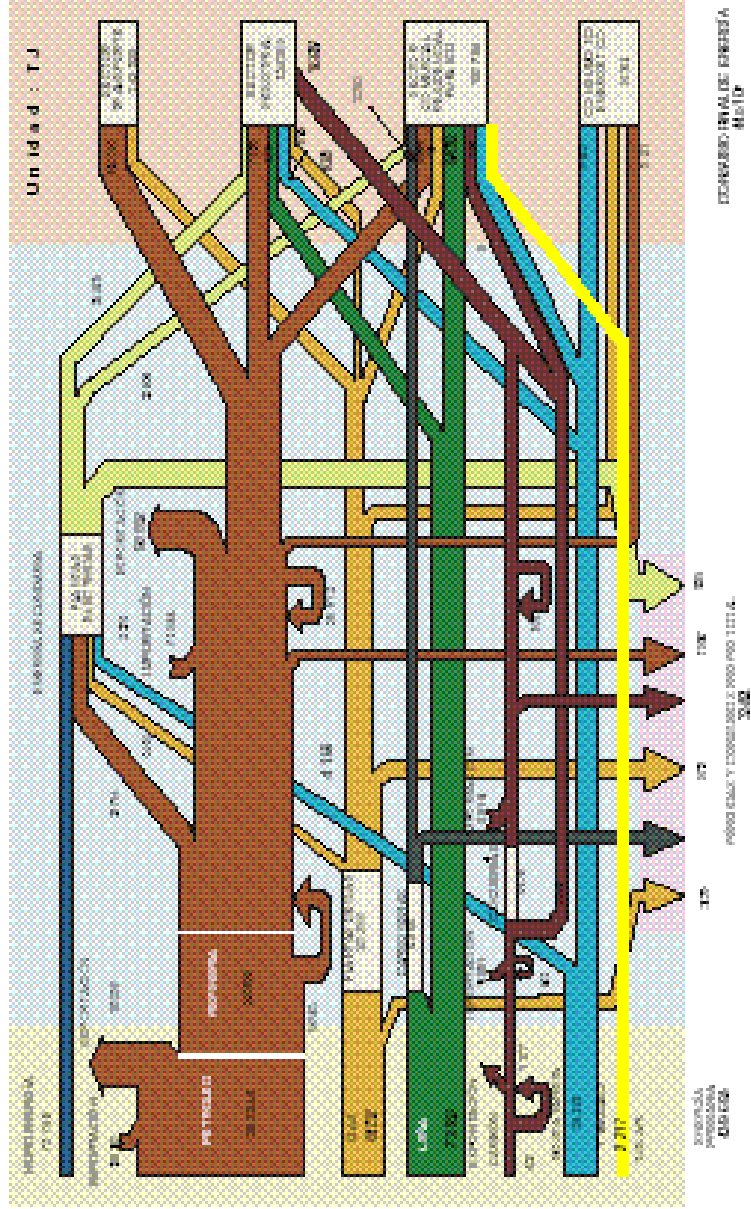


Fig. 1: Flujo energético del Sistema Nacional Peruano (2000)

El Perú es un firmante del Protocolo de Kyoto, miembro del Protocolo Ambiental por la Antártida, y participante de importantes programas de acuerdos ambientales.

Tabla3: Consumo final de energía por fuentes (TJ)

FUENTE	1999	2000
Carbón mineral	12763	15948
Leña	69326	67305
Bosta & Yareta	10703	10692
Bagazo	11251	11313
Energía solar	2180	2217
Coque	1217	1038
Carbón vegetal	2338	2354
Gas licuado	18678	19714
Gasolina-motor-	54183	48051
Kerosene jet	44313	43000
Diesel oil	105478	104206
Petróleo industrial	55348	50737
No energéticos	6515	5121
Gas distribuido	60	32
Gas industrial	351	1023
Electricidad	59335	62357
TOTAL	454040	445108

Fuente: Ministerio de Energía y Minas del Perú (2000)

La participación Peruana en la emisión al ambiente de gases por consumo final de la energía comercial² de acuerdo a datos estimados por el Ministerio de Energía y Minas y basados en la metodología de Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), es como sigue:

1.4.1.- Emisiones de dióxido de carbono (CO₂)

Las emisiones de dióxido de carbono proveniente del uso de las diferentes fuentes de energía comercial se ha incrementado de 14,6 a 21,5 mil millones de kilogramos durante el período 1985- 1999. Las actividades desarrolladas en el sector transporte son las que mayor cantidad de CO₂ liberan a la atmósfera en comparación al resto de sectores de consumo.

1.4.2.- Emisiones de monóxido de carbono (CO)

Otro de los contaminantes que es liberado a la atmósfera es el monóxido de carbono. Las emisiones de monóxido de carbono provenientes del uso de las diferentes fuentes de energía comercial se han incrementado de 408 a 518 millones de kilogramos durante el período 1985 - 1999. Las actividades desarrolladas en el sector transporte son las que mayor cantidad de CO liberan a la atmósfera.

1.4.3.- Emisiones de metano (CH₄)

En cuanto a las emisiones de metano que provienen del uso de las diferentes fuentes de energía comercial, estas se han incrementado de 5,4 a 10,6 millones de kilogramos durante el período 1985 - 1999. Siendo las actividades desarrolladas en el sector público son las que liberan mayor cantidad de CH₄.

1.4.4.- Emisiones de óxido de nitrógeno (NO_x)

Las emisiones de óxidos de nitrógeno provenientes del uso de las diferentes fuentes de energía comercial se han incrementado de 88,1 a 158,3 millones de kilogramos durante el período 1985 a 1999. Las actividades desarrolladas en el sector transporte son las que mayor cantidad de NO_x liberan contribuyendo al efecto invernadero.

1.4.5.- Emisiones de óxidos de azufre (SO_x)

Las emisiones de óxidos de azufre provenientes del uso de las diferentes fuentes de energía comercial se han incrementado de 52,1 a 68,5 millones de kilogramos durante el período 1985 a 1999. Las actividades desarrolladas en los sectores productivos (agropecuario, agroindustrial, pesca, industria y minero - metalúrgico) son las que mayor cantidad de SO_x liberan a la atmósfera.

1.4.6.- Emisiones de partículas

Siguiendo la evolución histórica 1985 a 1999 las emisiones de las partículas provenientes de las diferentes fuentes de energía comercial se incrementado

de 4,6 a 3,8 millones de kilogramos. Las actividades desarrolladas en el sector residencial son las que mayor cantidad de partículas liberan a la atmósfera en comparación al resto de sectores de consumo que demandan energía.

1.5.- Perspectivas del uso de gas natural

El actual gobierno Peruano está impulsando el uso del gas natural, debido a los grandes yacimientos que han comenzado a ser explotados y que serán integrados en una red de distribución nacional. El Perú es un importador de energía y la demanda de energía continúa a crecer, si bien las centrales hidroeléctricas proveen la mayor cuota de electricidad en el país, las necesidades futuras de electricidad, se esperan sean ofertadas por centrales térmicas que usaran el gas natural proveniente principalmente de Camisea, que deberá comenzar a ser operativa en el 2003. El país tiene ricas reservas de gas natural, y el proyecto Camisea es el más prometente. Las reservas de Camisea se encuentran a 300 millas al este de Lima, se estima que contiene 8,7 trillones de pies cúbicos de gas natural y 545 millones de barriles de condensado. Otra reserva de gas es Aguaytía, localizado al norte del país, con reservas estimadas en 440 billones de pies cúbicos, produciendo 1 300 barriles por día de GLP y 2 500 barriles por día de gasolina.

El futuro del gas de Camisea será fundamental para incrementar la producción de Aguaytía. Hasta el momento la participación del gas natural en la producción energética del país ha representado el 2%, situación que se espera cambie en el 2003 (2) .

1.6- Energías renovables en el balance energético nacional

El mayor uso de la energía solar, es el resultado de los programas de electrificación con paneles fotovoltaicos, ya sea por iniciativa del gobierno y/o de organismos privados. La potencialidad que ofrecen las fuentes de energía renovables (3), merecen especial atención por lo que pueden representar en el corto y mediano plazo para el país, desde el punto de vista socio-económico-ambiental:

1.6.1. Energia Geotèrmica

La energia geotèrmica es una fuente renovable che compatibiliza con el ambiente asegurando una buena conservaciòn del mismo, permitiendo la generaciòn de energia en zonas de extrema pobreza del país. Gracias a la Ley de Fuentes Geotèrmicas, promulgada en 1997, que beneficia a la inversiòn privada, considerando que el Perú cuenta con alrededor de 300 fuente tèrmicas, con temperaturas comprendidas entre los 49°C y 89°C, ubicadas a lo largo de la zona andina y en menor cantidad en los valles andinos de la zona este del país. Las principales regiones tèrmicas, representadas en la Fig. 2 son: Regiòn I (Cajamarca), Regiòn II (Huaraz), Regiòn III (Churín), Regiòn IV (Central), Regiòn V (cadena volcànica) y Regiòn VI (Puno –Cuzco).

1.6.2. Energia solar

Perù cuenta con un gran potencial solar, gracias a su características geogràficas y climàticas. El Servicio Nacional de Hidrologia y Metereologia (SENAMHI) ha elaborado un mapa solar, que permite cuantificar el potencial disponible, pero que sobretodo se convierte en una importante herramienta para el desarrollo de proyectos en base a este tipo de energia. El aporte energètico de este recurso renovable, durante el año 2000 fue de 2 217 TJ. La Fig.3 muestra el potencial disponible de energia solar a nivel nacional, de donde se concluye que las condiciones para la explotaciòn de este recurso renovable existen y que deben ser canalizados en la ejecuciòn de proyectos a media y grande escala. Por otro lado, en el pasado se han desarrollado diferentes proyectos demostrativos, que ha permitido establecer estrategias de gestiòn y operaciòn que garanticen el funcionamiento de los mismos. El Ministerio de Energia, así como organismos privados, estàn llevando adelante importantes proyectos para hacer posible el utilizo de paneles fotovoltaicos en las zonas màs pobres del Perú.

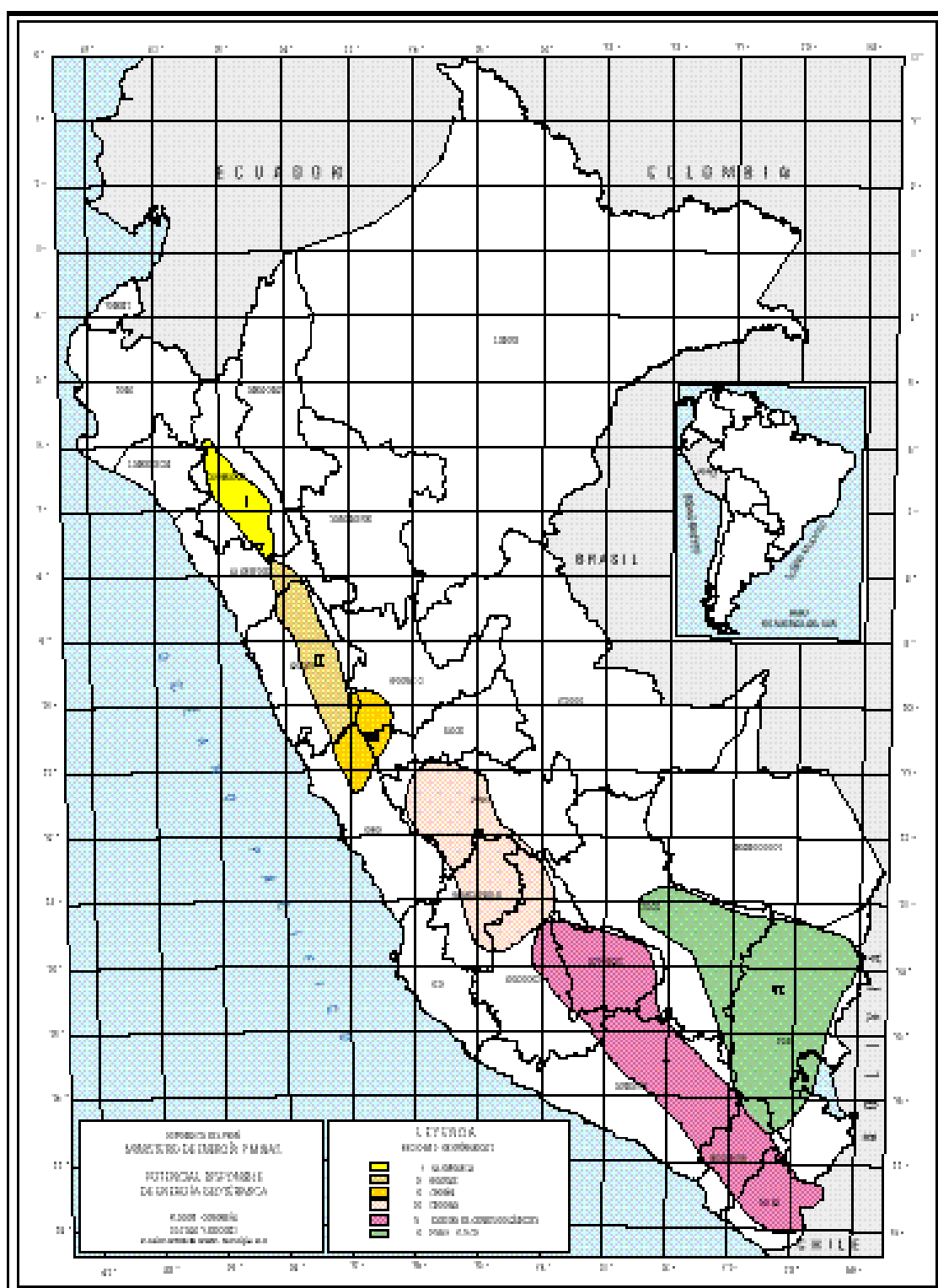


Fig. 2: Potencial disponible de energía tèrmica

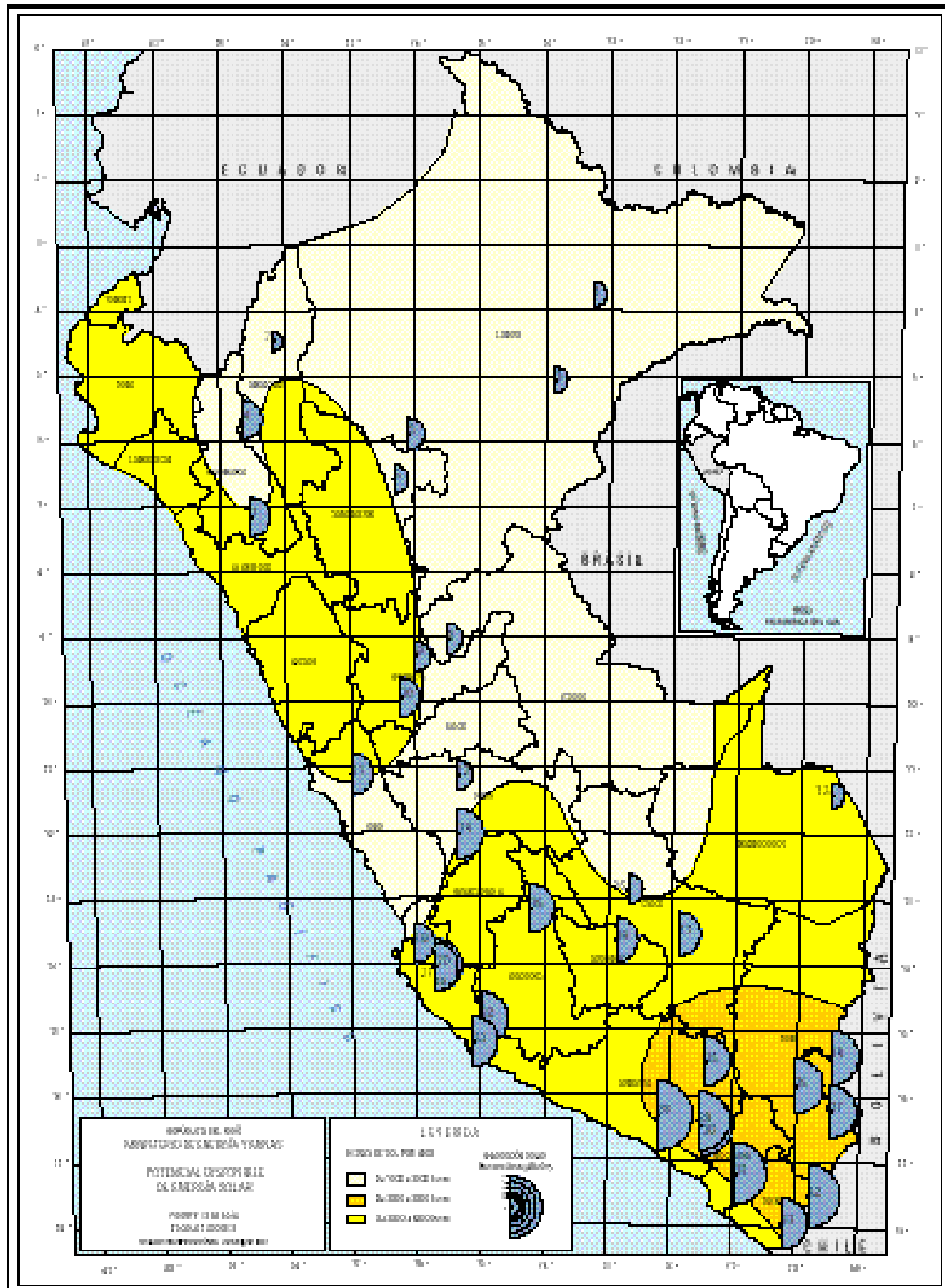


Fig. 3: Potencial disponível de energia solar

1.6.3. Energía eólica

En algunos lugares del Perú, el potencial eólico resulta ser de características muy adecuadas para la obtención de energía, alcanzándose en Malabrigo, San Juan de Marcona y Paracas una velocidad media de 8 m/seg, siendo el promedio anual en toda la costa de 6 m/seg (Fig. 4). Estos valores son más que suficientes para garantizar proyectos de esta naturaleza. En Malabrigo, al norte del Perú, en 1996 se instaló un generador eólico asincrónico trifásico de 250 kW, con una eficiencia del 36%, y en San Juan de Marcona (al sur) un generador eólico de 450 kW. Dentro del proyecto eólico de Malabrigo de 40 MW, se ha determinado realizar los estudios para una primera etapa de 10 MW. Esta potencialidad es una realidad que recién en los últimos años está teniendo la atención necesaria. El uso de la energía eólica para la generación de electricidad a integrar en el Sistema de Interconexión Nacional Centro-Norte (SINAC), va a incrementar la oferta de energía en épocas secas a precios competitivos, reducir el uso de combustibles fósiles con beneficios para el ambiente, y sobre todo va a disminuir la dependencia de la importación de hidrocarburos. Durante el año 2000, la participación de la energía eólica en la producción de energía eléctrica fue del orden de 2,16 TJ.

1.6.4. Biomasa

El aporte de los recursos bioenergéticos para el consumo de energía final del país continúa siendo significativo. En la región de la costa de Perú, la leña en un alto porcentaje proviene de los bosques secos del norte, el destino final de esta fuente de energía son las fábricas de ladrillos y el consumo doméstico. En la región de la sierra, el poblador andino recurre a la biomasa para satisfacer sus necesidades energéticas dada la imposibilidad económica del campesino para acceder a productos derivados del petróleo. Las plantaciones de Eucaliptos Globulus han contribuido, de forma parcial, en la solución del problema energético de la

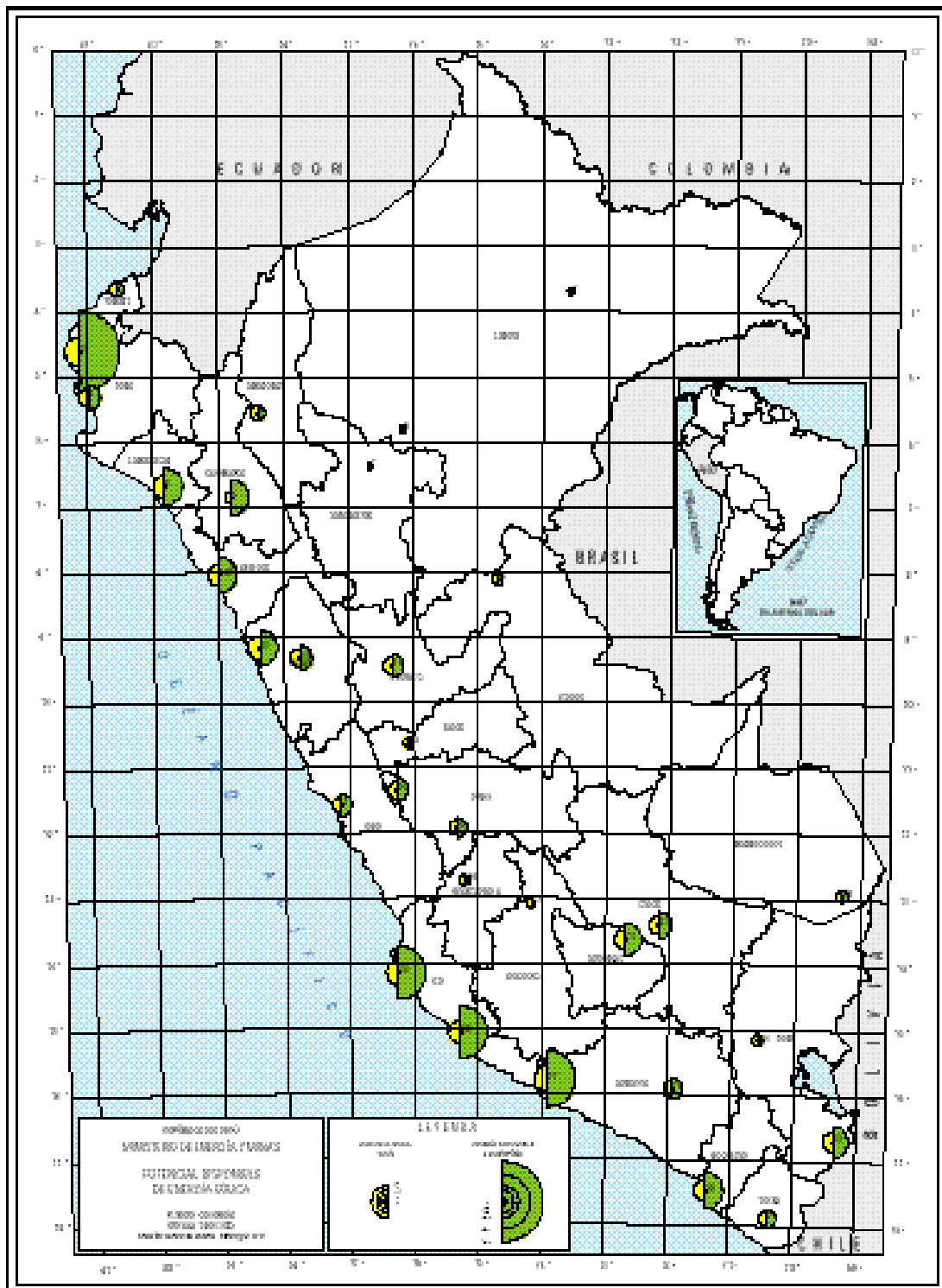


Fig. 4: Potencial disponible de energia eòlica

región lo que ha motivado la realización de programas intensivos de reforestación con fines energéticos. En el balance energético 2000 (Tabla 4), la producción energética de leña fue de 73 189 TJ y tuvo como destino para los centros de transformación (Carboneras) 5 884 TJ de leña para la obtención de carbón vegetal y 67 305 TJ para el consumo final directo. El consumo de carbón vegetal fue 2 354 TJ atribuido a los sectores Residencial, Comercial e industrial. En cuanto a la bosta y yareta el consumo durante el 2000 fue de 10 692 TJ y en su totalidad demandado por el sector residencial y comercial. El bagazo de la caña de azúcar, un residuo vegetal con gran potencial energético, registró durante el 2000 una producción de 13 583 TJ. El destino de esta producción fueron los centros de transformación: 2 270 TJ en centrales térmicas de las azucareras y para consumo final en calderos y hornos 6 169 TJ. La cantidad energética utilizada en el sector no energético fue de 5 143 TJ (Fig. 5):

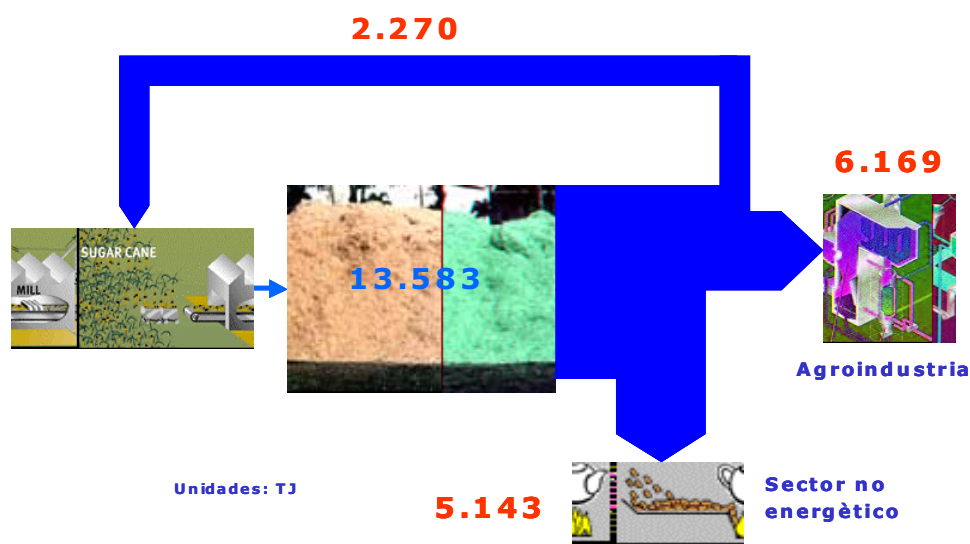


Fig. 5: Utilizo del bagazo de caña de azúcar

Tabla 4: Balance energético consolidado del Sistema Nacional Peruano (2000)

Categoría	SECTOR INDUSTRIAL														SECTOR RESIDUAL														TOTAL				
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14			15		16	
	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo	Producción	Consumo		Producción	Consumo		
1. SECTOR INDUSTRIAL	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	
2. SECTOR RESIDUAL	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	1000000	
TOTAL	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	2000000	

1.7. Objetivo de la investigación

El objetivo principal de la tesis ha sido:

- Demostrar que la actividad de la quema de los campos de caña es insostenible; y la cuantificación del potencial de los residuos de caña de azúcar en la producción del nuevo vector energético como el hidrógeno.

Los objetivos secundarios que se desprenden del principal, son:

- Cuantificar el impacto ambiental que produce la quema de los campos de caña en el suelo y el aire.
- Análisis de las alternativas de cosecha de caña, determinando el impacto social y económico que puede tener en la región.
- Determinación preliminar del sistema de conversión de energía, estima de la sustitución de combustible fósiles por hidrógeno.
- Potencialidad de participación del sector azucarero en el Mecanismo de Desarrollo Limpio (*CDM* por sus siglas en inglés).

1.7.1. Metodología de la Investigación

La metodología seguida durante la investigación, ha estado dividida en dos etapas: la investigación teórica y la investigación aplicada.

- Investigación teórica: realizada en el centro de doctorado del CIRPS – Universidad “La Sapienza”, en Roma, a través de la consulta de información especializada y la participación en congresos y seminarios científicos.
- Investigación aplicada: llevada a cabo en Perú, en las empresas Casa Grande y Cartavio, quienes con ciertas limitaciones técnicas y mucha disponibilidad del personal profesional, han hecho posible la obtención de los datos necesarios e imprescindibles para lograr los objetivos de la investigación.

CAPÍTULO II

Agricultura – Biomasa y Cambio climático

2.1.- Introducción

El calentamiento global es causado por la emisión de gases de efecto invernadero en la atmósfera y la concentración de los mismos influyen en la temperatura, precipitación, humedad de los suelos y en el nivel del mar. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (4), ha llegado a la conclusión de que las emisiones producidas por las actividades humanas han aumentado sustancialmente la concentración atmosférica de gases termo-activos. Lo que implica que la sensibilidad de la temperatura superficial si se continúa aumentando el ritmo de las actividades, el CO₂ será probablemente fuera del rango 1,0°C a 3,5°C. La figura 6, muestra el aumento de temperatura, en relación al CO₂ emitido por el utilizo de combustibles fósiles:

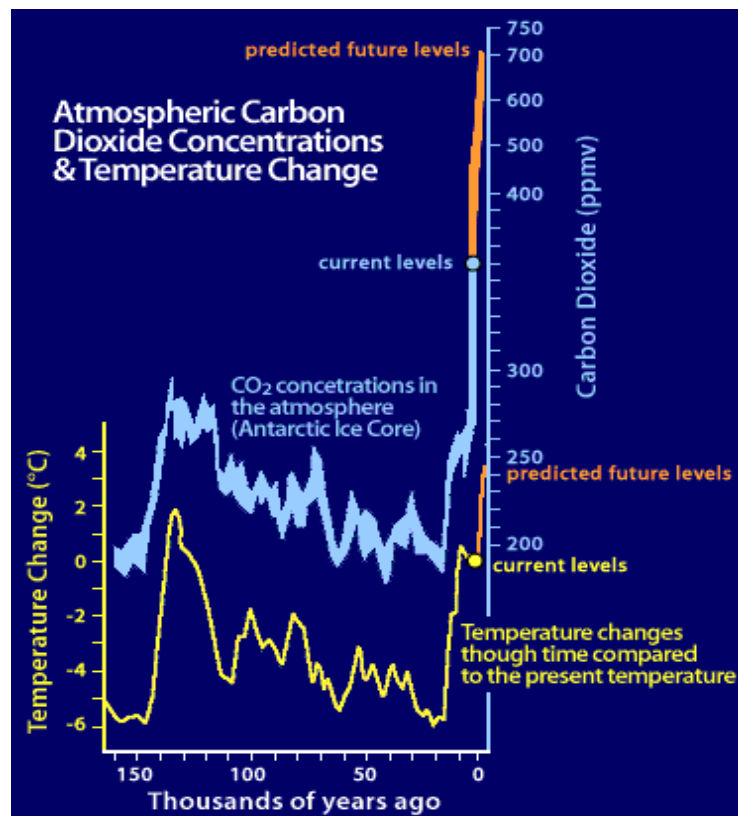


Fig.6: Relación temperatura y combustibles fósiles

Existe una tendencia a mencionar "la población" como un problema a la crisis ya sea energética o alimentaria (5), y a este punto no podemos decir que reducir el crecimiento poblacional permita solucionar todos los problemas. La tierra como planeta. Cuenta con un enorme capital en forma de combustible fósiles, ecosistemas, recursos renovables, suelos fértiles y otros recursos que han sido explotados a lo largo de muchos años, por un estilo de vida o "life-style" dependiente de estos recursos (6). Si tomamos en consideración las tres primeras leyes de la naturaleza y su relación con el ambiente (7,8,9) podemos verificar la crisis que hoy en día afrontamos:

- **Primera Ley:** *La sobrevivencia de cada especie*, depende de algunos factores como: índice de mortalidad, disponibilidad de recursos necesarios, medioambiente, etc. Pero aún la tendencia es un continuo producir de energía con sistemas basados en combustibles fósiles y en muchos casos con tecnología fatal para el ecosistema, reduciendo las condiciones mínimas de sobrevivencia
- **Segunda Ley:** *Las relaciones son cíclicas.* La agricultura moderna utiliza mayores cantidades de fertilizantes y se contaminan más los ríos y fuentes de agua. Es necesario desarrollar sistemas cíclicos de fertilización, re-utilizando residuos orgánicos en los campos como fertilizante.
- **Tercera Ley:** *Todos los Sistemas Naturales son más complejos con el tiempo.* En el intento de mantener ecosistemas agrícolas simples, usamos combustibles fósiles en vez de energía renovable. Los sectores agrícolas necesitan conocer más sobre ingeniería, química, economía y ambiente.

En este sentido, la agricultura, actividad fundamental en la economía de muchos países, también es un sector importante a considerar en términos

de cambio climático, porque su interrelación causa una dependencia tan estrecha, que el desequilibrio por parte de uno de ellos afecta de modo negativo la eficiencia de las funciones en el otro factor (10).

2.2.- Impacto de la agricultura en el cambio climático

El sector agrícola contribuye (en un quinto) al calentamiento global a través de la emisión de gases como: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y óxido nitroso (N_2O). El gas metano es el de mayor potencialidad en el calentamiento global, en comparación al CO_2 es 300 veces más y 20 veces con respecto al N_2O (11). Las principales fuentes de estos gases se encuentran en el uso de fertilizantes nitrogenados, mala gestión de suelos, pastos y ganados, conversión inadecuada de tierras, y quema de residuos agrícolas.

2.2.1.- Gases de efecto invernadero generados en el sector agrícola

- Dióxido de carbono: la principal fuente de emisión de carbono es la deforestación, debido a la expansión agrícola y a la especulación de las tierras. Cuando la vegetación natural se convierte en terrenos de uso agrícola, se pierden muchas de sus propiedades como el carbono y materia orgánica; contribuyendo en un tercio del total de CO_2 emitido a nivel global. En gran parte de los países en vías de desarrollo (PVD) es una práctica común quemar grandes cantidades de residuos agrícolas, como es el caso de países dedicados al cultivo de la caña de azúcar y arroz.
- Metano: es el gas más significativo de efecto invernadero que se emite a la atmósfera. Dichas emisiones varían según la cantidad de tierras cultivadas, tipos de fertilizantes utilizados, gestión del agua, densidad de las plantas y otros tipos de prácticas agrícolas.
- Óxido nitroso: en la agricultura estas emisiones provienen del uso de fertilizantes nitrogenados, residuos de cultivo, residuos

animales y quema de biomasa. Muchos agricultores utilizan abiertamente estos fertilizantes para optimizar el crecimiento de sus cultivos. La mayor parte del nitrógeno, es asimilado por el cultivo, con algunas parte que se depositan tanto en la superficie circundante o en las aguas, y el restante va hacia la atmósfera. El flujo de nitrógeno depende de la actividad microbiana del suelo. Y cuanto nitrógeno pierda el suelo, dependerá en general del tipo de práctica agrícola, como el arado, irrigación, temperatura, tipo se suelo y de las condiciones climáticas.

2.3.- Impacto del cambio climático en la agricultura

Los cambios de temperatura, alteraciones en los patrones de lluvia y el aumento de los niveles de CO₂, tendrán efectos importantes en la agricultura global, sobretodo en las regiones del trópico, donde el impacto puede ser muy significativo, causando variaciones negativas en sus índices de productividad. La vulnerabilidad a los cambios climáticos, no dependerá solo de factores físicos o biológicos, sino también de las características socioeconómicas de cada región

2.3.1.- Probables efectos negativos

Los cambios climáticos pueden influenciar en la agricultura de manera adversa, produciendo cambios en las precipitaciones, temperatura, densidad de las nubes, humedad de los suelos, así como aumento de las concentraciones de CO₂. El aumento de la temperatura y la disminución de las lluvias puede reducir la humedad de los suelos en muchas áreas, particularmente en las regiones tropicales, reduciendo la disponibilidad de agua para las irrigaciones. Además de la pérdida de tierras por aumento del nivel del mar o de los deltas de los ríos, asociado al fenómeno de salinización de las tierras.

2.3.2.- Probables efectos positivos

Mientras que los aumentos de la temperatura, alteración de la humedad de los suelos y cambios en los ciclos de las plagas, podrían disminuir la productividad agrícola, el CO₂ podría generar un incremento en la productividad. Se espera que los niveles atmosféricos de CO₂, tengan un efecto positivo en algunas plantas, aumentando su índice de crecimiento y utilizando el agua de manera más eficiente.

Ante esto podemos agregar que, las plantas pueden ser clasificadas como C₃, C₄, y CAM, dependiendo del sistema de fotosíntesis que ellas empleen. Las plantas del tipo C₃, por ejemplo, se beneficiarían con el extra de CO₂, y éstas incluyen árboles, arroz, soya, cebada, papas y vegetales. Las plantas del tipo C₄ son principalmente de origen tropical e incluye cultivos como el maíz, sorgo y la caña de azúcar. Cultivos que se beneficiarían poco con el aumento de CO₂. las plantas del tipo CAM, que son una variante de las plantas C₄ no serían afectadas.

2.3.3.- Equilibrando los factores

Equilibrar los factores agrícolas con el cambio climático, es una prioridad necesaria, para poder balancear su impacto negativo. Los agricultores deben tener la habilidad y capacidad suficiente para adaptarse a los cambios que se van dando en las prácticas agrícolas. Adaptarse a los cambios en las variedades agrícolas, mejorar la gestión del agua en los sistemas de irrigación, será importante para limitar los efectos negativos y poder tomar ventajas de los efectos benéficos del cambio climático.

Es posible adaptarse a los cambios climáticos, a pesar de los diferentes tipos y niveles de tecnología y de factores socioeconómicos, dependiendo de la facilidad de acceso a tales medidas sobretodo en los PVD, para cuantificar la magnitud de adaptación.

Estudios recientes han demostrado que el incremento de costos en la producción agrícola en condiciones de un escenario de cambios climáticos,

será un serio problema para algunos países en vías de desarrollo; además de otros factores, como el acceso al know-how y la tecnología, disponibilidad de agua, características de los suelos y la genética.

El problema más grande, es la incertidumbre de los efectos del cambio climático y su manifestación en el tiempo y quizá lo sea más la incertidumbre de quien será el más impactado por estos cambios, sino se toman medidas para minimizar los efectos (12).

2.4.- Opciones a tener en cuenta

Mejorar las prácticas de uso de la tierra puede llevarnos hacia la reducción de gases de efecto invernadero. Cambios en las prácticas de cultivo, tales como siembra directa, adecuada gestión del agua, no quemar cultivos, reducir el laboreo y transporte excesivo, reducir el uso de materiales orgánicos o el cambio hacia el uso de fertilizantes minerales, contribuirán a disminuir las emisiones de metano.

Combinando estas prácticas la reducción puede ser del orden de 15 a 56 %. Del mismo modo las emisiones de N_2O pueden disminuir con una mejor gestión de los residuos de animales y de fertilizantes nitrogenados.

Es importante resaltar el papel de la foresta y la vegetación como fuentes y almacén de gases de efecto invernadero. La emisión de CO_2 es solamente parte del ciclo del carbono. El almacenamiento o captura de carbono en el suelo es importante y depende del tipo de vegetación, siendo aquellas de foresta vírgenes hasta 100 veces más efectivas que las tierras agrícolas. Los fenómenos de la deforestación y la integración de nuevas tierras a la agricultura han disminuido el almacenamiento natural y global de carbono así como su capacidad de fijación, con el resultado de un mayor aumento en el CO_2 liberado a la atmósfera.

2.5.- Biomasa

La biomasa es una forma de energía solar, que resulta del crecimiento de plantas y microorganismos, es decir que está conformada por materia

orgànica. El uso màs importante de la biomasa para los seres humanos es como alimento y cualquier otro uso de la misma no debe afectar su suministro; con esto nos referimos a otros uso importantes como lo son: alimento para ganado, materia orgànica para suelos, combustible, etc. La biomasa, considerada un tipo de energìa renovable, es una fuente energètica neutra en la emisiòn de CO₂ (13). Comparada con otras fuentes de energìa renovable, como la energìa eòlica o solar, la biomasa ofrece menos limitaciones en su aplicaciòn y una mayor versatilidad en su utilizo final, es decir que como recurso primario se presenta en una amplia variedad con diferentes propiedades. Se pueden distinguir los siguiente tipos de biomasa: residuos forestales, residuos agrìcolas, residuos agroindustriales, residuos sòlidos municipales y cultivos energèticos. Esta diversidad y disponibilidad hace de la biomasa una alternativa real al utilizo de combustible fòsiles, en la demanda futura de energìa.

La biomasa como combustible, desde un punto de vista ambiental y social, ofrece alternativas de mejoras climàticas y laborales; del punto de vista econòmico permitirà darle un mayor valor agregado a los cultivos y reducir paulatinamente la importaciòn de combustible fòsiles.

La biomasa cuando viene utilizada como combustible en la producciòn de energìa, viene llamada "bioenergìa".

Dentro de las recientes discusiones, referentes a política y economìa energèticas, el negativo impacto medioambiental debido al consumo de combustibles fòsiles ha conducido a una creciente demanda en la utilizaciòn más intensa y extensa de fuentes de energìa renovables. En este contexto entonces que la biomasa se presenta como una opciòn especialmente prometedora.

De una forma genérica, por biomasa entenderemos el conjunto de materia orgánica, de origen vegetal o animal, incluyendo los materiales procedentes de su transformación natural o artificial.

2.5.1.- Fuentes de Biomasa

El término biomasa, en sentido amplio, se refiere a cualquier tipo de materia orgánica que ha tenido su origen inmediato como consecuencia de un proceso biológico. El concepto de biomasa comprende tanto a los productos de origen vegetal como a los de origen animal. Se pueden considerar tres grandes grupos en cuanto a las posibles fuentes de biomasa para su aprovechamiento energético:

Biomasa natural: Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana, por ejemplo en bosques, matorrales, herbazales, etc. Este tipo de biomasa no es la más adecuada para su aprovechamiento energético masivo ya que podría originar una rápida degradación de los ecosistemas naturales.

Biomasa residual: Es la procedente de actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como los subproductos de industrias agroalimentarias y de transformación de la madera. La utilización de este tipo de biomasa ofrece en principio perspectivas atractivas, aunque limitadas, siendo en general más importante la descontaminación que se produce al eliminar estos residuos que la energía que se puede generar con su aprovechamiento.

Biomasa de cultivos energéticos: Los cultivos energéticos para producción de biomasa lignocelulósica, tanto herbácea como forestal, transformable en combustible son ya una realidad en algunos países, principalmente en Brasil y Estados Unidos, que enfocan la producción de caña de azúcar y maíz, respectivamente, a la obtención de etanol para carburante de automoción.

Los residuos agrícolas, forestales y los productos procedentes de plantaciones de cultivos energéticos en tierras marginales son los denominados residuos de naturaleza lignocelulósica (biomasa).

Los residuos forestales provienen principalmente de tratamientos selvícolas (podas, clareos y entresacas), cortas y elaboración de la madera, y los residuos agrícolas de podas de cultivos leñosos (viñedos, olivos, árboles frutales, etc.) y restos de cultivos herbáceos.

La producción continua y el alto valor energético que contienen tanto los residuos forestales y agrícolas (14- 25 MJ/kg) como los urbanos (4- 11 MJ/kg), hace que puedan ser aprovechados energéticamente.

2.5.2.- Distribución Mundial de Biomasa

Actualmente la biomasa contribuye con el 12-15% en el abastecimiento mundial de energía, siendo el mayor uso en los Países en Vías de Desarrollo (PVD), países en donde se encuentra localizada la mayor presencia de biomasa del mundo (Fig. 7).

Pero el uso del recurso en los PVD, se realiza de manera no sostenible debido a que la materia prima principal es la leña y esto aumenta la deforestación y desertificación. El uso comercial de la biomasa para la generación de calor, vapor o electricidad, está basado en el uso de residuos agrícolas o forestales (14).

En muchos países productores de azúcar, por ejemplo, se utiliza el residuo de la caña de azúcar llamado bagazo para la generación de vapor y electricidad para satisfacer los requerimientos energéticos de la empresa misma.

Según los organismos mundiales que se ocupan del tema, la biomasa tendrá un papel importante en el abastecimiento futuro de energía, de acuerdo a los diferentes escenarios energéticos.

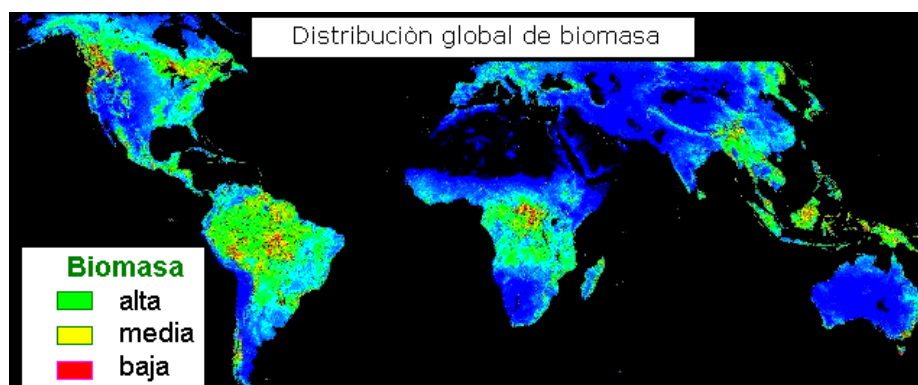


Fig. 7: Distribució global de biomasa

Su disponibilidad en grandes cantidades en forma de residuos a bajo costo, y con eficientes sistemas tècnics de transformaci3n, hace este recurso econ3micamente atractivo, de manera que pueda competir con los combustibles f3siles. La energa de biomasa o "bioenergía" contribuirá grandemente a la futura demanda mundial de energa, en el rango del 16-45% del total (Tabla 5). Desde este punto de vista, serà necesario establecer programas sostenibles de gesti3n de residuos agrícolas y de cultivos energéticos dedicados, con características de bajo consumo energético en su obtenci3n y a bajo costo. Si bien estas características dependeran de las condiciones climáticas, del tipo de suelo, y la disponibilidad de agua, se deben tener en cuenta también factores complementarios como el desarrollo tecnol3gico de transformaci3n de alta eficiencia.

A nivel mundial se están llevando a cabo programas de desarrollo de producci3n y utilizo de biomasa para la generaci3n de calor y energa. Es cierto que el interès en la bioenergía, varía de acuerdo a las características de cada país, en el caso de los Países en Vías de Desarrollo (PVD) es necesario aplicar sistemas energéticos en las áreas rurales, o en sectores donde el consumo de combustibles f3siles es alto.

La energía total contenida en las reservas de biomasa, es igual a las reservas comprobadas de los combustibles fósiles, con el 90% de esta energía biomásica se encuentra almacenada en los árboles (15). La Organización Mundial de la Agricultura y la alimentación (FAO) estima que 1 500 Mt/año de leña es producida en los PVD para uso industrial y residencial (16). Pero este recurso no se regenera al mismo ritmo en la cual viene cosechado, creando desequilibrio en el sistema.

Un mercado exitoso para la bioenergía dependerá de la implantación de estrategias adecuadas en la gestión y protección de los recursos. Se ha mencionado que la importancia de la biomasa como materia prima en la producción de combustible, relacionada con la producción de alimentos para el consumo humano, es primordial y fundamental, pero existe biomasa que se ajusta a ambos conceptos, y en donde la relación alimento-energía puede ser una ventaja si viene aplicada en modo sostenible.

Tabla 5: Biomasa en el sistema energético mundial

Fuente	Tiempo estimado (años)	Demanda estimada de energía (EJ/año)	Participación de la biomasa (EJ/año)	Observación
Renewable Energy (17)	2025/2050	395/561	145/206	Basada en cálculos con el modelo RIGES
Shell (18)	2060	900/1500	200/220	Crecimiento sostenible (2%/año)
WEC (19)	2050/2100	671/895	94/132	Rangos en escenarios separados
Greenpace SEI (20)	2050/2100	610/986	114/181	Producción en 700MHa de tierras
IPCC (21)	2050/2100	560/710	280/320	Escenario intensivo (uso comercial)

Un tipo de biomasa con estas características es la caña de azúcar, que genera residuos con valores energéticos importantes durante su proceso para la obtención de azúcar. Si bien son muchos los países que cultivan caña de azúcar, no son la gran mayoría los que han tomado nuevas medidas para un mayor uso de sus recursos biomásicos y una mejora en la eficiencia de generación de energía.

2.5.3.- Biomasa y ambiente

Los combustibles derivados de la biomasa sostenible tienen el mérito de reemplazar los combustibles fósiles sin ninguna emisión neta de CO₂, aparte de la energía consumida a través del uso de combustibles fósiles en las fases agrícola e industrial de la preparación de biocombustible. Para varios biocombustibles, la cantidad de energía de combustibles fósiles requerida en su procesamiento es baja (10 a 20 %) comparada con la energía contenida en el biocombustible, de lo que resulta una alternativa para cubrir la demanda humana de combustibles mientras se desaceleran las emisiones de CO₂ .

2.6.- Tecnología energética para el uso de la biomasa

Desde el punto de vista de considerar la biomasa como fuente de energía cobra importancia el poder utilizar un amplio rango de biomasa vegetal y también residuos orgánicos como combustible en procesos de conversión energética. El principal reto del aprovechamiento energético de la biomasa es la producción de electricidad o la producción de energía térmica y eléctrica (cogeneración) con una eficiencia eléctrica alta utilizando motores, turbinas de gas o pilas a combustible. El potencial de un proceso como la gasificación aplicado a la biomasa para la contribución al suministro energético es alta. Esto está asociado con los altos beneficios medioambientales, como por ejemplo los potenciales altos de reducción de emisiones. La gasificación es un proceso de conversión termodinámico, capaz de convertir materiales sólidos en gas

combustible. Su principio básico, es calentar el material biomásico hasta romper la cadena entre sus componentes orgánicos y su alto peso molecular, para descomponerlos en hidrocarbones ligeros, como CO, hidrógeno, etc (22). Este proceso presenta mayor eficiencia en la conversión de energía que la combustión directa de la biomasa sólida.

Sin embargo, en este momento existe únicamente un pequeño número de gasificadores para aplicaciones de energía térmica en fase comercial, esto es principalmente debido, por un lado, a los problemas técnicos (la tecnología sólo se encuentra parcialmente disponible y la tecnología del sistema está todavía en una etapa en vías de desarrollo) y por otro lado a los costes relativamente altos de esta tecnología de conversión. Sólo en algunos países Americanos y de la Unión Europea como Austria, Finlandia y Suecia, donde la utilización de la biomasa tiene un considerable apoyo económico por parte de programas nacionales, se usan cantidades importantes de biomasa como combustible en sistemas de conversión energéticas.

2.6.1. Procesos de transformación energética de la biomasa

Específicamente los procesos de conversión de la biomasa en energía, se dividen en dos categorías: proceso bioquímicos y procesos termoquímicos (23).

2.6.1.1. Procesos de conversión bioquímicos

Los procesos de conversión bioquímicos, se basan en la descomposición de la biomasa, mediante microorganismos, enzimas u hongos sea en presencia o no de oxígeno. Este tipo de proceso viene utilizado para biomasa en donde el radio C/N sea inferior a 30 y la humedad en el momento de la cosecha sea superior al 30%. Los tipos de biomasa más adaptos a esta conversión, son: los cultivos acuáticos, sub-productos de cultivos (papa, aceitunas, etc.), residuos zootécnicos y de algunos

procesos industriales. Los principales métodos son la digestión anaeròbica/aeròbica y la fermentación alcohòlica:

Proceso de Digestión Anaeròbica y Aeròbica

El proceso de *digestión anaeròbica* se da en ausencia de oxígeno, y por la descomposición de la sustancia orgànica a través de micro-organismos. El gas producido se le conoce como biogas, constituido en un 70% de metano, con un poder calorífico medio de 23 MJ/Nm³. El gas producido se somete a un proceso de secado, comprimido y almacenado para su utilizo posterior como combustible o en la producción de calor y/o energía elèctrica.

La *digestión aeròbica*, por el contrario, consiste en la metabolización de sustancias orgànicas por micro-organismos, cuyo desarrollo està condicionado por la presencia de oxígeno. Este tipo de bacterias convierten sustancias complejas en otras simples, liberando CO₂ y H₂O, produciendo el calentamiento del sustrato. Luego el calor producido puede ser transferido al externo mediante intercambiadores de calor.

Fermentación Alcohòlica

La fermentación alcohòlica es un proceso de tipo micro-aeròfilo, donde se transforman los glùcidos de los vegetales en etanol. El etanol es un producto que puede ser utilizado en motores a combustión interna.

2.6.1.2. Procesos de Conversión Termoquímicos

Son procesos que se basan en el calor, permitiendo reacciones químicas necesarias para transformar la materia en energía. Se usa el proceso en productos y residuos celulósicos y leñosos, en donde el ratio C/N sea superior a 30 y un contenido de humedad no superior al 30%. Los procesos termoquímicos, utilizan el calor para descomponer la biomasa, siendo los principales métodos: pirólisis, combustión directa, gasificación, carbonización y la extracción de aceites vegetales. Dependiendo de las

condiciones y de las características técnicas de cada método, se pueden obtener productos sólidos, líquidos o gaseosos:

Proceso de Pirólisis

Es un proceso de descomposición de materia orgánica, obtenido mediante la aplicación de calor a temperaturas de 400°C a 800°C, en ausencia o con muy poco oxígeno. Los productos pueden ser gaseosos (pirólisis veloz), líquidos (pirólisis lenta) o sólidos (pirólisis tradicional), dependiendo de los parámetros de reacción.

Procesos de Combustión Directa

Es un sistema muy tradicional de extracción de energía. La energía obtenida en forma de calor viene utilizada para generar vapor en calderas y como calor de proceso, como por ejemplo en las fábricas de azúcar. La combustión de productos y residuos agrícolas resulta ser mejor si se utilizan productos ricos de celulosa e lignina con contenido de agua menor a 35%.

Procesos de Gasificación

El proceso consiste en la oxidación incompleta de la sustancia en un ambiente a temperatura alta (800-900°C), para producir un gas de poder calorífico variable.

El valor del poder calorífico va a depender del agente gasificante (medio gaseoso en el que reacciona la biomasa sólida) y del contenido de humedad del tipo de biomasa, el valor puede estar entre los 4 000 kJ/Nm³ si se utiliza aire, hasta los 14 000 kJ/Nm³ en el caso de utilizar oxígeno. El proceso se puede llevar a cabo en gasificadores de lecho fijo o móvil y gasificadores de lecho fluido.

Carbonización

Proceso de transformación de productos leñosos y celulósicos en carbón vegetal, a través de la eliminación con calor, del agua y de las sustancias volátiles de la materia biomásica.

CAPÍTULO III
CAÑA DE AZÚCAR: DESARROLLO E IMPACTO REGIONAL

3.1.- Producción de caña de azúcar en Perú

Durante 1999 un promedio de 58 126 hectáreas de caña de azúcar fueron cosechadas en Perú, siendo la cantidad mayor en un 10,5% al año anterior (52 614 Ha.). Las regiones con mayor producción fueron La Libertad y Lambayeque. Sin embargo, durante el año 2000, se ha obtenido un incremento en la cantidad de hectáreas cosechadas, un total de 65 000 Ha. con un promedio nacional de rendimiento de los campos de 79,19 toneladas de caña por hectárea (24). Es evidente que durante este último periodo, ha influenciado mucho los nuevos cambios en la gestión administrativa de las diferentes empresas azucareras, esperándose una mayor producción durante el periodo 2001 y un mejor aprovechamiento de la potencialidad del sector (Tabla 6):

Tabla 6: Capacidades de las Empresas Azucareras Peruanas

Empresa Azucarera	Área Total (Ha)	Área Cañera (Ha)	Capacidad Molienda (T/día)	Molienda Actual (T/día)
Casa Grande	29 384	24 700	9 000	4 000
Laredo	5 080	4 687	2 000	1 500
Cartavio	6 566	6 254	5 000	2 500
Pomalca	15 819	12 495	3 500	2 000
Pucala	8 530	6 866	3 500	2 000
Tuman	12 311	8 200	4 000	2 200
Cayalti	7 252	5 413	2 500	1 284
San Jacinto	10 422	7 231	2 800	2 000
Paramonga	8 396	6 566	3 500	2 800
El Ingenio	656	612	n/a	n/a
Andahuasi	4 617	2 705	1 000	n/a
Chucarapi	1 794	1 256	500	369
TOTAL	110,827	86 985	37 300	20 653

Fuente: Centro de Investigación del Azúcar, 2000

3.1.1. Importancia del sector azucarero en la economía regional Peruana

Las empresas azucareras peruanas podemos clasificarlas, arbitrariamente a pesar de ser todas sociedades anónimas abiertas (Fig. 8), como "*privadas*": San Jacinto (Ancash), Paramonga-El Ingenio (Lima), Laredo (la Libertad), Cartavio (La Libertad), Churacapi (Arequipa) y Pucallá (Lambayeque); y "*por privatizar*": Pomalca (Lambayeque), Tumán (Lambayeque), Cayalti (Lambayeque), Casa Grande (La Libertad) y Andahuasi (Lima). El escenario futuro del sector azucarero en el Perú, involucra un fenómeno social complejo donde están en juego decisiones políticas y económicas. Se está logrando una mejora en la productividad del sector a través de la privatización y la incursión de socios estratégicos en las empresas azucareras. La Asociación Peruana de Productores de Azúcar (APPAR) ha elaborado el Plan Azúcar Perú (25), en donde vienen expuestos las metas de producción y productividad, la generación de empleo, los impuestos, la conservación del medio ambiente y la reducción de las importaciones.

Después de cinco años de tratar de privatizar y atraer inversionistas al sector azucarero, aún existen alrededor de 35 000 trabajadores directos en las empresas azucareras, pero si tomamos en cuenta las personas dependientes del trabajador, se llega a la conclusión que la población dependiente de las ex-cooperativas son por lo menos 250 000 personas y eso es un gran problema social.

La producción de caña de azúcar que se espera para el año 2002 es de 720 000 toneladas. Condiciones climáticas favorables, nuevas inversiones y mejor administración de las empresas, pueden permitir lograr mayores aumentos. El sector azucarero peruano continua su proceso de privatización de las empresas que aún pertenecen a una administración cooperativista, sistema que llevó al sector a una profunda crisis financiera

interna, que dio como resultado menos áreas cosechadas, campos abandonados, bajos rendimientos, pérdidas energéticas, etc.

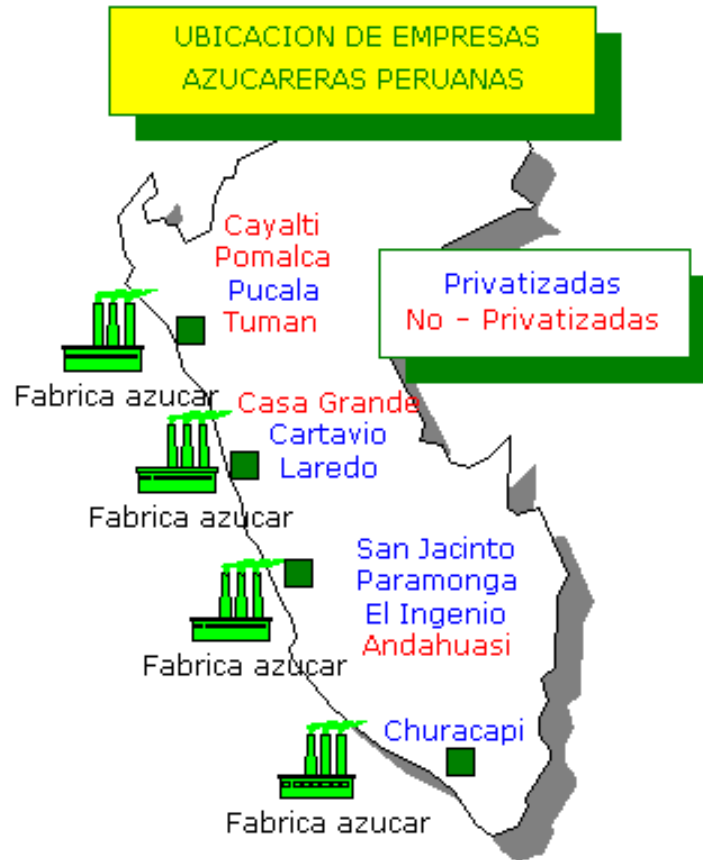


Fig. 8: Clasificación de las empresas azucareras en Perú (2000)

El desarrollo de las empresas azucareras es trascendental, porque poseen un efecto multiplicador en la región. Por ejemplo, en La Libertad la industria azucarera representa 270 millones de dólares y 173 millones de dólares en Lambayeque.

El actual panorama en el sector azucarero es alentador, sin embargo los empresarios nacionales han solicitado al nuevo gobierno Peruano un marco jurídico estable y la fijación de aranceles justos que permitan realizar negociaciones comerciales equitativas con los miembros de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y la Comunidad Andina (CAN).

3.2. La Caña de azúcar: características su impacto en las regiones

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) es una gramínea tropical, en cuyo tallo se forma y acumula un jugo rico en sacarosa, compuesto que al ser extraído y cristalizado en el ingenio forma el azúcar. La sacarosa es sintetizada por la caña gracias a la energía tomada del sol durante el proceso de fotosíntesis (Fig. 9).

Las proporciones de los componentes que constituyen la caña, varían de acuerdo con la variedad de la caña, edad, madurez, clima, suelo, método de cultivo, abonos, riegos, etc., pero los valores referenciales son: agua en 73-76%, sacarosa en 8-15% y fibra o bagazo en 11-16%.

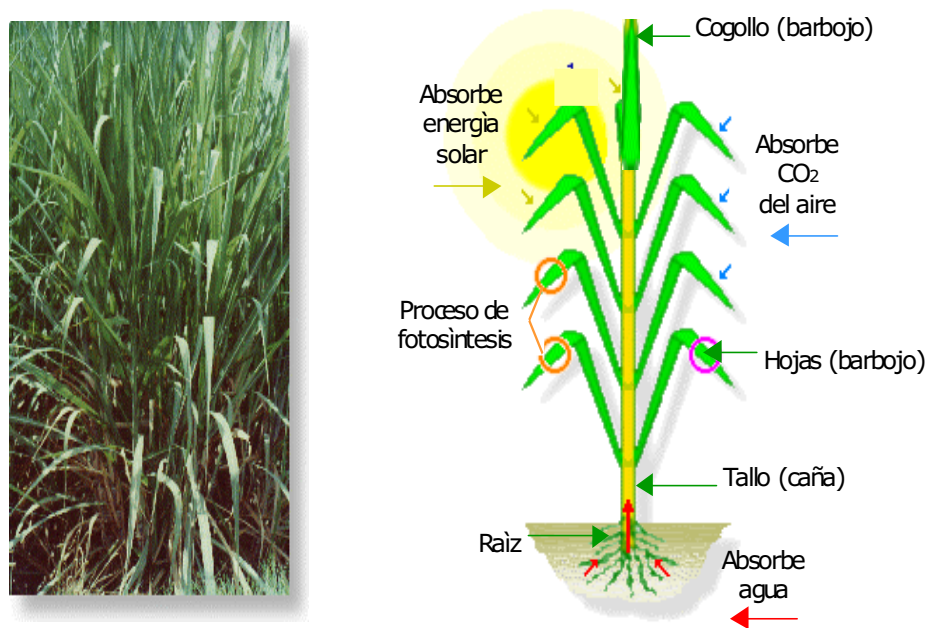


Fig. 9: Composición y características de la caña de azúcar

El principal objetivo del cultivo de la caña de azúcar es su uso en la producción de azúcar (rubia o blanca), para ello es necesario llevar a cabo actividades industriales y artesanales de manera integradas, para facilitar su cultivo, cosecha, recojo, transporte y transformación. En la figura 10 se muestra el clásico sistema de cultivo de caña de azúcar.

3.3. Residuos de la industria del azúcar

Hoy en día, los residuos que se generan en el sector azucarero los podemos dividir en: residuos que se pueden generar durante el cultivo de la caña de azúcar y residuos que se generan durante el proceso de producción. Los residuos en la fase de cultivo están relacionados con el tipo de semilla de caña, temperatura, tipo de suelo, utilización de fertilizantes, etc. La generación de residuos en el sector azucarero desde el punto de vista tradicional, eran constituidos por un residuo sólido denominado "bagazo" y uno líquido denominado "cachaza". Pero muchos conceptos han cambiado, debido en gran parte a factores ambientales, es decir que en estas nuevas tendencias de calidad ambiental y desarrollo sostenido, es necesario tomar en cuenta todo tipo de residuos que se generen en la actividad, desde el inicio del ciclo hasta el producto terminado, lo cual implica que se tomen en cuenta no solo los residuos antes mencionados, sino también las aguas residuales del proceso, la quema de los campos antes y después de la cosecha, la gestión de las cenizas de calderos, la compactación de los suelos, etc.

3.3.1. Impacto del cultivo de caña de azúcar (Fig.11)

La contaminación agrícola por su naturaleza difusa se diferencia fuertemente de la contaminación industrial, por los sistemas de control y depuración que se instalan en el lugar de origen de las emisiones contaminantes.

Los métodos más eficientes y económicos para controlar la contaminación agrícola se encuentran en la prevención, con una gestión racional de los agro-ecosistemas, desarrollando buenas prácticas agrícolas con tendencia a minimizar la quema de campos y el uso de fertilizantes y herbicidas.

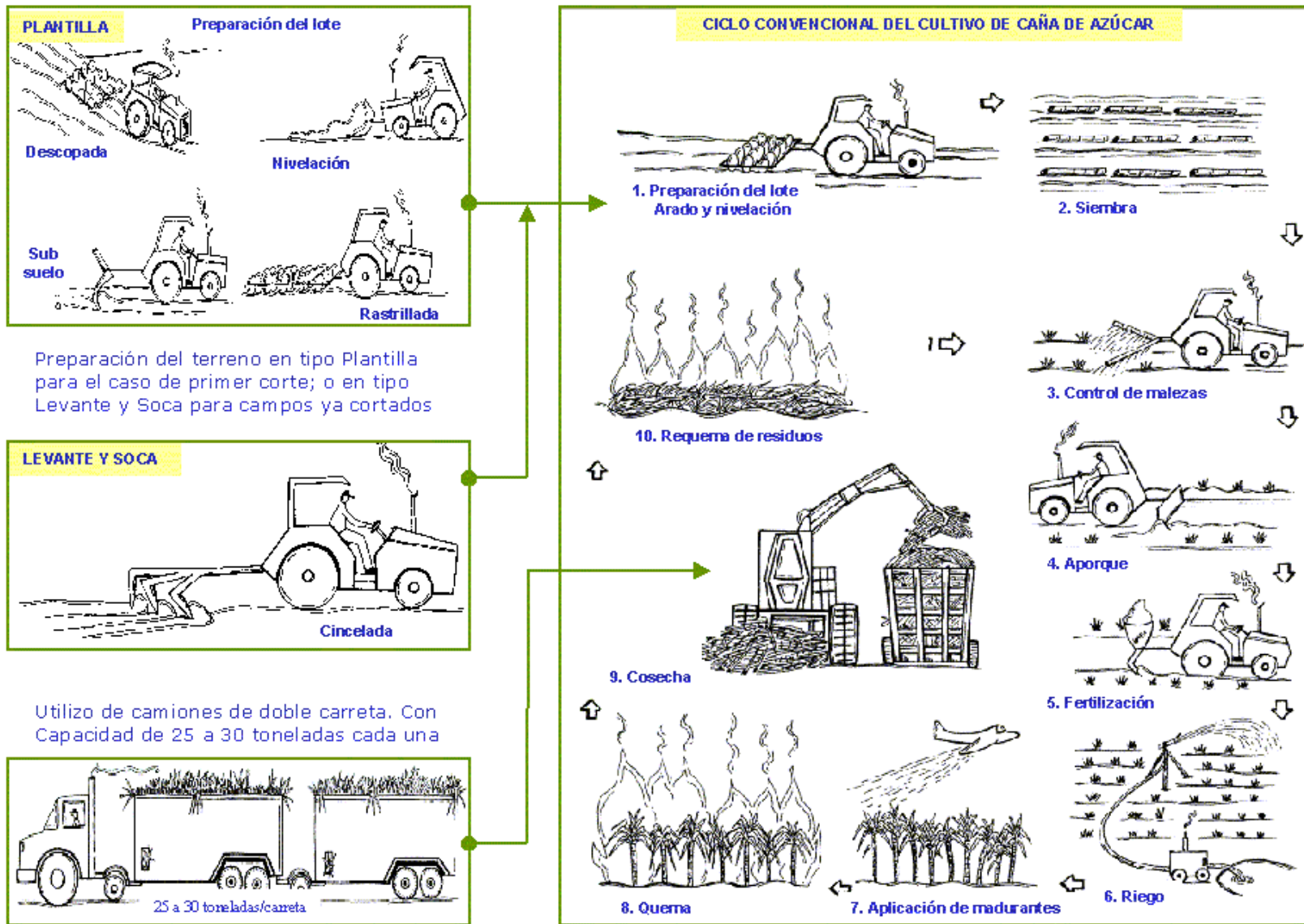


Fig. 10: Sistema clásico de cultivo de caña de azúcar

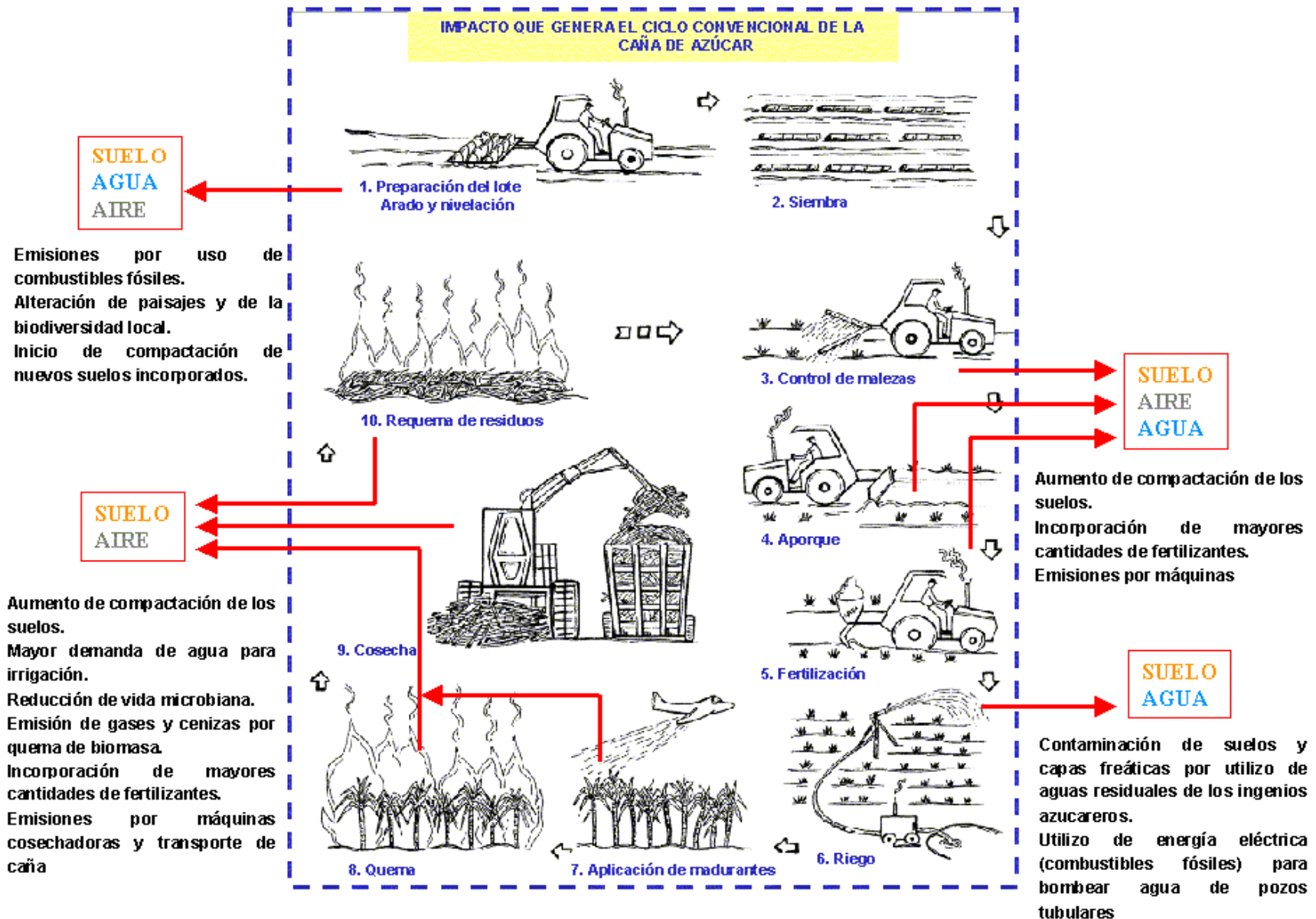


Fig. 11: Impacto que genera el cultivo de caña de azúcar

Disminución de materia orgánica: La agricultura convencional de la caña, fundamentalmente caracterizada por laboreo intensivo y aportes externos para sustituir la materia orgánica agotada por los productos cosechados y los efectos de prácticas como la quema del barbojo, son aún frecuentes en casi todos los países dedicados al cultivo de la caña de azúcar. Todo ello ha producido claros efectos negativos en las calidades del suelo, agua y aire, en el clima mundial y en la biodiversidad a todos los niveles, abarcando asimismo el paisaje y los ecosistemas.

En la *agricultura convencional* debido a la quema de barbojo y laboreo intensivo del suelo, se producen emisiones superfluas de dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera y se reduce la capacidad de almacenamiento en el suelo de carbono (C). Esto se traduce en una disminución de su materia orgánica y por otro lado en un aumento del calentamiento global de la Tierra. El laboreo intensivo de los terrenos agrícolas es la causa principal de la disminución del C en el suelo (> 50% después de 20-30 años de laboreo). Dichos efectos negativos se eliminan al adoptar prácticas conservacionistas tales como siembra directa (no laboreo) y el laboreo de no inversión (no volteo del suelo), lo que además permite una productividad sostenible.

El uso inadecuado del suelo con excesivos pases de rastra y sin realizar aradura profunda, durante la preparación del mismo, provoca su deterioro estructural y la formación de capas limitantes compactadas en los primeros horizontes del perfil del suelo que minimizan la respuesta del cultivo a la aplicación del riego (26)

Compactación de suelos: La degradación del suelo debido a los procesos de erosión, quema y compactación es probablemente el problema medioambiental más serio causado por la agricultura convencional. Se pierden anualmente unos 10 millones de hectáreas de tierra para uso agrícola, motivado por los procesos de degradación. La

tasa media anual de erosión de los suelos en muchas regiones del mundo (17 toneladas por hectárea y año) supera ampliamente la tasa media de formación de suelo (1 tonelada por hectárea y año).

Se estima que los daños directos producidos por la erosión sobre la producción agrícola aumenta en un 25% los costes de ésta. Además, si se suman los daños producidos en el lugar y fuera del mismo (on-site and off-site), los daños producidos por la erosión imputable a la agricultura serían de 70%.

La compactación del suelo ocasiona bajos niveles de productividad del cultivo de la caña de azúcar, originada fundamentalmente cuando se emplean métodos tradicionales en la preparación de los suelos para la siembra. Esta limitante afecta la penetración, retención y capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, restringe la aireación y disponibilidad de nutrimentos entre otras adversidades, todo lo cual produce un considerable retraso en el crecimiento y desarrollo de la planta de caña de azúcar, particularmente cuando el riego se suministra por métodos superficiales, ya que este cultivo, como muy pocos, demanda durante su ciclo anual inmensas cantidades de agua (27, 28). Entre las alternativas para prevenir o atenuar los efectos negativos de la compactación, se recomienda la aplicación de labranza reducida, la no labranza o la mínima labranza. En ese sentido, con el no laboreo se obtienen mayores rendimientos de los cultivos, menores costos de mano de obra, combustibles y un menor enhierbamiento (29).

La caña de azúcar, por ser un cultivo permanente, hace difícil recuperar la condición física del suelo ya que su sistema radical debe ser protegido de daños mecánicos, resultando en un proceso acumulativo de compactación que deriva en una reducción de los rendimientos en cada cosecha realizada (30).

La compactación en el suelo compromete seriamente el desarrollo radical de la caña de azúcar, produciendo un crecimiento limitado y distorsionando su arquitectura natural. Además de debilitar su sistema de anclaje y resistencia a los vientos, la compactación de suelo restringe la explotación radical para obtener agua y nutrimentos lo cual trae como consecuencia menor producción y desequilibrio económico en la explotación (31,32,33,34,35).

Contaminación hídrica: La contaminación derivada del uso de fertilizantes y herbicidas representan un alto riesgo para el ambiente y la salud humana. La consecuencia ambiental más preocupante es la contaminación del agua tanto a nivel superficial como de la capa freática. La lixiviación hacia la capa freática es un proceso extremadamente complejo influenciado por las características del suelo, es decir, composición, presencia de sustancia orgánica, estructura, pH, etc; además de las propiedades físico químicas de los herbicidas y fertilizantes (solubilidad en agua); de las condiciones meteorológicas; y de las prácticas agrícolas (laboreo, irrigación, etc). Los riesgos para los consumidores, se deriva de la presencia de sustancias nocivas en el agua y en los productos agrícolas, por lo tanto el mayor riesgo lo constituyen los posibles efectos en el largo plazo. Por ejemplo, en la mayor parte de los terrenos dedicados al cultivo de caña de azúcar en el Perú, la capa freática se encuentra desde uno a metro y medio de profundidad, lo que la hace altamente vulnerable de ser contaminada.

Emisión de gases: Al igual que la compactación de los suelos, la quema de caña es uno de los impactos negativos más latentes de la agricultura convencional, que ocasiona no solamente la alteración natural de los suelos, sino que a través de la práctica de la quema de los campos con el objetivo de facilitar las cosechas y la requema para "eliminar" los restos de la cosecha, también se altera la calidad del aire emitiendo gases de

efecto invernadero que bien pueden ser evitados a través de prácticas sostenibles, además de partículas (cenizas) que por acción del viento son transportadas y que casi siempre afectan a las poblaciones cercanas a los campos de cultivo. A esto, se suma indirectamente las emisiones provocadas por la presencia de todo un sistema de transporte, que comprende la presencia de camiones o trailers, tractores y grúas que deben transportar la caña cosechada. Este tipo de impacto se tratará en mayor detalle en el capítulo siguiente.

3.2.2. Impacto del proceso de producción de azúcar

Durante el proceso de producción del azúcar de caña (Fig. 12), los residuos que se generan son tanto sólidos como líquidos. En la etapa inicial del proceso, se utilizan grandes cantidades de agua para lavar la caña que llega de los campos y que generalmente una vez lavada, el agua utilizada en la operación es vertida en el sistema de drenaje de la fábrica, hacia los campos nuevamente. Esta etapa implica contaminar los campos con aguas que conllevan residuos de combustible, aceites, y casi siempre residuos fecales y otros componentes.

La caña lavada ha pasado hacia los molinos o trapiches para la extracción del jugo, quedando como residuo un material fibroso llamado bagazo, que es destinado al sector de producción de papel y en gran porcentaje como combustible en los propios ingenios azucareros para la generación de vapor de proceso y energía eléctrica. La quema del bagazo en calderas de bajo rendimiento genera grandes emisiones de gases que contribuyen al calentamiento global.

El uso de agua durante el proceso, es constante, y constante es la generación de agua residual con contenido orgánico en las etapas de evaporación y secado, así como la cachaza y miel incrustilizable. De lo antes mencionado, se ve que la industria del azúcar necesita de una gestión ambiental integral que permita minimizar su impacto regional.

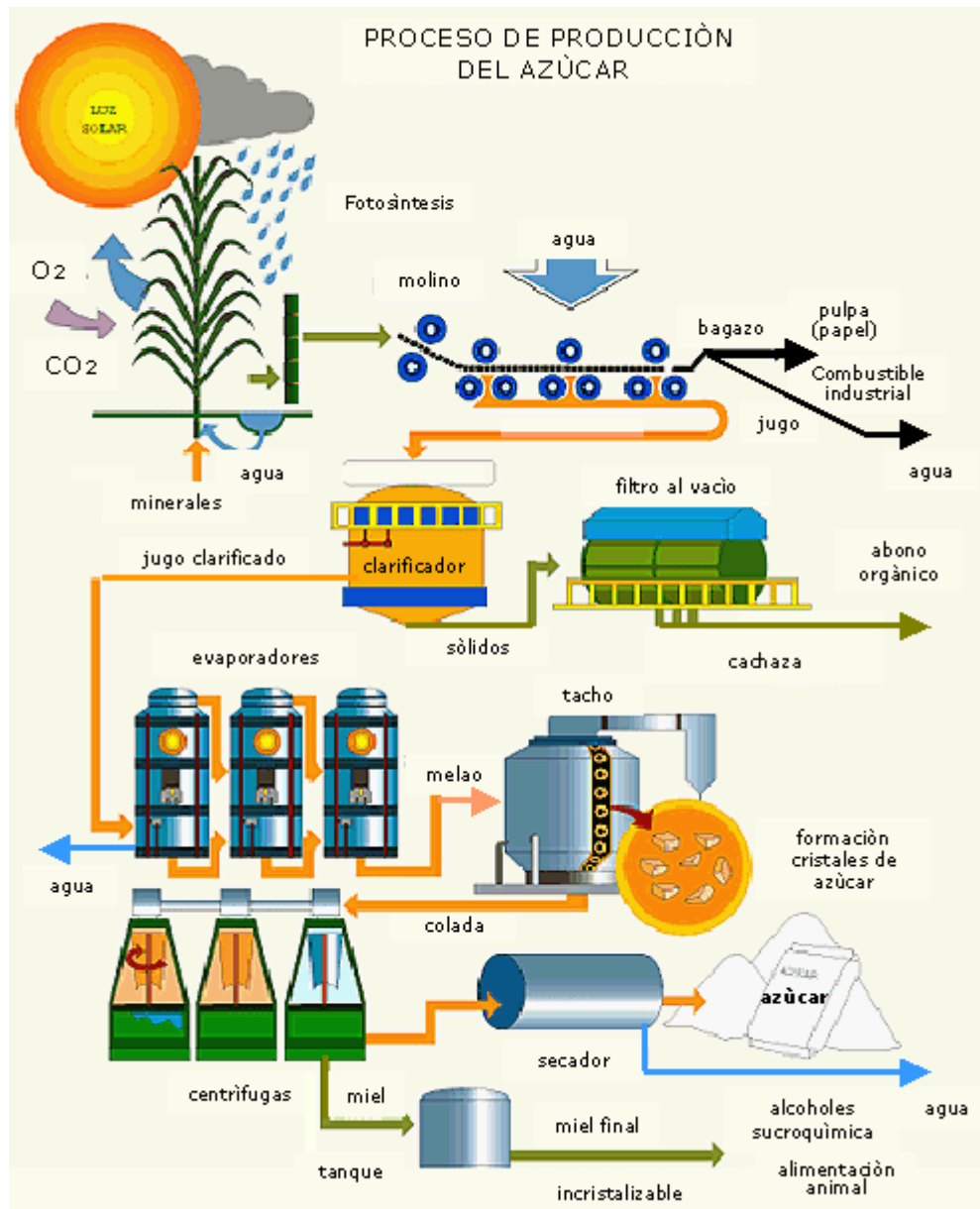


Fig. 12: Residuos generados durante el proceso de producción de azúcar

3.4. Emisión de gases de los ingenios azucareros

Para la producción de azúcar se requiere enormes cantidades de agua y energía, que proviene principalmente de la combustión (generalmente ineficiente) del bagazo y de combustibles fósiles de baja calidad (con altos contenidos de azufre).

Tradicionalmente, el bagazo es quemado en calderas para producir vapor y electricidad necesaria para el ingenio, pero la baja eficiencia de las calderas requieren el complemento de otros combustibles, en este caso combustible fòsil, como el petròleo. Las calderas operan casi siempre en una mezcla de combustible fòsil-bagazo. De este modo la eficiencia energètica alcanzada por la combustiòn del bagazo, es moderada con respecto a lo que podria ser obtenido con soluciones mejor elaboradas.

Si bien la producciòn de bagazo en Perú durante el año 2000 fue de 2 163 000 toneladas, la cantidad usada como combustible fue de 1 344 000 toneladas, de los cuales solo 361 000 toneladas fueron utilizadas en los ingenios azucareros.

Analizando el consumo del bagazo en el sector azucarero para la alimentaciòn de las calderas, y el utilizo de combustible fòsil, se deduce que, aparte del utilizo de las cantidades de bagazo ya mencionado, la cantidad de combustible fòsil utilizado por el sector, es de 467 000 barriles. Lo que significa, que las emisiones de CO₂ generadas por las calderas son de 407,02 Gg (ver Tabla 7).

A la emisiòn producida de CO₂ se debe agregar los gases llamados "non-CO₂ greenhouse", como CH₄, N₂O, NO_x, CO y material orgànico no volàtil, que tambièn tienen un gran impacto negativo en el sistema ambiental. Dichas emisiones de los ingenios azucareros, se muestran en la tabla 8.

Tabla 7: Emisiòn de CO₂ en el ingenio azucarero

Tipo de gas	F.Oxidaciòn comb. Fòsil	F. Emisiòn comb. Fòsil	F.Oxidaciòn bagazo	F. Emisiòn bagazo
CO ₂	99%	73,6 Gg/PJ	90%	96.8 Gg/PJ
Sub-total		209,26		197,76
Total (Gg)		407,02		

(Factores de emisiòn, segùn datos IPCC) (36)

Tabla 8: Emisión de gases por utilización del bagazo y combustible fósil

Tipo de gases	CH ₄	N ₂ O	NO _x	CO	NMVOC
Factor Oxidación	99%	99%	99%	99%	99%
Factor Emisión combustible fósil	2,8 Mg/PJ	0,6 Mg/PJ	154 MG/PJ	14 MG/PJ	0,8 MG/PJ
Emisión C.Fósil	7,96	1,71	437,87	39,81	2,27
Factor Oxidación	90%	90%	90%	90%	90%
Factor Emisión bagazo	10 MG/PJ	4,1 MG/PJ	84 MG/PJ	1625 MG/PJ	16,3 MG/PJ
Emisión Bagazo	20,43	8,38	171,61	3319,88	33,30
Emisiones totales (Mg)	28,39	10,09	609,48	3359,69	35,57

De acuerdo a los datos obtenidos de la Tabla 7, el contributo del bagazo a la emisión de CO₂ en el sector azucarero es del 49% del total, casi igual a la emisión de los combustible fósiles. Esto es un indicador cualitativo, que muestra el uso ineficiente del recurso en el sector. Lo mismo sucede con las emisiones de gases considerados de "efecto no-invernadero", cuya emisión por parte de los ingenios, resultan ser mayor que utilizar combustibles fósiles, pero aún así esta práctica continúa si que los organismos competentes dicten normas reguladoras que salvaguarden el ambiente, esto incluye a todas las empresas sean ellas privadas o no.

3.5. Emisión de gases en la etapa agrícola de la caña de azúcar

La quema de biomasa, ha sido catalogada como una de las fuentes de emisión de gases y partículas que afectan negativamente la atmósfera (CO₂, CO, CH₄, NH₃, óxidos nítricos, cenizas, etc.). El dióxido de carbono y metano son gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento global, de igual manera las partículas sólidas tienen impacto sobre las condiciones climáticas locales, regionales y globales, pero sobretodo en la salud de la población por inhalación de las mismas. Los gases y las partículas producidas durante la quema de la biomasa, también contribuye a la formación del "smog", término que hoy en día viene utilizado para definir la situación ambiental de varias ciudades de Latinoamérica, debido en parte, al gran porcentaje de quema de biomasa

que se realiza en los trópicos (37) (Sudamérica, África y el Sudeste Asiático).

El aporte del sector azucarero al deterioro del aire (emisión de grandes cantidades de partículas en suspensión), además de la quema de combustible fósil, viene dado por la cultura de quemar los campos de caña de azúcar, método utilizado para facilitar su cosecha y recolección y bajar costos en mano de obra en el momento de corte. Esto se refiere no solo al clásico sistema de quemar la caña de azúcar, sino también a la requema posterior que se someten a los campos, para eliminar del todo cualquier indicio de hierba, paja u hojas que queden sobre el campo. El enfoque económico tiene mayor importancia en esta etapa del proceso, sobre las consecuencias ambientales, favorecido sobretodo por la ausencia de leyes y normas referidas al tema.

En el Perú durante el año 2000 el total de carbono emitido fue de 468 000 toneladas, equivalente a 1 713 Gg de CO₂, asumiendo un contenido de energía de 14,5 GJ/tonelada del barbojo (38), un total de 16.97 GJ se perdieron en la atmósfera. Además de los 1 985 Mg de SO₂, 1 985 Mg de NO₂ y 22 900 Mg de partículas, como se muestra en la Tabla 9 (si bien la norma establece que las unidades para estos gases debe ser en gramos, se ha optado la unidad de Mega gramos a fines ilustrativos).

Tabla 9: Emisión de gases por la quema del barbojo

Tipo de gases	SO ₂	NO ₂	Partículas
Factor Oxidación	90%	90%	90%
Factor Emisión barbojo	130 gr/GJ	130 gr/GJ	1500 gr/GJ
Total (Mg)	1985	1985	22903

La quema del barbojo causa contaminación a través de la emisión de residuos de carbón parcialmente combustionado y contribuye al calentamiento atmosférico global, con altas cantidades de gases de efecto

invernadero, nitògeno, sulfuros, ademàs de reducir la proteccìon y productividad de los suelos.

La figura 13 muestra en resumen la cantidad de gases emitidos por el sector azucarero peruano, desde la etapa de la cosecha, hasta el utilizo de la caña en los ingenios. La figura muestra las emisiones correspondientes a la quema de la caña de azùcar y al utilizo del bagazo en las calderas de la planta:

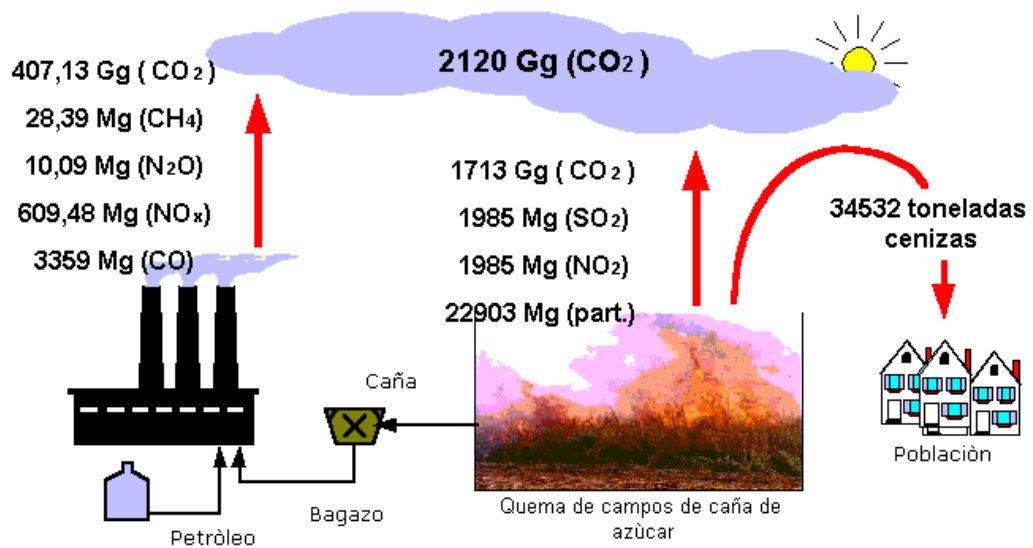


Fig.13: Emisiòn global de gases de los ingenios azucareros en Perú (2000)

CAPITULO IV

BARBOJO DE CAÑA AZÚCAR

4.1. Perspectivas energéticas de los residuos de la caña de azúcar

Siendo la agroindustria azucarera una de las actividades más contaminantes, es a la vez una de las que ofrece mayores empleos anualmente y aprovechan de manera más eficiente la energía solar, bajo este concepto los ingenios azucareros, podrían cambiar el uso tradicional de la biomasa para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.

La producción de azúcar de caña genera residuos agrícolas e industriales con un elevado potencial energético, superior a los requerimientos de energía de todo su proceso productivo, lo que da la posibilidad de convertir esta industria en productora de energía eléctrica marginal, además del bagazo sobrante, que tiene gran utilización en la industria de derivados, especialmente en la de papel.

El potencial de los residuos de cultivar la caña para la generación futura de energía eléctrica en modo sostenible, comprende cuantificar su disponibilidad, el impacto que generaría su uso, además de analizar sus características de composición y la tecnología existente más adecuada para un mejor aprovechamiento del mismo. Para esto, es necesario tomar en cuenta algunos factores, como:

- la presencia del barbojo (hojas verdes y secas, cogollo, etc) que se genera durante el crecimiento de la caña de azúcar, ofrece la alternativa de un combustible adicional en toda la región costera del país. Este recurso (barbojo) es disponible entre 16 a 18 toneladas secas por hectárea, y se puede decir en base a su característica fundamental, que su uso no implica mayores emisiones de CO₂ a la atmósfera

- es un recurso disponible en cantidades suficientes y a costo cero (dependiendo del criterio). Su disponibilidad y manejo por su densidad para el transporte y almacenado, requiere de un sistema muy coordinado de gestión, que va desde la siembra del cultivo hasta el cierre del ciclo productivo: obtención del azúcar.

4.2. Importancia del barbojo en el cambio climático

La alta capacidad de fotosíntesis de la caña de azúcar la convierte en una importante fuente de energía. La comparación del valor energético de la biomasa cañera y la energía consumida en su cosecha y cultivo muestra un índice de 20 a 1; lo que la presenta como una alternativa a llevar adelante para reducir el calentamiento global.

Estudios realizados para determinar la capacidad de fijación de CO₂ de los cultivos (39), han demostrado que es posible fijar aproximadamente 1,3 toneladas de CO₂ por tonelada de biomasa seca producida, pero es posible aumentar esa capacidad de fijación, mediante una adecuada gestión agrícola de los campos de cultivo. Aún así es posible fijar a través del cultivo de la caña de azúcar, un promedio de 23,4 toneladas de CO₂ por hectárea de caña.

La quema de la caña de azúcar antes de la cosecha y la requema de los residuos en el campo generan inconformidad entre los habitantes de las poblaciones vecinas a los cultivos de caña, debido a las cenizas y humo que producen. Hoy en día la agricultura moderna exige un equilibrio con la naturaleza y la industria azucarera debe orientarse hacia la tendencia de cosechar la caña en verde .

4.3. Característica fundamental del barbojo de caña

Para poder determinar la potencialidad de un combustible biomásico, es necesario determinar y conocer su composición química y su poder calorífico. En la determinación de su composición química, son dos los

factores fundamentales: su composición próxima o elemental y su composición última o inmediata (40).

La composición próxima, constituye la base para el análisis de los procesos de combustión, es el contenido del combustible o sustancia en porcentaje de masa. Para el caso de la caña de azúcar, su composición elemental en estado natural y en condiciones secas, es como sigue y se muestra en la tabla 10:

Tabla 10: Análisis próximo del barbojo y bagazo

Análisis próximo	Barbojo (%)		Bagazo (%)	
	Natural	Seco	Natural	Seco
Humedad	62,40		52,06	
Volátiles	27,40	73,10	41,70	87,30
Cenizas	3,80	7,50	0,34	0,80
Carbón fijo	6,40	19,10	5,90	11,90

La composición última (tabla 11), permite determinar el porcentaje en masa de los componentes volátiles, además de la humedad, ceniza y contenido de carbón fijo.

Tabla 11: Análisis último del barbojo y bagazo

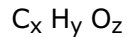
Análisis último	Barbojo (%)	Bagazo (%)
	Seco	Seco
Carbón	48,60	49,90
Hidrógeno	5,90	5,80
Oxígeno	38,10	43,00
Nitrógeno	0,16	0,49
Azufre	0,04	0,01
Cenizas	7,20	0,80

Los datos de la tabla 11, muestran que el barbojo en base seca, contiene mayor cantidad de cenizas y azufre que en el bagazo. Es necesario acotar a este punto, que el contenido de cenizas en el cogollo (parte superior de la caña) es hasta 5 veces más que en el tallo de la caña.

4.3.1. Características energéticas del barbojo

Las características energéticas del barbojo, como residuo de la cultivación de la caña de azúcar, varía de acuerdo al proceso de cultivo, de las

condiciones climáticas, y de la variedad de caña utilizada. En muchos estudios orientados a simplificar el cálculo energético de los residuos de la caña de azúcar, se ha adoptado la fórmula química de la celulosa. Cargnelutti (41), propone una fórmula definida arbitrariamente, fijando un índice de 6 para el carbono y determinando los subíndices del hidrógeno y oxígeno a partir de su composición en peso. La fórmula propuesta es:



Entonces para cualquier composición, tenemos:

$$x = 6$$

$$y = \left(\frac{H}{C}\right) * \left(\frac{12}{1}\right) * 6 = 72 * \left(\frac{H}{C}\right)$$

$$z = \left(\frac{O}{C}\right) * \left(\frac{12}{16}\right) * 6 = 4,5 * \left(\frac{O}{C}\right)$$

donde los componentes hidrógeno (H), carbono (C) y oxígeno(O) son las fracciones en peso de cada uno, en la biomasa. Aplicando las relaciones obtenidas, con los datos obtenidos de la composición del barbojo que se mostraron en la Tabla 12, obtenemos la fórmula de la composición típica del barbojo y del bagazo:

<u>Residuo</u>	<u>Fórmula</u>	<u>Peso Formula</u>
Bagazo	$C_6 H_{8,36} O_{3,87}$	142,28
Barbojo	$C_6 H_{8,74} O_{3,53}$	137,22

A partir de estas composiciones, es posible obtener el valor del poder calorífico de la biomasa. En publicaciones dedicadas al secado y combustión de residuos agrícolas, se especifican tres tipos de valores caloríficos a tener en cuenta: poder calorífico superior (PCS), poder

calorífico inferior (PCI) y poder calorífico útil (PCU). La siguiente ecuación, que está basada en los porcentajes en peso de la biomasa cañera, va a permitir determinar el poder calorífico superior (PCS):

$$PCS = -1\,530,51 (22,28 \mathbf{C} + 86,44 \mathbf{H} - 7,83 \mathbf{O} - \mathbf{A})$$

donde **A** es la fracción en peso de la ceniza. Entonces el poder calorífico superior para el barbojo y el bagazo obtenido, es:

$$PCS_{\text{barbojo}} = -1\,530,51 ((22,28(0,486) + 86,44(0,059) - 7,83(0,381) - 0,072))$$

$$PCS_{\text{barbojo}} = -19\,701,96 \text{ kJ/kg}$$

$$PCS_{\text{bagazo}} = -1\,530,51 ((22,28 (0,499) + 86,44 (0,058) - 7,83 (0,430) - 0,008))$$

$$PCS_{\text{bagazo}} = -19\,523,71 \text{ kJ/kg}$$

Y en consecuencia, la ecuación para determinar el poder calorífico inferior, referido a la unidad de masa de combustible seco, es:

$$PCI = PCS + 0,5 \gamma \left(\frac{18}{PFB} \right) \Delta H_{fg,298}$$

Donde $\Delta H_{fg,298}$ es el calor latente de vaporización del agua a 298°C:

$$PCI_{\text{bagazo}} = -18\,231,28 \text{ kJ/kg}$$

$$PCI_{\text{barbojo}} = -18\,300,96 \text{ kJ/kg}$$

La humedad contenida en los residuos de la caña de azúcar y el contenido de humedad deseado, permitirán obtener el valor del poder calorífico útil (PCU), aunque esta definición ya está incluida en el PCI, este trabajo tiene el objetivo de determinar un número representativo de la disponibilidad de energía, a través del secado previo del combustible biomásico. En términos de balance global el incremento del valor del PCU de un combustible con menor humedad, con respecto a otro de contenido mayor, es igual a la energía consumida durante el secado. El Cálculo del Poder Calorífico útil (PCU), permite apreciar de manera más concreta la importancia del nivel de humedad. Por ejemplo, el bagazo tiene un contenido de humedad de más del 50%, lo que lo hace difícil para ser usado eficientemente. El PCU, basado en el contenido de humedad del barbojo está determinado por:

$$PCU = PCI + \left(\frac{\%Humedad}{1 - \%Humedad} \right) \Delta H_{fg,298}$$

expresada en KJ/Kg de combustible seco:

$$PCU_{\text{bagazo}} = - 15\,577,24 \text{ kJ/kg (52,06\% humedad) (situación actual)}$$

$$PCU_{\text{barbojo}} = - 13\,598,76 \text{ kJ/kg (62,42\% humedad) (situación actual)}$$

En condiciones optimales de humedad del 10%, los valores pueden aumentar a:

$$PCU_{\text{bagazo}} = - 17\,959,72 \text{ kJ/kg (10\% humedad)}$$

$$PCU_{\text{barbojo}} = - 18\,029,40 \text{ kJ/kg (10\% humedad)}$$

El potencial calorífico del barbojo, se muestra mayor al bagazo. En base a literatura encontrada, algunos autores atribuyen al valor del barbojo el valor asumido para la paja, con poder calorífico similar o menor al bagazo. Utilizando la relación de Velo y Tauta (42), con las características de composición inmediata del barbojo y el bagazo, utilizado para la relación de Cargnelutti, el PCI en kJ/kg del residuo sólido en su estado natural, se puede obtener con la siguiente relación:

$$PCI_{\text{natural}} = 339,6 \mathbf{C} + 1\,193,9 \mathbf{H} - 177,4 \mathbf{O} + 94,2 \mathbf{S} - 25 \mathbf{W}$$

y en donde el valor del poder calorífico del combustible seco:

$$PCI_{\text{seco}} = PCI_{\text{natural}} \left(\frac{100}{100 - W} \right) \quad (\mathbf{W}: \text{ contenido humedad})$$

permite obtener los valores de:

$$PCI_{\text{barbojo}} = 21\,970,67 \text{ kJ/kg}$$

$$PCI_{\text{bagazo}} = 18\,030,18 \text{ kJ/kg}$$

El valor del poder calorífico útil, viene determinada por la relación:

$$PCU_{\text{residuo seco sin ceniza}} = PCI_{\text{residuo}} \left(\frac{100}{100 - W - A} \right) \quad (\mathbf{A}: \text{ cenizas})$$

con valores:

$$PCU_{\text{barbojo}} = 20\,320,01 \text{ kJ/kg}$$

$$PCU_{\text{bagazo}} = 18\,192,61 \text{ kJ/kg}$$

En ambas relaciones se obtiene un valor mayor del barbojo, con respecto al bagazo de caña, lo cual no hace que confirmar la potencialidad de este recurso con fines energéticos.

Los datos obtenidos a través del PCU, muestra la importancia de la baja humedad contenida en la biomasa con fines energéticos. Un proceso anterior para llevar el contenido de humedad al nivel óptimo, puede ser logrado si tomamos ventaja de las condiciones climáticas de las regiones,

donde se encuentran ubicadas las principales fábricas de azúcar, es decir aplicar sistemas de secado que utilicen la energía solar.

4.4. Impacto de la quema del barbojo en el ciclo agrícola

La quema del barbojo en los campos de caña, representa la pérdida de algunos nutrientes esenciales para el desarrollo de la misma, principalmente de nitrógeno (30 Kg/Ha) y sulfatos (18 Kg/Ha); se incrementa la temperatura del suelo, reduciendo la variedad u actividad de los micro y macro organismos, privándolos de la posibilidad de incorporar gran parte de la materia orgánica reciclada en el proceso productivo.

La quema de la caña de azúcar causa un impacto negativo ambiental en las poblaciones vecinas a las empresas azucareras. Esta actividad es causa de enfermedades específicas que agravan afecciones respiratorias o cardíacas pre-existentes y que pueden provocar la muerte. La inhalación de partículas irritantes puede interferir el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. Además dichas partículas pueden contener sustancias carcinógenas (43). Pero la práctica de la quema de caña no solo genera serios problemas de salud, también disminuye la productividad de los suelos y los compacta, lo cual indica una mayor dependencia de insumos y maquinaria. La materia orgánica del suelo contiene virtualmente toda la reserva de nitrógeno para la nutrición vegetal y proporciones considerables de fósforo y azufre. Su comportamiento en el suelo es dinámico y juega un papel importante en el mantenimiento de la fertilidad del suelo agrícola. La quema de la caña incrementa la temperatura de los suelos disminuyendo considerablemente la cantidad, diversidad y actividad de micro y macro organismos, privándolo de la posibilidad de incorporar gran parte de la materia orgánica en el reciclado mismo del proceso productivo (Fig. 14).

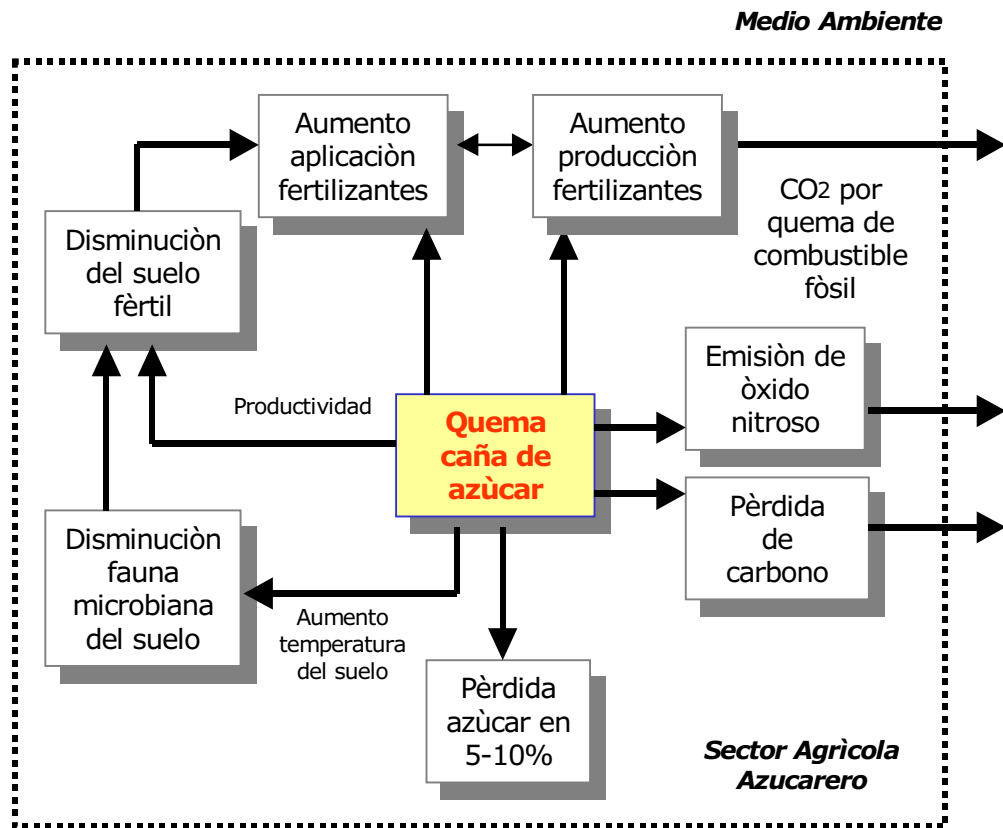


Fig. 14: Impacto de la quema del barbojo en el ciclo agrícola

4.4.1. Impacto de la quema en la degradación de suelos

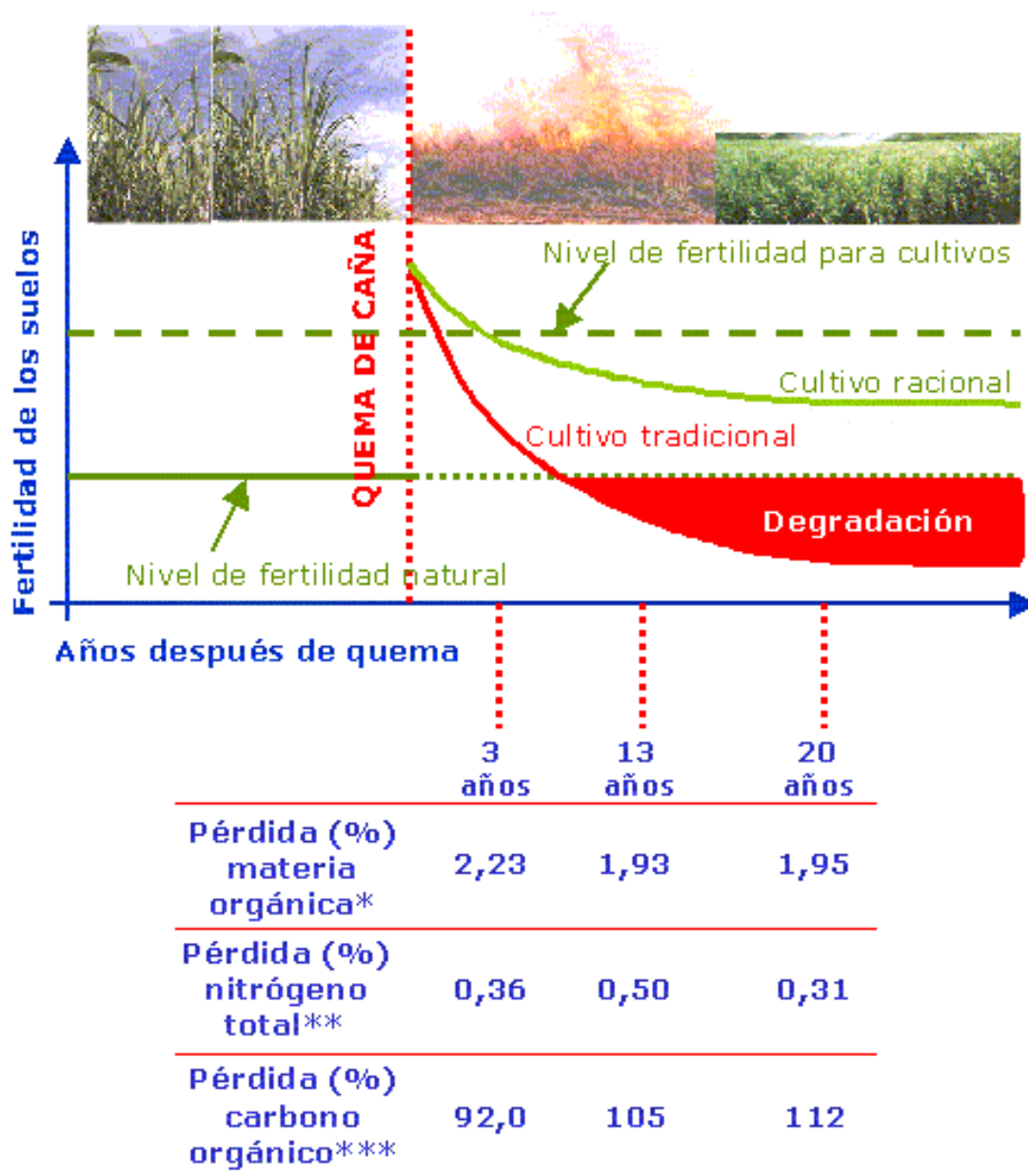
La práctica de quemar los campos de la caña de azúcar no solo acarrea problemas de salud, sino que también influye en la productividad de los suelos disminuyendo su productividad y compactándolos, lo cual hace necesario aumentar las horas de utilización de maquinarias y las cantidades de insumos que ayuden a mantener la fertilidad y eficiencia del suelo.

- **Efecto de la quema sobre el suelo:** la quema continua de los campos de caña junto a la mecanización excesiva del suelo, especialmente cuando estos son arcillosos, afectan la estructura del suelo alterando el sistema de drenaje natural. Las quemas periódicas de caña disminuyen las capacidades productivas de los

suelos; y en algunos casos originando problemas de salinización de tierras (44). En los campos donde la caña no viene quemada, las hojas que quedan en el suelo ayudan a reducir el efecto negativo de la maquinaria pesada sobre los campos. La quema y mecanización pueden reducir la porosidad hasta en un 10% en terrenos arcillosos y hasta un 20% en terrenos francos (45).

- **Efecto de la quema sobre la materia orgánica y actividad microbiana del suelo:** la quema de caña aumenta la temperatura del suelo hasta 100°C en los primeros 30 centímetros, decreciendo hasta los 59 °C a un metro de profundidad. Esto hace disminuir considerablemente las actividades de los micro y macro organismos y como consecuencia se reduce el proceso, alterando el ciclo de incorporar materia orgánica en su sistema productivo natural. La presencia de materia orgánica permite el uso más eficiente del agua, favoreciendo la infiltración, drenaje y distribución. El efecto de la población microbiana en condiciones de quema de campos, en 1994 fue llevado a cabo por Delgadillo (46) quién determinó que las altas temperaturas ocasionadas por la quema produce bajas poblaciones de bacterias y hongos.

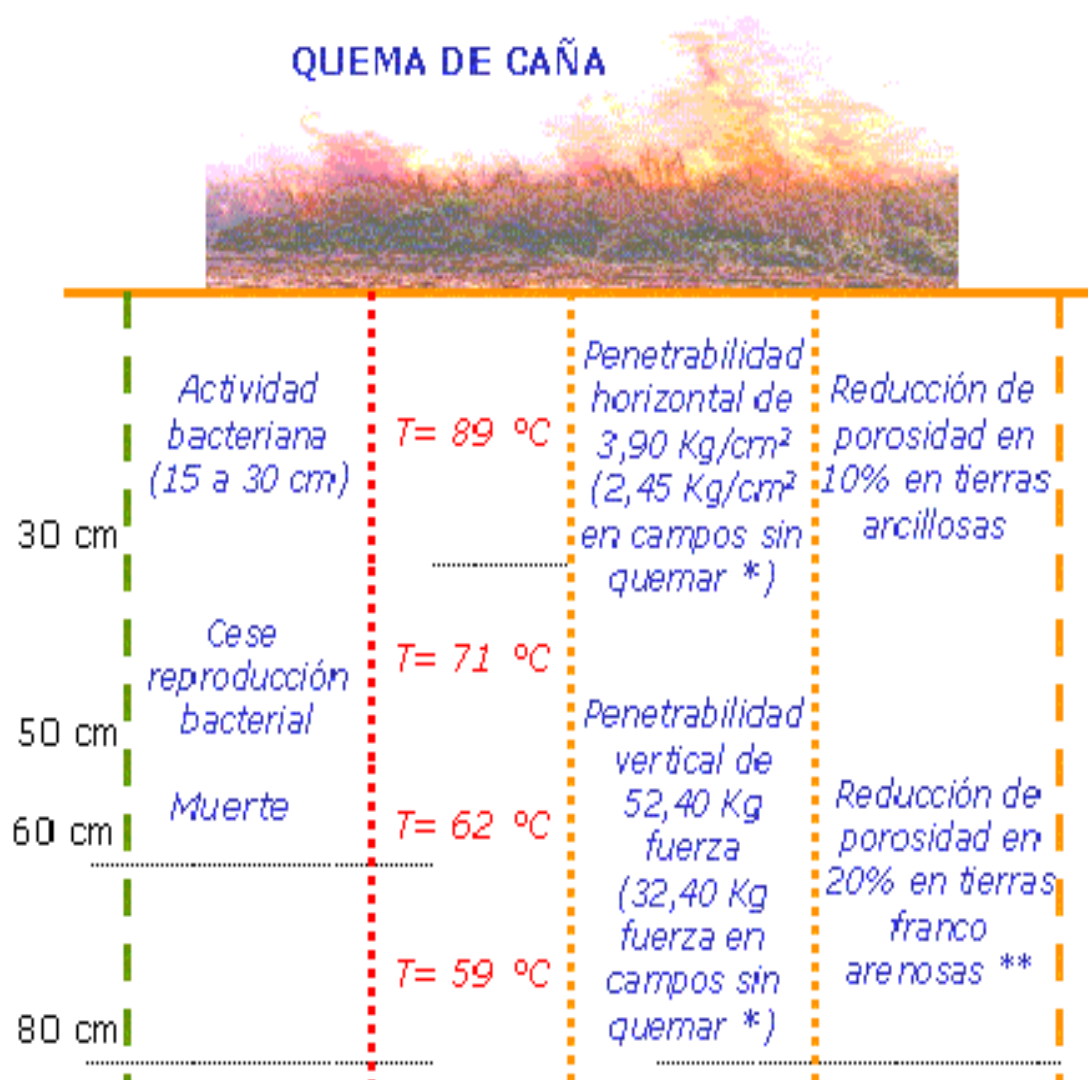
Tomando como referencia el estudio realizado por Arias, J. 1994 (47), en el cual establece porcentajes de composición para el carbono y materia orgánica, en campos de caña sin quemar, vemos que la diferencia en comparación con los campos de caña que se queman en Perú es relevante (se tomaron muestras una sola vez a 20 cm de profundidad, con la colaboración de la empresa Casa Grande). Las Fig. 15 y 16 muestran las pérdidas ocasionadas por la quema de campos y el grado de compactación de los suelos, así como las temperaturas alcanzadas a diferentes niveles de profundidad.



* : En base a 2,37% de caña sin quemar
 ** : En base a 0,32% de caña sin quemar
 *** : En base a 131% de caña sin quemar

Fig. 15: Efecto de la quema de caña de azúcar en la fertilidad de los suelos

QUEMA DE CAÑA



* : Comparado con campos abandonados de caña

** : Mayor tipo de suelo sobre el cual se siembra caña en Perú.

Fig. 16: Compactación y reducción de actividad bacteriana por quema de caña de azúcar

4.5. Mètodos de obtenció del barbojo

El barbojo para ser aprovechado debe ser obtenido solamente a través de un método de cosecha denominado "cosecha en verde" (sin la quema de los campos de caña).

Dichos sistemas de cosecha pueden ser realizadas en modo manual, en forma mecanizada o de manera mixta. Una breve referencia de cada método dentro de un marco agrícola-ambiental se explica en los siguientes puntos:

4.5.1. Método de cosecha manual

El sistema de cosecha manual reduce significativamente la cantidad de materia extraña en la caña de azúcar llevada al ingenio para ser procesada, reduce la contaminación ambiental, mejora la estructura del suelo y su fertilidad, reduce los requerimientos de agua (la industria azucarera es considerada un gran contaminador consumidor de agua. Cuando se lava la caña, la cantidad de azúcar que se pierde es del orden del 0,16% del peso total de la caña de azúcar).

Estudios han demostrado que durante las primeras 20 horas después de la "cosecha en verde", no se manifiestan pérdidas de azúcar, como sí lo es cuando los campos se queman en un rango del 5-10% desde las primeras 24 horas hasta las 48 horas siguientes después de la cosecha.

Estas consideraciones muestran y sugieren que la cosecha manual generaría un impacto positivo en la economía de las regiones azucareras. En términos generales, se ha demostrado que la "cosecha en verde" permite obtener un rendimiento adicional de azúcar del 10% (48).

4.5.2. Método de cosecha mecanizada

Estudios realizados con los efectos de la cosecha mecanizada (Fig. 17) en estos suelos demuestran que la compactación (fenómeno definido como el incremento del peso volumétrico mediante acción externa) reduce los

espacios porosos o espacios ocupados por el aire y el agua en el suelo, provocados sobretodo por el paso de vehículos o por la acción de trabajo de las máquinas agrícolas (49;50).

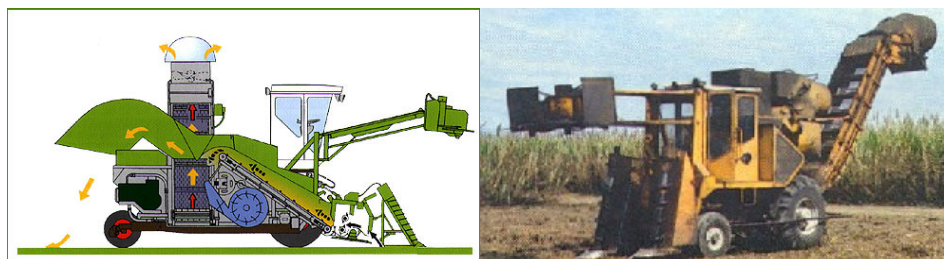


Fig. 17: Maquinaria para cosecha mecanizada

Durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar en condiciones de elevada humedad se originan graves daños al suelo.

Adoptar un sistema de cosecha mecanizada puede alterar todo el sistema de producción de la caña de azúcar, con grandes consecuencias socioeconómicas (generación de desempleo).

La tabla 12, resume los principales problemas que se pueden encontrar en la práctica con las diversas actividades en la obtención del barbojo.

Si bien el principal problema de la actividad manual, es el costo que implica una mayor disponibilidad de hombres en el campo y las cantidades de recojo que se pueden lograr, la cosecha mecanizada presenta problemas de tipo ecológico y de costos relacionados a una menor producción de azúcar, por pérdidas en los índices de corte y cosecha.

Un escenario de cosecha en verde en una realidad peruana implicaría un sistema de cosecha manual, siendo la habilidad un factor que se puede adquirir y mejorar en el tiempo, permitiría generar un impacto socioeconómico positivo en las diferentes regiones del país. El sistema de privatización de las empresas azucareras, significa para el gobierno

peruano, modernización de los equipos y maquinarias, pero sobretodo mayores ingresos monetarios.

Lograr estos objetivos sea en el mediano o largo plazo, será en base a cambios en el ciclo de producción del azúcar, siendo el cultivo y la cosecha de la caña la fase inicial del ciclo, es casi seguro que sistemas mecanizados de cosecha serán introducidos, en nombre de la "productividad" y la "mejora" de la región.

Tabla 12: Cosecha y post-cosecha del barbojo

Actividad	Cosecha		
	Problema	Causa	Solución
Manual	Lento - Costo	Técnica	Integración
Semi mecanizada	Pelado Costo alto	Quema > Mano Obra	Semi o Mecanización
Mecanizada	Compactación suelo Pérdidas corte y cosecha	Equipo pesado Campos heterogéneos	Escarificar suelos Tecnología capacitación
Actividad	Post - Cosecha		
	Problema	Causa	Solución
Manual	Carga Anti-económico	Fletes cortos Poco volumen entrega	Integración cosecha Mecanización
Semi mecanizada	Estacionario (pérdida retoño)	Mayores tiempos	Mecanización
Mecanizada	Estacionario Compactación	Elevada presión al suelo	Coord. Cosechas Tratamiento suelos

4.6. Impacto social por utilizo del barbojo

El utilizo de residuos de biomasa en los PVD del punto de vista social, genera expectativas de desarrollo. En el caso del barbojo, dichas expectativas lo dan el sistema de cosecha que puede ser implantado y el antecedente técnico al utilizo de otros residuos vegetales.

La obtención del barbojo a través de la "cosecha en verde" y del método manual, hacen de esta actividad, una labor intensiva que demanda hasta cinco veces más trabajo que en el método tradicional de la quema, debido a que la limpieza de la caña es hecha por los trabajadores y no por el fuego directo, a la vez que se obtiene un incremento en la producción de azúcar que puede compensar el costo adicional de la mano de obra adicional por "cosechar en verde".

Siendo la agricultura un medio de trabajo y sustento de muchas comunidades y/o empresas, como actividad genera grandes cantidades de residuos con características energéticas considerables, una alternativa futura de solución necesaria, sería integrar "pequeñas comunidades rurales" en una "comunidad rural", combiando recursos biomásicos en una planta pequeña para producir energía necesaria para satisfacer las necesidades básicas.

El uso de residuos vegetales, pueden substituir el alto consumo de leña, recurso que es quemado para uso inmediato, con indeseables efectos de deforestación y desertificación.

Si bien la biomasa juega un papel importante en el desarrollo (sobre todo rural) a través de su uso con tecnología avanzada que permita convertir la materia prima en un vector energético fácil de usar (cuando se habla de tecnología avanzada, lo relacionamos con grandes inversiones de dinero), el uso de este recurso debe ser evaluado no solo en términos económicos, sino también en resultados socio-ambientales.

La integración de la amplia variedad de biomasa (bosta, residuos de cosecha, bagazo, barbojo, etc) de acuerdo a las características regionales, podría permitir generar actividades laborales por efecto de cosecha, recojo, transporte, etc. para el abastecimiento continuo de materia prima hacia los centros de transformación de energía.

4.7. Alternativas energéticas de utilización del barbojo

Los sistemas de energía de los ingenios, pueden ser modernizados utilizando tecnología avanzada en transformar biomasa en vectores de energía fácil de usar.

La biomasa de la caña de azúcar, usada en sistemas de combustión y/o gasificación liberan cenizas en el ambiente, subproducto nocivo, pero que en un escenario sostenible, se presenta la potencialidad de volver a reutilizarlo en la industria del cemento, por su contenido de sílica; en la agricultura como componente de fertilizantes básicos; o en las mezclas bases del asfaltado de carreteras (51).

La mayoría de los esquemas energéticos de los ingenios azucareros están concebidos solo para satisfacer las demandas de potencia mecánica, eléctrica, y calor del proceso tecnológico, que en algunos casos no se logra.

Utilizar el barbojo para generar energía implica tomar en consideración algunos factores de factibilidad técnica, que permitan un uso eficiente del recurso en los ingenios, ya sea a través de la integración de nueva tecnología, la adaptación o modificación del sistema existente.

A este punto las perspectivas de utilizar el barbojo más importantes son:

- Combustión directa del barbojo en las calderas de bagazo existentes: pero debido a la gran diferencia en el contenido de humedad y cenizas, lo cual implica modificaciones en la infraestructura existente para el uso directo del barbojo. Las calderas bagaceras, así como los sistemas de turbinas, tienen más de 40 años de uso en el sector azucarero peruano.
- Producción de biogas: a través de sistemas de fermentación anaeróbica del barbojo, se obtiene biogas que puede ser utilizado en motores de gas en la producción de energía eléctrica o como vector de combustión.

- Gasificación del barbojo: este sistema permitiría solucionar los problemas de emisión que se presentan en un proceso normal de combustión (azufre, partículas), permitiendo un mejor aprovechamiento de la biomasa cañera. El sistema de gasificación puede ser integrado al sistema existente en los ingenios (si es posible) o en una variación de nueva tecnología: más eficiente y limpia, como lo son las pilas a combustibles.

Los campos de caña y la industria azucarera al crear su propio combustible: el barbojo, no solo pueden satisfacer la demanda de energía sino que además pueden generar electricidad adicional, con beneficios económicos y ecológicos. Su uso tiene tantas ventajas como problemas. Es un recurso disponible en suficiente cantidad, son producidos localmente, tienen un costo nulo y son compatibles con el ambiente, si son manejados eficientemente. Pero su disponibilidad y manejo en los ingenios azucareros, su gran densidad para el transporte, como su almacenamiento, requieren de un coordinado sistema de manejo.

Pero el uso del barbojo de los campos, merece ciertas consideraciones, debido a que no es posible disponer del total que se genera durante el crecimiento de la caña de azúcar. Dejando una parte del barbojo en los campos, se incrementa la producción, se mejora la fertilidad del terreno, y aumenta la cantidad de carbono secuestrada al suelo. Por el contrario, remover todo el barbojo tiene un impacto negativo en la productividad de la caña de azúcar, y la fertilidad de los campos.

El barbojo es realmente un "combustible verde", y su uso para la generación de energía lo convierte en un combustible neutral frente al problema del calentamiento global.

El análisis de acuerdo a la composición de este residuo ha permitido establecer teóricamente que el contenido energético estimado del

barbojo en Perú es del 18,03 GJ/tonelada, esto permite concluir que una tonelada de barbojo equivale desde el punto de vista energético, a 3 barriles de petróleo (1 barril de petróleo= 6 GJ).

En resumen, se puede decir que existen muchos beneficios en la opción de la "cosecha en verde": generación de energía, mejor calidad y mayor cantidad de azúcar producida, calidad y cantidad por hectárea de caña sembrada, mayores componentes orgánicos al suelo, menor uso de fertilizantes y ahorro de agua por riegos.

4.8. Costos y beneficios económicos de la cosecha en verde

Una de las alternativas para afrontar la quema de campos de caña de azúcar es la cosecha en verde, pero no basta solo cambiar la actividad. Se hace necesario y estratégico el reducir los costos de producción sin tener por ello que bajar la calidad del producto y los niveles de producción. La industria azucarera peruana, a pesar de estar ubicadas dentro de la región costera del país, presenta una heterogeneidad agro-climática que trae como consecuencia el desarrollo de tecnologías particulares en mayor o menor grado para cada zona. Para nuestra investigación se ha tomado en cuenta las empresas ubicadas en la región La Libertad, por disponibilidad de ellas a brindar información y por su gran interés de ver más allá de lo que tienen ahora.

Parece ser que el problema fundamental que afrontan las empresas es: el tipo de maquinaria a utilizar, pero sobretodo su costo. Y no se equivocan, pero no es muy grande la diferencia entre lo que invierten hoy en día en maquinarias y lo que puede representar la adquisición de cosechadoras mecánicas. Una alternativa es el uso de mano de obra, no necesariamente especializada y de la cual existe bastante en la región que puede permitir la cosecha en verde. Esta alternativa representa hoy en día, por la falta de leyes que normen la quema, mayores costos por mano de obra, pero si el gobierno Peruano define nuevas leyes para el

sector con impuestos a las emisiones, se iniciaría la real preocupación "ambiental". No existe una intención sana y declarada de querer reducir las emisiones contaminantes en los ingenios azucareros por parte de algunos empresarios que a través del proceso de privatización están guiando los destinos del azúcar en Perú; lógicamente se puede esperar menos de aquellas empresas aún no privatizadas, que se ahogan en sus problemas económicos y políticos. Pero existen además otros costos que se presentan en Tabla 13:

Tabla 13: Costos estimados de cosecha en verde por Ha/año - 2000

Variable	Unidad	Quema de caña	Cosecha verde*
Maquinaria	\$ US	250000	120000
Herbicidas	\$ US	89000	0
Fertilizante (úrea)	\$ US	120000	46000
Fertilizante (orgánico)	\$ US	0	90000
Riego	\$ US	180000	150000
Mano de obra	\$ US	90000	180000

Los costos por utilizo de herbicidas, en promedio 8 kg/Ha sería nulo en la nueva alternativa, mientras tanto continúa la dependencia de los mismos. En 1996 la cantidad de herbicida/Ha/año era del orden de los 4 kg/Ha, pero hoy en día se habla de hasta 17 kg/Ha, lo cual confirma el aumento de insumos destinados al campo por efectos de un sistema de cultivo obsoleto y contaminante.

Los fertilizantes químicos representan un alto costo por su mayor utilizo en suelos empobrecidos y que requieren forzar el equilibrio a través de la úrea, que en promedio viene aplicada en dosis de 500 kg de úrea/Ha/año (230 kg N₂/Ha/año). Dicha dosis es elevada si la comparamos con países como Colombia que utilizan 350 kg de úrea (161 kg N₂).

Optar por la alternativa significa reducir en un 38% los costos; por el contrario utilizar fertilizante orgánico aumentaría los costos considerablemente, siendo necesario evaluar el reciclaje de los residuos

de cosecha que se pueden integrar a los suelos y compensar la demanda de materia orgánica.

4.9. Costos y beneficios ambientales de la cosecha en verde

La industria azucarera emplea maquinaria agrícola que de por sí ya representa un problema ambiental por el uso de combustibles fósiles, en los tractores, grúas y trailers de carga de caña con capacidad para 25 a 30 toneladas por carreta, que generan un impacto negativo en el suelo causando problemas de compactación. A este problema ambiental se suman las emisiones generadas por la quema de campos antes y después de la cosecha.

Las prácticas de desarrollo sostenible conllevan a un menor uso de insumos, favoreciendo de esta manera el mantenimiento y ciclo de nutrientes de las plantas y contribuyendo al almacenamiento de bancos de carbono y nitrógeno (52), de manera que convierte a los suelos y la vegetación en reservorios de carbono. Según Robert Dixon (52), el incremento en la acumulación de carbono en el suelo está asociado con prácticas que promueven los suelos más frescos, húmedos, fértiles y aireados. Según los estudios realizados por Jaira Arias (53), a temperaturas por encima de los 50 °C se detecta el desprendimiento interno de CO₂, debido a la desintegración química de las sustancias orgánicas.

4.10. Costos y beneficios sociales de la cosecha en verde

En este caso, los costos sociales se refieren a los costos que se deben asumir para de alguna manera mitigar los efectos de las emisiones de gases y partículas que representa la quema de caña de azúcar. Para esto es necesario evaluar el impacto de las quemas sobre la salud humana, pero la información disponible sobre el tema es escasa. Algunos reportes internacionales (54) muestran que el conjunto de infecciones respiratorias

agudas y otras se relacionan en forma sistemática con la contaminación atmosférica: gases, cenizas, etc.

Los beneficios sociales es la generación de puestos de trabajo que se originan por la actividad de cosecha en verde y que puede estar supeditado en el peor de los casos al costo que se le puede atribuir al sistema de gestión de obtención del recurso (Tabla 14):

Tabla 14 : Comparación de la generación de electricidad a partir de biomasa cañera y petróleo bunker

Variable	Unidad	Bunker	Bagazo	Barbojo*
Costo de combustible	\$/GJ	3,8	1,3	0,0
Costo de electricidad				
Costo de combustible		3,4	2,20	0,00
Inversión en planta eléctrica	\$ ct/kWh	1,5	0,45	0,45
Operación y mantenimiento		0,77	0,77	0,77
Costo por kWh total		5,70	3,40	1,20
Efectos socio-económicos			Si el bagazo no tiene valor, no tiene efecto socio económico	
Número empleos por coste bajo	empleo/MWe	16,0		45,00
Número empleos por coste medio	empleo/Mwe	10,0		12,00
Número empleos por coste alto	empleo/Mwe	5,80		4,70
Efectos medio ambientales			Si el bagazo no tiene valor, no tiene efecto ambiental	
Input de energía fósil	MJ/kWh	9,6		0,34
Emisión de CO ₂	g/kWh	748		25,0
Acidificación de planta	gSO/MJ	3126		101
Emisión de polvo en planta	g/Nm ³	55		3000
Efectos ambientales cualitativos**				
Efecto en la calidad del suelo		Reducción erosión del suelo y aumento materia orgánica		
Efecto en el nivel de agua		Mejora de la calidad de la capa freática		
Efecto en la biodiversidad		Cubierta regulada del suelo y refugio de aves		

* : Se consideran los valores si vienen utilizados en la actual infraestructura de los ingenios azucareros

** : Efectos ambientales si se opta por no quemar los campos de caña

4.11. Hacia un futuro basado en la cosecha mecanizada de la caña: es conveniente?

Son varios los países (principalmente Australia, Sudáfrica) que se han avocado hacia la mecanización de sus cosechas de caña de azúcar. Es probable que las empresas azucarera privatizadas del Perú, en un mediano plazo se vean obligadas a optar por este cambio. Para ello la

maquinaria deberá contar con campos preparados para la mecanización y de sistemas de preparación de caña perfectamente alineadas para las condiciones de la máquina, además de investigar la viabilidad tanto de maquinaria y sistemas de cosecha.

A través del mundo las labores intensivas de agricultura están dando vía a un incremento en la mecanización, y cada vez es mayor la búsqueda de sistemas de cosecha confiables y económicos que permitan reemplazar sosteniblemente los métodos manuales tradicionales.

Es por esto que el Departamento de Ingeniería Agrícola de la Estación Experimental de Asociados Azucareros de Sudáfrica (55) hizo estudios correspondientes a los sistemas de cosecha, estimando costos promedios a cada uno y el cual se ha revisado para tener en cuenta el impacto que puede acarrear cada sistema en aquellas regiones en donde aún no se han llevado a cabo labores mecanizadas de cosecha.

4.11.1. Tipos de máquinas cosechadoras

Las máquinas pueden ser agrupadas en cuatro categorías: para tallos cruzados, tallos alineados, arrumadoras y cosechadoras cortadoras.

- **Máquinas para tallos cruzados:** este tipo de maquinaria cosecha un surco por cada pasada. Las cañas son colocadas en un ángulo justo en la dirección del surco. Las cañas en su parte superior son cortadas de forma mecánica o manual en operaciones siguientes.
- **Máquinas para tallos alineados:** en esta categoría de maquinarias, ellas cortan las bases y puntas de la caña, formando una hilera paralela a la dirección del surco.
- **Máquinas arrumadoras de tallos:** en esta categoría de máquinas, las partes cortadas son depositadas en la parte posterior de las máquinas. Luego la caña depositada se descargaba alternadamente a lo largo de los surcos de caña o transportada en los trailers de carga.

- **Màquinas cortadoras:** son maquinaria diseñadas solo para efectuar labores de corte que luego se complementaban manual o mecánicamente con el transporte de la materia prima.

4.11.2. Sistemas de manejo de la caña de azúcar

Existen numerosos métodos de manejar la caña a través de sistemas de cosecha mecanizada parcial o total. Los principales métodos son están basados en el alineado y arrumado de la caña.

Sistema de alineado: este sistema lo realizan cortadores mecánicos y puede ser llevado a cabo usando los siguientes métodos:

1. con trabajadores se incorpora la materia de cuatro surcos en uno solo (150 a 200 kg). Luego los trabajadores deben cortar los cogollos
2. los cogollos no los cortan los trabajadores, el corte de ellos viene realizado durante el proceso por la maquinaria (operación parecida a la anterior)
3. la operación es como la primera, excepto que los cogollos son cortados por un trabajador extra cuya única actividad se reduce al corte
4. Cada trabajador produce de 3 a 6 toneladas de caña cortando cada uno, los cogollos a mano.

Sistema de arrumado: las arrumadoras mecánicas lo llevan a cabo, a través de los siguientes procesos:

1. la caña se apila de 3 a 6 toneladas manualmente o utilizando cargadores mecánicos
2. utilizando cargadores de caña mecánicos, la caña arrumada puede ser cargada directamente en las carretas de los trailers.

4.11.3. Escenarios futuros de rendimiento y costos de las labores del manejo de caña

Para los dos sistemas del manejo de caña, antes mencionados se establecen tres sistemas de cosecha (manual y mecànico) para establecer los costos y rendimientos promedios que cada sistema representa (56 ;57):

- **Sistema 1:** la caña es cortada manualmente y alineada en pequeñas rumas.
- **Sistema 2:** la caña es cortada en forma mecànica. Se corta manualmente los cogollos y se coloca en pequeñas rumas.
- **Sistema 3:** la caña es cortada mecànicamente (25 t/h en caña quemada y 15 t/h en cosecha verde), sin requerimiento de operaciones manuales.

Los costos de las labores y el rendimientos de las actividades sean manuales o mecànicas se dan en la Tabla 15. Cabe resaltar el hecho que la cosecha mecanizada bien puede ser en caña quemada o en verde, esto es de acuerdo a las características de la maquinaria que puede ser utilizada. Si bien los datos pueden sufrir variaciones de acuerdo a características externas (tipo de maquinaria, condiciones geogràficas, etc), los presentados en esta tabla reflejan datos promedios de experiencias realizadas que se ha tomado como referencia ilustrativa.

Se estimaron los costos de maquinaria y labores para dos tipos de escenarios de cosecha : con caña quemada y de cosecha en verde, en base a toneladas anuales, para los tres sistemas antes mencionados por Meyer en el "International Sugar Journal". Las figuras 18 y 19 muestran los costos por toneladas en que pueden incurrir los tres sistemas de cosecha (55).

Y se puede apreciar un incremento a partir de las 18000 toneladas, debido principalmente se produce un mayor utilizo de equipo. Y los costos

por sistema manual continúa siendo la opción más económica en el manejo de la caña de azúcar. La topografía, prácticas de campo, sistemas de transporte y recepción de caña, pero sobretodo diversidad en la productividad, hacen difícil obtener mejores costos con sistemas de cosecha mecanizada.

Tabla 15 : Rendimiento y costos de sistemas de manejo de caña de azúcar

Tipo de caña	Tipo de cosecha	Sistema cosecha	Actividad realizada	Rendimiento (t/hombre/día)	Costo de labores (\$/t)
Caña en verde	Corte manual	1	corte de cogollo barbojo	7,5	0,60 a 0,98
			arrumado		
			corte de cogollo barbojo caña	3,3	0,86 a 1,41
	Corte mecánico	2	corte de cogollo barbojo	10,6	0,43 a 0,71
			arrumado		
			corte de cogollo barbojo caña	6,2	0,62 a 1,02
Caña quemada	Corte manual	1	corte de cogollo arrumado	8,2	0,55 a 0,90
			corte de cogollo caña	5,5	0,78 a 1,29
			arrumado	22,8	0,23 a 0,39
	Corte mecánico	2	corte de cogollo arrumado	14,7	0,31 a 0,50
			corte cogollo caña	9,7	0,44 a 0,72

International Sugar Journal, 1997

La eficiencia de los sistemas de cosecha manual varían ampliamente en la industria azucarera. Es más, algunos sistemas de cosecha mecanizada pueden reducir hasta en un 60-70% la mano de obra. Actualmente, las cosechadoras mecánicas enfrentan problemas que hacen retardar su presencia masiva en los mercados.

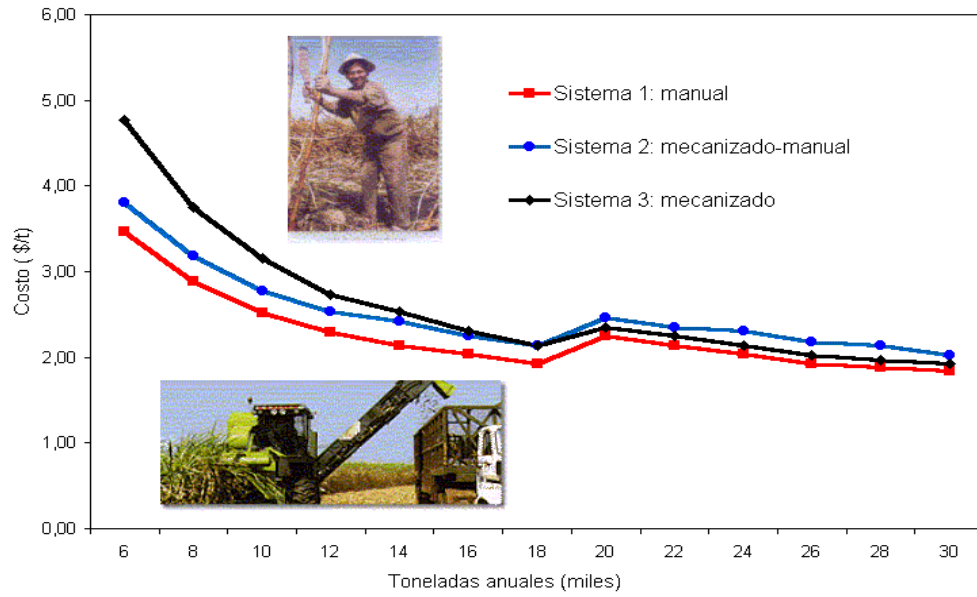


Fig. 18 : Escenario de cosecha con caña quemada

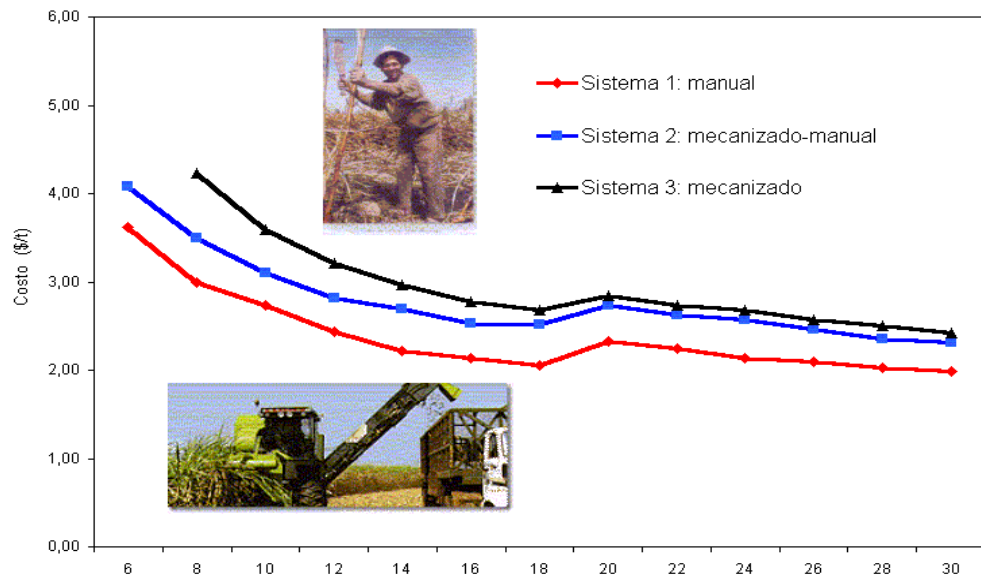


Fig. 19 : Escenario de cosecha con caña en verde

4.12. Estrategias globales del sector azucarero Peruano en busca de un desarrollo sostenible

Las empresas azucareras peruanas, en su gran mayoría, están siempre buscando el aumento de su productividad que les permita seguir teniendo

y/o manteniendo presencia en el mercado nacional. Siendo la intención buena, no lo es la forma como se piensa lograr los objetivos.

No basta aumentar las dosis de fertilizantes químicos como la urea, y el uso indiscriminado de productos madurantes, y la integración de nuevas áreas de terreno de panllevar al cultivo de caña de azúcar; lo que se requiere es la puesta en práctica de medidas que hagan posible lograr mayor eficiencia sin el continuismo de degradar los campos y contaminar el ambiente.

Casi todas las empresas a las que se me permitió visitar para obtener opiniones sobre el impacto de la caña de azúcar en el Perú, independientemente de ser considerada privatizada o no, se puede decir que no están tomando en serio el gran problema que representa el sector azucarero en el medio ambiente. Se busca primordialmente la recuperación en el más corto plazo de la inversión realizada por la compra de las empresas al estado, siendo el factor ambiental desplazado para "más adelante", "cuando se recupere la inversión", etc.

La aplicación del concepto "glocalización" (58) que deriva de la palabra inglés "glocal" (local), parece ser la estrategia más adecuada a tomar en cuenta por los países en vías de desarrollo, porque considera las reales condiciones locales de cada región, zona o país y sobre ello realizar actividades diversas. Y los Japoneses nos dieron un claro ejemplo del uso del concepto, al aplicarlo en su sistema tradicional de agricultura, para el cual adaptaron técnicas agrícolas de acuerdo a sus condiciones locales, lo que al final terminó en la acuñación del concepto: "tener una visión global adaptada a las condiciones locales" (59).

Algunas empresas azucareras de la región norte, están llevando adelante proyectos de diversificación que le permita obtener mayores rendimientos de sus campos de caña, e ir recuperando la capacidad productiva de los suelos, tan venida a menos por la explotación indiscriminada del mismo.

Para ello se están instalando sistemas de irrigación por goteo en las zonas con dificultad hídrica, existe una tendencia a recuperar zonas desérticas, integración de cultivos intercalados de maíz en los campos de caña.

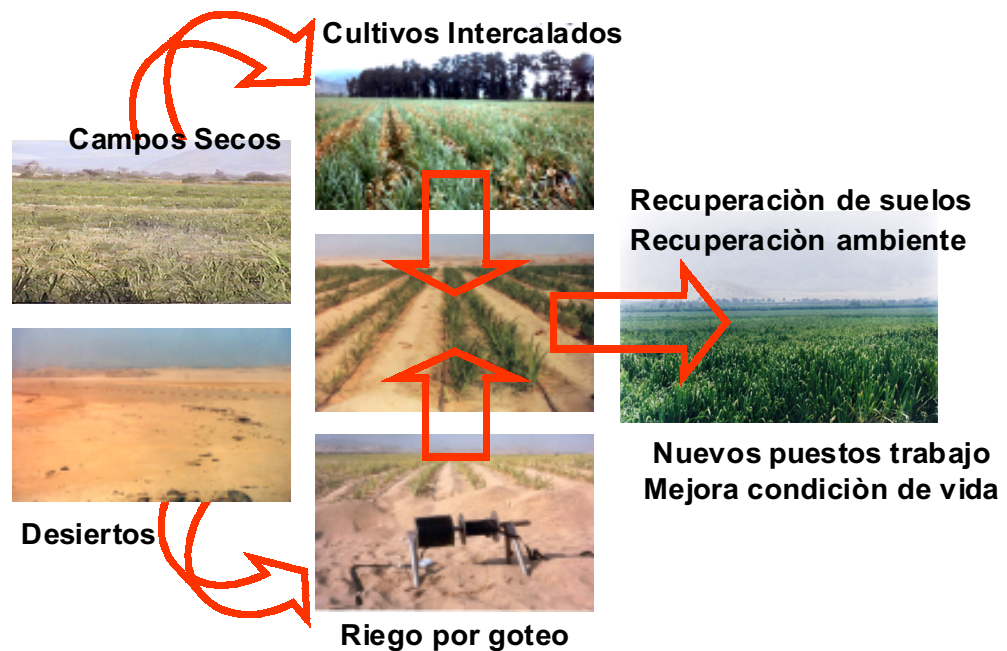


Fig.20: Integración de zonas áridas y recuperación de suelos

Es de gran interés sin embargo, para las empresa azucareras en general, minimizar en lo posible el utilizo de los sistemas de riegos utilizando motobombas para pozos de agua por el utilizo de energía solar o eólica, por razones económicas, es decir por el alto consumo de energía eléctrica que ello representa.

En promedio existen alrededor de 100 a 150 pozos de agua en cada empresa azucarera que ellos necesitan en lo posible eliminar o cambiar por nuevos sistemas de energía que representen ahorro. Hoy en día se ha logrado reducir hasta en 30% los clásicos sistemas de irrigación (Fig. 21) por sistemas de riego con goteo, esperando que en los próximos cinco

años se haya substituido en un 100% por energías renovables. Pero quizá lo más interesante, es la aplicación de lo que ellos llaman "cosecha en blanco", en donde la caña viene cosechada por los trabajadores y arrumada en el campo mismo para el recojo posterior.

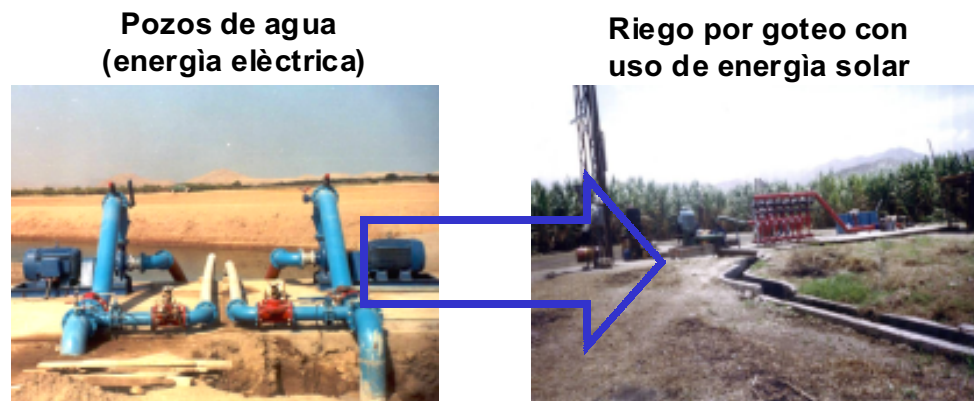


Fig.21: Substituir a futuro en un 100% sistemas de irrigación

El carguío de la caña arrumada en hileras, hasta cierto punto reduce la permanencia excesiva de la maquinaria sobre los campos si se establece un sistema adecuado de recolección del producto y se integran las labores de mecanización de preparado del terreno.

El barbojo dispuesto paralelamente a la caña cosechada viene luego quemada, lo que hace que se gane en calidad de caña y se pierda en calidad de ambiente.

En el caso de la Empresa San Jacinto, se comprobó que la cosecha en "blanco" reportaba mayor rendimiento de azúcar y menor presencia de materia extraña (tierra, piedras, etc). Y se comprobó que el respeto por el ambiente, es solo eso, una intención a largo plazo. Es más, si tomamos en cuenta estudios realizados como referencia comparativa referida a la conveniencia o no de los sistemas mencionados (en verde o con quema), llevado a cabo por la Mhlume Sugar Corporation (1998) y por Manuelita

Sugar Company (60), podemos ver que el sistema de cosecha sin quema, sigue representando la alternativa más conveniente (Tabla 16).

Tabla 16: Materia extraña y sacaroza según tipo de cosecha

Parámetro	Cosecha *		Cosecha **	
	Manual	Mecanizada	Manual	Mecanizada
Caña total (t/ha)	120,10	113,15	140,00	150,00
Materia extraña (%)	3,10	6,53	4,60	11,50
Caña neta (t/ha)	116,37	100,72	133,56	132,70
Sacaroza (t/ha)	17,22	15,75	13,90	12,56

* : Mhlume Sugar Co, 1998

** : Manuelita Sugar Co, 1998

CAPITULO V

HIDRÒGENO: COMBUSTIBLE DEL FUTURO

5.1. La conversi3n futura de la energa de ser sostenible

En estos ùltimos diez aros se ha dado un significativo avance en cuanto al concepto de sostenibilidad y sus aplicaciones. Pero aùn existe un gran reto de afrontar, un reto que debe comprometer a todos los paìses del mundo, para afrontar en este siglo el crecimiento de la poblaci3n, que ya va mäs allà de los 6 millardos (y que seguirà aumentando) y el consumo de recursos que esto conlleva, sin alterar la capacidad regenerativa de los sistemas naturales. En el siglo que ha pasado, se ha consumido un equivalente de energa de diez veces a aquella consumida en todos los aros predentes, siendo este incremento constituído en un 90% de combustibles f3siles, esperàndose que en los pr3ximos veinte aros se incremente el utilizo de petr3leo y carb3n en el orden de los 30 a 40% (61).

Pero, ¿cuàl es la base del desarrollo del sistema de todo paìs?, la energa. La energa es la base de todo sistema econ3mico y productivo, y es la manera como vienen usadas las fuentes energ3ticas que se crea la preocupaci3n por nuestro ambiente cada vez mäs degradado.

Y como nuestros sistemas energ3ticos sean insostenibles lo demuestra las grandes actividades: conferencias, jornadas y publicaciones, que se llevan a cabo a nivel mundial, con el ùnico objetivo de encontrar nuevas propuestas y salidas al incremento desmedido de energa. Hoy en día, los sistemas energ3ticos no llegan a dos millardos de personas (ni electricidad ni combustibles) y sirven de manera irregular a una cantidad similar (62). Seguir utilizando combustibles f3siles como el petr3leo y el carb3n ya sea para el transporte o la generaci3n de energa el3ctrica, no harà mäs que aumentar las emisiones de carbono de 6,1 a 9,8 millardo de toneladas hasta

el 2020, acelerando los cambios climáticos y las consecuencias que ello implica (63).

Para que se pueda dar el concepto de sostenibilidad, es importante tener en cuenta los aspectos ambientales, económicos y sociales, que hoy en día son fundamentales:

- mínimo impacto sobre el ambiente

- mínimo consumo de recursos

- energía asequible para la sociedad

Lo que conlleva a consecuencias, muchas veces discutibles:

- aumentar el uso de fuentes energéticas renovables

- aumentar la eficiencia de conversión de combustibles

- reducir el impacto ambiental

- aumentar el conocimiento.

5.2. Criterio de selección para la conversión de energía

Existe una tendencia mundial hacia una economía globalizada de liberación y concentración de mercados. Y en este punto vale la pena preguntarse, si los países en vías de desarrollo (PVD) estamos listos para ello, lo que en todo caso sería hacer la pregunta: ¿cómo incluir las demandas ecológicas y sociales en un mercado de libre economía?. Quizá la respuesta esté en la descentralización de la producción de electricidad, adaptando los sistemas existentes a la realidad de cada país y de cada región, es decir globalizando la producción de manera que cada una conozca de sus características permita la instauración de sistemas energéticos acorde al respeto de las personas y del ambiente.

La tendencia hacia la centralización y descentralización en la producción de energía eléctrica, debe tener como herramienta de criterio fundamental, el factor socio-ambiental de cada región. El hecho de tener en cuenta que el

objetivo básico de todo nuevo sistema de generación de energía debe basarse en la menor emisión y/o reducción de dióxido de carbono (Fig. 22), hace que sistemas de generación de energía descentralizadas, opten por fuentes energéticas renovables y nuevos sistemas de conversión.

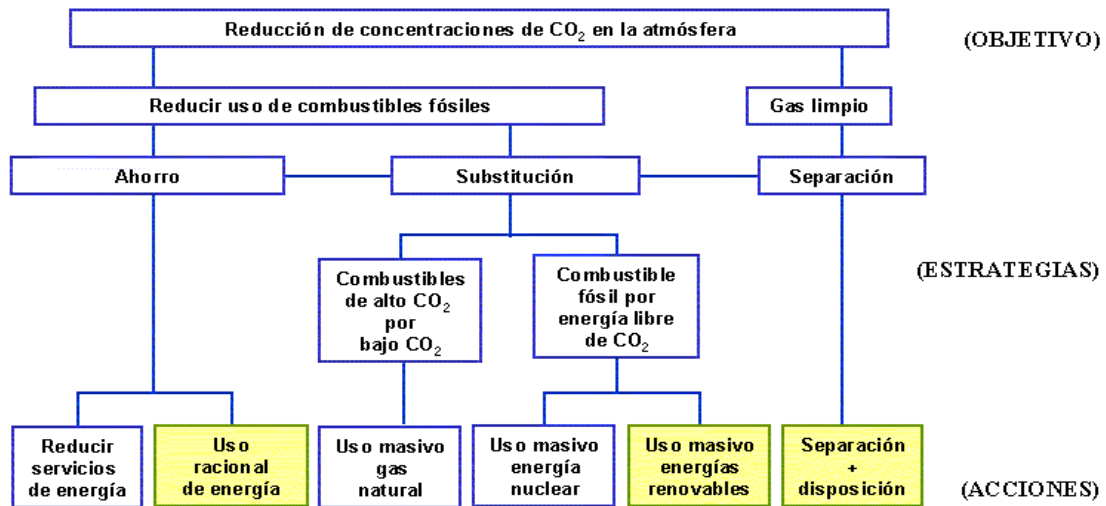


Fig. 22: estrategias y acciones para reducir el CO₂ en la atmósfera

Las tendencias hacia sistemas de producción de energía centralizada, están basadas en el uso de combustibles fósiles como carbón y gas natural a través de tecnologías que han reducido sus emisiones en relación a años anteriores. La tendencia de los sistemas de producción de energía descentralizada optan por la combinación de calor y energía, a través del uso de pilas de combustible, mini centrales hidráulicas y el uso de fuentes renovables como energía eólica, solar y biomasa (Fig. 23). Siendo de interés de la investigación el uso de la biomasa, podemos decir que el uso de este recurso está restringido a potencia entre los 50 a 100 MW, en situación de muy coordinada gestión logística y con alta disponibilidad de materia prima. La producción de electricidad de biomasa es justificable en

sistemas de co-combustión, esto permitiría que sea baja la inversión y alta la eficiencia. En los sistemas descentralizados, el aprovechamiento del combustible es mayor (64), debido no solo a la energía que se puede obtener, sino también al calor producido que puede ser utilizado.

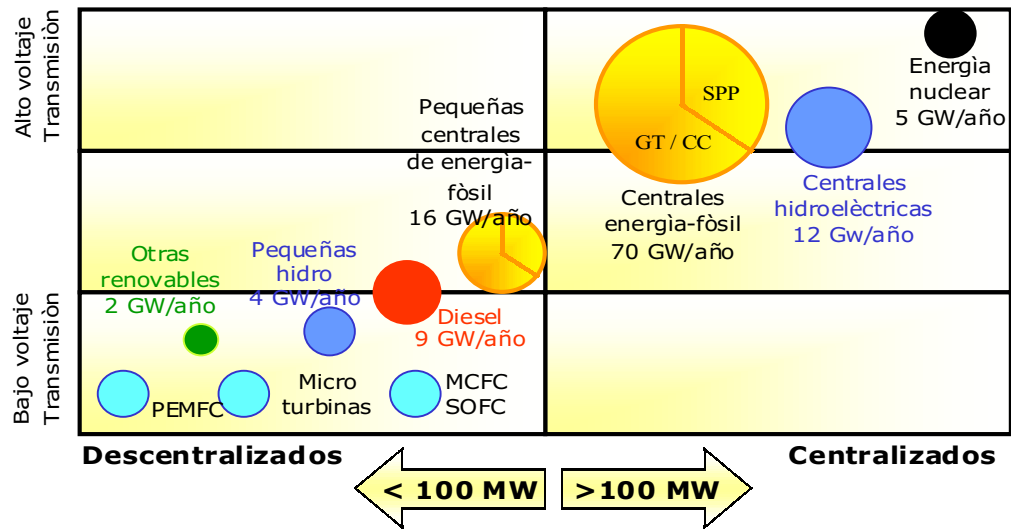


Fig. 23: Tendencias de sistemas de producción de energía

Los sistemas descentralizados abastecedores de energía comprenden unidades de generación de pequeña y media escala (viento, sol, agua, biomasa o gas); unidades de almacenaje (baterías); y consumidores industriales en una primera etapa y luego consumidores del sector privado.

Los objetivos del sistema descentralizado de abastecimiento de energía son :

- generar energía en el lugar donde se consume o consumir energía en el lugar de generación
- en donde sea posible, integrar energía de fuentes renovables en la red nacional
- optimizar el abastecimiento de energía desde los puntos de vista económico y ambiental de cada región

La solución a los problemas del calentamiento global, están en el no utilización de combustibles fósiles, pero aún así continuamos en ese camino.

Una tecnología que ha emergido en los últimos años y que se proyecta como una solución a los problemas ambientales causados por el aumento de las concentraciones de CO_2 , corresponde a la descarbonización de los combustibles fósiles antes de ser quemados, aumentando así la razón hidrógeno/carbono existente en ellos y al secuestro de CO_2 (si estos ya han sido quemados), esto es, una vez quemados los combustibles fósiles, capturar el CO_2 emitido y almacenarlo, evitando así su emisión a la atmósfera (65).

Si bien la tecnología no surge como solución al problema ambiental sino que para aumentar la recuperación de crudo, es perfectamente aplicable a esta problemática.

La descarbonización se basa en aumentar la razón hidrógeno/carbono presente en los combustibles fósiles, llegándose a obtener hidrógeno y CO_2 en el mejor de los casos mediante una reformación con vapor. El hidrógeno se proyecta así en convertirse en el combustible del siglo XXI, susceptible de ser utilizado como insumo en el sector transporte y en generadoras eléctricas.

El secuestro de CO_2 por otro lado, puede ser entendido como un cambio en la tecnología energética dominante, esto es que el CO_2 que eventualmente terminaría en la atmósfera dado que no existe normalización sobre su emisión, sea almacenado en forma estable, pudiendo ser bombeado a acuíferos salinos a kilómetros de profundidad o bien al fondo del océano, de modo que no entre a la atmósfera.

Es así como descarbonización de combustibles y secuestro de CO₂ pueden considerarse como dos caras de la misma moneda, conceptos que en el último tiempo han adquirido cierta relevancia, dado:

- el desarrollo de las celdas de combustibles, unidades que pueden generar electricidad haciendo uso de hidrógeno,
- el incremento de la preocupación por el ambiente, conciencia que el hombre ha adquirido acerca de que la atmósfera no es el único sumidero de CO₂, pudiendo el océano y los acuíferos salinos convertirse en otros sumideros.

Con el conocimiento y aplicación de la tecnología de hoy en día, es posible llegar a pensar en una reducción de los costos de la energía a la vez que se van mejorando y protegiendo el ambiente y el clima. Para detener el calentamiento global en donde parte de la cuota de protección venga de los países en vías de desarrollo, como el Perú, se requieren tres pasos principales:

- generar hidrógeno de manera descentralizada a partir de combustibles fósiles ligeros como el gas natural ;
- integrar la gestión de recursos biomásicos en centrales regionales estratégicas ;
- descentralizar la producción futura en base a nuevos recursos renovables: solar, eólico, geotérmico.

Con esta metodología, se daría el primer paso, que permita hacer posible orientarse hacia una economía renovable del hidrógeno. Y el primer paso ya se ha dado, con la política energética del gobierno orientada a la explotación y uso del gas natural, que va a simplificar la integración de las energías renovables.

5.2.1. Es el utilizzo del gas natural un primer paso hacia una nueva economía energética?

Ahora nos encontramos en la era del petróleo, para muchos estudiosos probablemente en el final de dicha época. Pero según Robert Hefner de la compañía GHK (66), la posibilidad de una transición hacia una economía basada en el hidrógeno, cada vez es más real si se le toma desde una perspectiva "atómica" de la historia de la energía (Fig. 24).

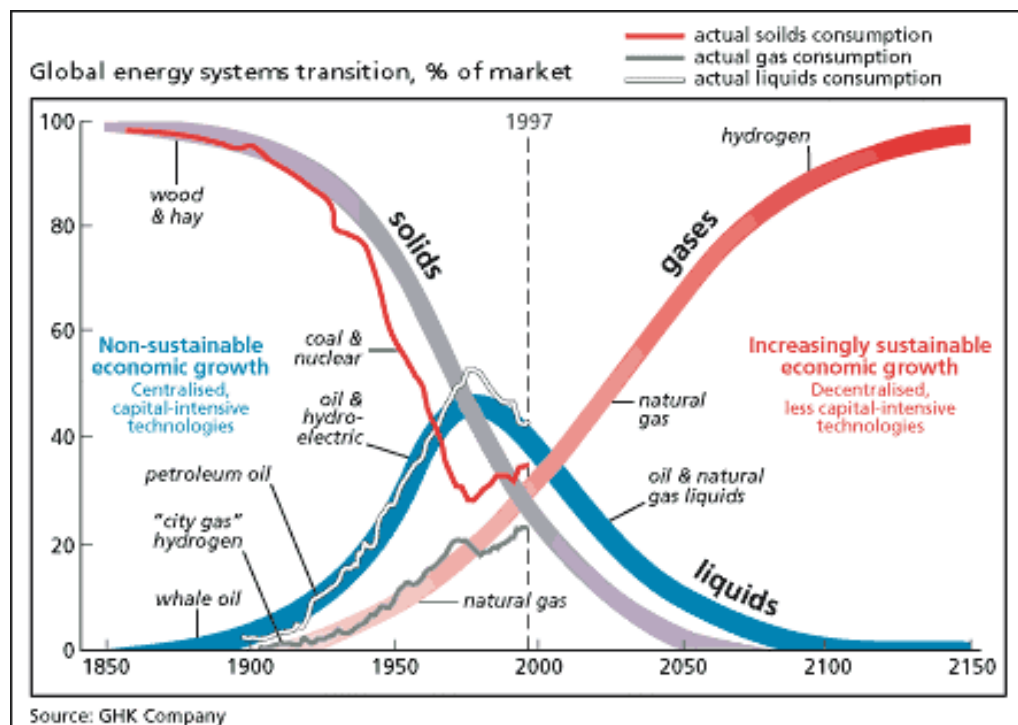


Fig. 24: La transición del sistema energético global

De la figura anterior podemos ver, que a mediados del siglo anterior, el petróleo era la fuente de energía más importante del mundo. Hoy, este recurso fósil se encuentra de frente a una nueva competencia: el gas natural. Este combustible fósil gaseoso, además de ser ligero, menos contaminante y quemado en modo eficiente, cuyo uso está aumentando rápidamente sobretodo para la generación de energía eléctrica.

El pasaje del utilizo de combustible sòlido-líquido-gaseoso, implica una transición de “descarbonización”. Sea del utilizo de la leña al carbón, o del petróleo al gas natural, el índice de hidrógeno con respecto al carbono que contiene la molécula de la fuente de energía, ha aumentado. Este índice varía de 0,1 a 0,3 para la leña; de 1 a 2 en el carbón; 2 a 1 en el petróleo y de 4 a 1 en el gas natural (67). David Hurt del Imperial College, muestra en la figura 25 que se está dando una evolución global a favor de la “descarbonización” de los sistemas energéticos.

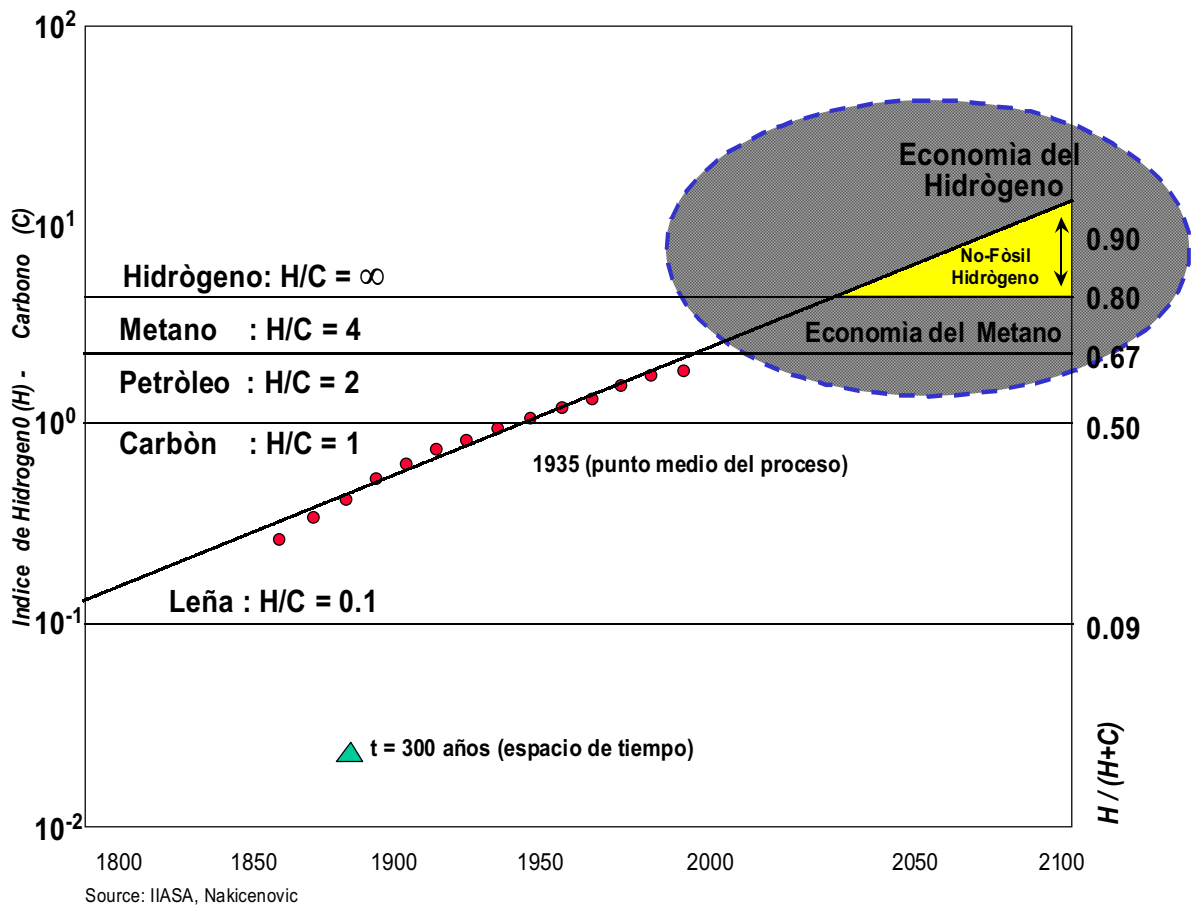


Fig. 25: Evolución del índice hidrógeno-carbono de las fuentes de energía

5.2.2. Hidrógeno renovable: un sistema energético sostenible

Es cierto que contamos con suficiente combustible fósil para muchas centurias mas, pero habría que ver hasta que punto somos capaces de soportar el incremento de los combustibles, sobretodo en los PVD. No se puede negar el hecho que va a ser difícil cambiar rápidamente a energías renovables en los PVD, pero si se quiere contribuir a reducir el calentamiento global, es el momento de empezar, valorizando los potenciales reales de energías renovables. Con toda la problemática ambiental existente, hace necesario entonces que todo nuevo vector energético, o proceso de producción sea lo menos contaminante posible; y en este caso deberíamos referirnos a la producción de un "hidrógeno renovable" (Fig. 26).

El Hidrógeno es sin duda el combustible del futuro, a emplearse en celdas de combustible para producir eficientemente electricidad, entre otras aplicaciones. Sin embargo, su producción deberá hacerse a partir de fuentes renovables de energía (solar y sus manifestaciones secundarias como el viento, la lluvia, las biomásas, etc.) para lograr ser parte de sistemas energéticamente sustentables. Entre los muchos procedimientos propuestos en la figura 26, para producir hidrógeno, destacan los basados en la electrólisis del agua con electricidad producida en celdas fotovoltaicas que convierten directamente la luz solar en electricidad (siendo uno de los procesos más difundidos).

Sin embargo, el alto costo de las fotoceldas hace a esta opción por el momento poco competitiva económicamente cuando se compara con otras propuestas, como el empleo de aerogeneradores, o el uso de biomasa residual.

Muchas de las actividades industriales de los PVD son en mayor o menor cantidad generadores de residuos que pueden presentar una alternativa

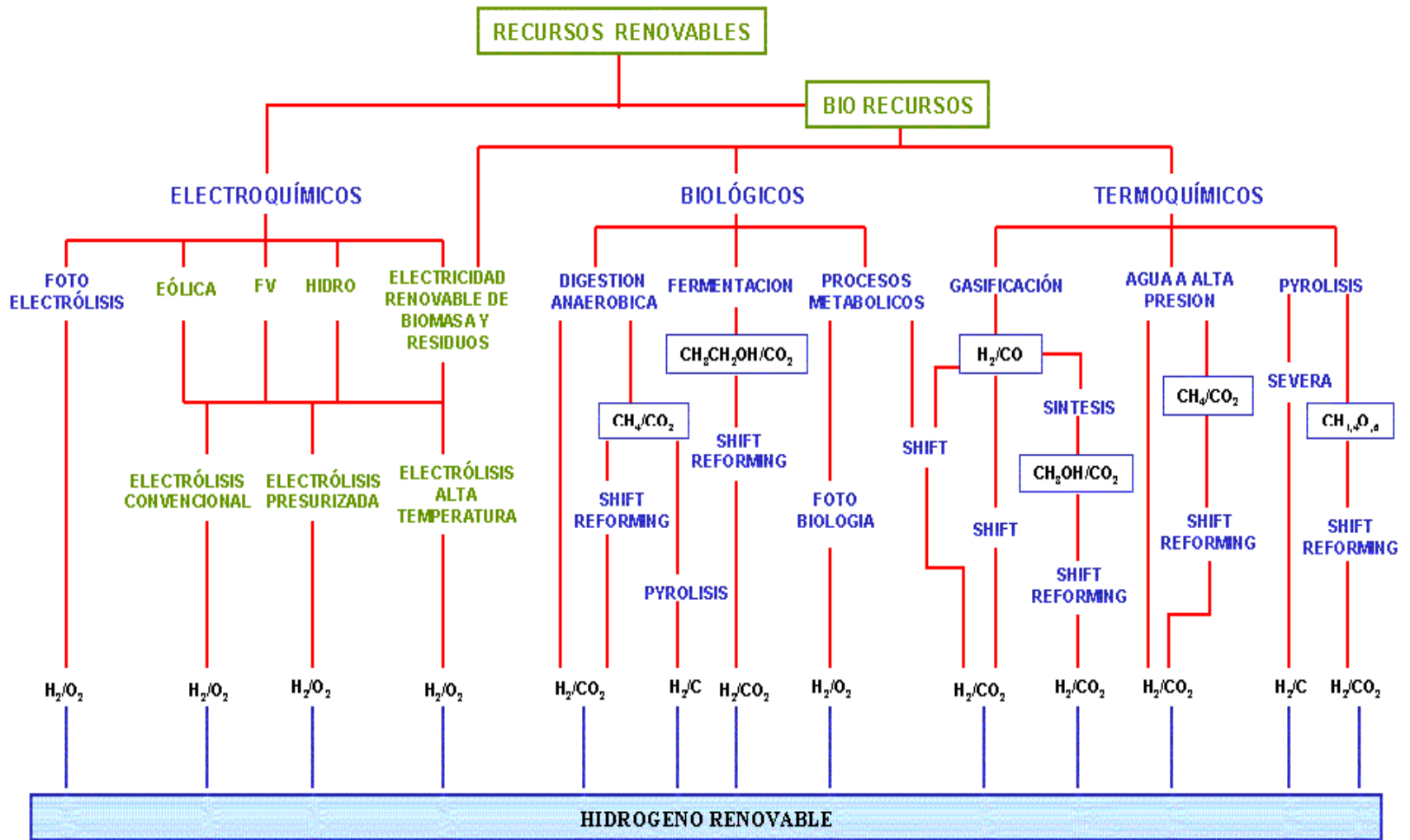


Fig. 26: Alternativas de producción de hidrógeno renovable

económicamente interesante en la sustitución de combustibles fósiles y por lo tanto ahorro para las empresas. Si a esto se aúna una política energética sostenible de los gobiernos y el apoyo necesario a las iniciativas, los resultados serían favorables en el corto y mediano plazo, consiguiendo de esta manera una real representatividad dinámica en el Protocolo de Kyoto.

5.3. Sistemas de producción de hidrógeno

El hidrógeno es el elemento más abundante y simple del universo, sin embargo en el planeta Tierra se le encuentra mayoritariamente asociado a otros elementos y no existe a granel como molécula en la naturaleza, es decir como hidrógeno gaseoso (H_2). Está presente por ejemplo en el agua, en los combustibles fósiles y en general formando parte de los seres vivos (biomasa).

Como es sabido, el sol brinda la energía necesaria para que exista la vida, energía proveniente en última instancia de la fusión de los átomos de hidrógeno que posee -con la consecuente generación de helio-, lo que pone de manifiesto su vital importancia.

El hidrógeno al igual que la electricidad es un transportador de energía, considerándose por tanto una fuente energética secundaria, a diferencia del carbón, gas natural o petróleo que corresponden a fuentes de energía primaria. Hidrógeno y electricidad pueden ser considerados transportadores de energía antagónicos, pues utilizando como insumo hidrógeno en una celda de combustible es posible generar electricidad, la que a su vez si es conducida por una solución acuosa, producirá hidrógeno mediante hidrólisis.

Desde hace muchos años el hidrógeno ha sido objeto de gran interés por parte de la comunidad científica y en el último tiempo en el círculo político, al ser considerado el más atractivo de los potenciales combustibles a usar en futuro, pues al combustionar libera gran cantidad de energía por unidad de

masa: 33,3 kWh/kg (más del doble que el gas natural y el triple de la gasolina que son: 13,9 y 12,7 kWh/kg respectivamente) sin emisión de gases contaminantes y aportando indirectamente a una disminución del calentamiento global del planeta causado por gases invernaderos antropogénicos (68); es considerado además una fuente de energía renovable al igual que el viento, el sol, las caídas de agua y la biomasa, sin embargo a diferencia de éstas, el hidrógeno tiene la posibilidad de ser almacenado, transportado y utilizado cuando sea requerido, principal desventaja que presentan las energías renovables tradicionales, confinadas a ser utilizadas en forma estacional, llegando a ser esta característica la principal limitante en su desarrollo.

5.3.1. Sistemas de producción de hidrógeno

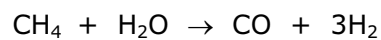
El hidrógeno puede ser producido a partir de diversos insumos y procesos. A continuación se describen los más utilizados y que conforman las distintas alternativas de diseño.

- A partir de **combustibles fósiles**, mediante el proceso denominado reformación de metano con vapor (methane steam reforming - MSR);
- de electricidad, mediante **electrólisis**. Hay que considerar si la electricidad se ha obtenido utilizando energías renovables (viento, sol, etc.) o combustibles fósiles, para determinar si es o no renovable ;
- de **biomasa**, mediante los procesos de gasificación y fermentación anaeróbica ;
- del **sol**, mediante el proceso denominado fotoproducción de hidrógeno, dentro del cual se encuentran los procesos: fotoquímicos y fotobiológicos.

- del **calor**, producido en las centrales termoelèctricas y nucleares, mediante procesos termoquímicos, cuyas investigaciones estan muy avanzadas.

5.3.1.1. Steam Reformer

Comprende 2 etapas. En la primera, una mezcla estequiòmetrica de hidrocarburos/agua es sometida a altas temperaturas en un reactor catalítico (multitubular) para hidrocarburos ligeros, obteniéndose en el caso que se utilice CH₄ los productos H₂ y CO, de acuerdo a la siguiente reacción:

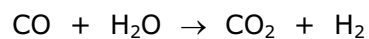


En procesos a escala industrial, estos procesos (endotèrmicos) se realizana temperaturas de 850°C y presiones del orden de los 2,5 MPa.

Son posibles otras reacciones bajo las condiciones de operación en la reformación, sin embargo la experiencia ha demostrado que estas reacciones pueden ser despreciadas. En los reactores multitubulares comerciales se puede alcanzar un alto grado de aproximación al equilibrio, siendo la transferencia de calor en lugar de la cinética, la etapa limitante del proceso.

Los mecanismos y la cinética de las reacciones de reformación no se conocen con exactitud, pero no son esenciales para predecir los resultados.

La segunda etapa comprende la transformación del CO en CO₂ e H₂, en un reactor tubular (shift reactor), de acuerdo a la siguiente reacción:



El hidrògeno es luego purificado hasta en un 99,9% utilizando el sistema PSA (pressure-swing-adsorption). El problema de la presencia de carbono y su almacenaje puede representar un incremento de los costos hasta en un 30%. La Fig. 27 muestra el esquema del proceso tomando en cuenta la separación de CO₂.

El proceso de separación del CO₂, se inicia con su captura a través de un solvente. Si bien requiere energía adicional para regenerar el solvente, éste puede ser tomado del calor residual de la planta. Luego el CO₂ es comprimido y liquefacto antes de ser inyectado dentro de las tuberías que los transportaran a su punto final de sequestro.

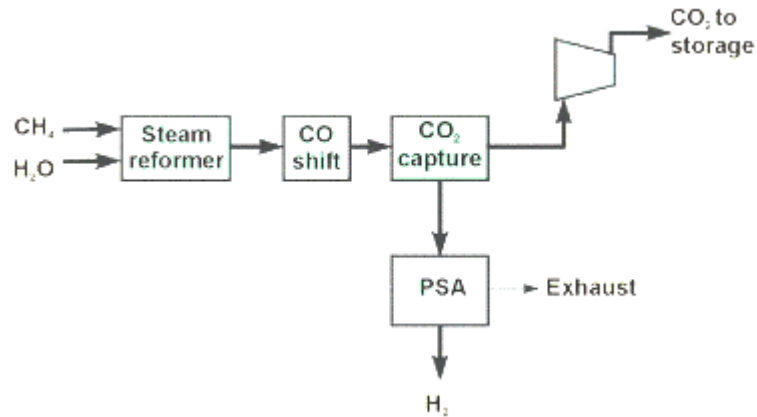
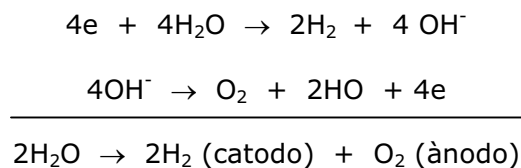


Fig. 27: Producción de hidrógeno de gas natural

5.3.1.2. Electrólisis

La fabricación de hidrógeno electrolítico normalmente está limitada a pequeñas plantas, o bien es realizada en aquellos lugares donde el costo de energía eléctrica es muy bajo. El proceso consiste en alimentar agua como materia prima a una celda electrolítica por la que se hace circular una corriente eléctrica continua. En el interior de la celda, se produce la disociación de agua con la consecuente generación de hidrógeno y oxígeno en forma separada, de acuerdo a las siguientes reacciones:



A la salida de las celdas electrolíticas, el flujo gaseoso de hidrógeno sale a la presión de 1 psi y su composición es 99.7% H₂ y 0.3% O₂. La figura 28

muestra una celda electrolítica con electrodos alcalinos. Un diafragma, colocado entre los dos componentes, permitirá el pasaje de iones en solución y evitar así la mezcla de gases. Los iones de hidróxido de sodio, hacen que el agua sea el medio de conducción.

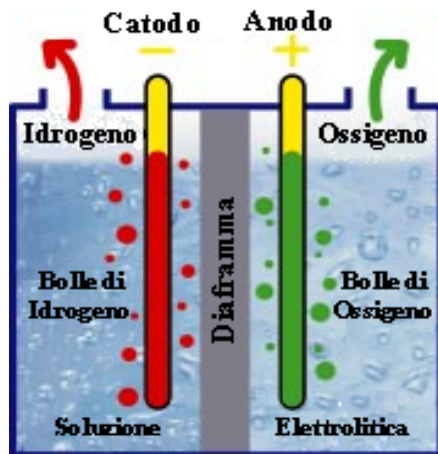


Fig. 28: Electròlisis del agua

Mediante la utilización de este proceso, se obtiene H_2 con una pureza del 100%. El voltaje requerido para separar el hidrógeno del oxígeno a $25^\circ C$ y 1 atm es de 1.24 V, el que puede ser reducido al manipular las condiciones de operación.

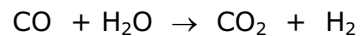
De acuerdo a esto, la mínima cantidad de energía eléctrica necesaria para hidrolizar 1 mol de agua es 65,3 kWh, por lo que producir $1 m^3$ de hidrógeno requerirá 4,8 kWh. El principal cuidado que debe tenerse en este proceso dado el gasto energético que conlleva, es de carácter económico y guarda relación con la elección de un adecuado tipo de celda, de modo de evitar grandes costos en mantención.

5.3.1.3. Gasificación de biomasa

Según la cantidad de agua que posea la biomasa, ésta puede ser destinada a gasificación (humedad $< 20\%$) o fermentación (humedad $> 30\%$). De acuerdo a la disponibilidad de métodos comerciales, este recurso se usa para producir hidrógeno a través de pirólisis y gasificación. Coke, metanol y otros gases primarios son obtenidos en la primera fase. En la segunda, la reacción con oxígeno (aire) o vapor, según sea el caso, se obtendrá como resultado

una mezcla de gases compuesto mediamente por 20% de H₂, 20% CO, 10% CO₂, 45% N₂ y casi 55% de CH₄. utilizando oxígeno puro o vapor se elimina los componentes de nitrògeno.

La transformaciòn de esta mezcla de gases hacia un gas rico de hidrògeno va a depender de la materia prima como gasificaciòn (sòlidos) o reforming (gas). Reacciones endotèrmicas de hidrocarburos con vapor, produce un gas de sntesis con alto contenido de hidrògeno. El producto gaseoso producido debe ser luego sometido a un proceso de conversiòn del CO a H₂, similar al proceso de *shift reaction* descrito para el steam reformer (5.3.1.1.):



5.3.1.4. Fermentaciòn anaeròbica de biomasa

El biogás generado por bacterias anaeròbicas que digieren materia orgànica (biomasa) en ausencia de oxígeno, está constituido principalmente por metano, el que antes de ser metabolizado por dichas bacterias se encuentra en equilibrio con el gas H₂. De acuerdo a lo anterior, el hidrógeno puede ser producido utilizando metano proveniente de la fermentaciòn anaeròbica de la biomasa mediante alguno de los procesos descritos anteriormente (reformaciòn con vapor u oxidaciòn parcial) o bien, interrumpiendo alguna de las vías metabòlicas que las bacterias utilizan para generar el metano, de modo que el biogás sea una mezcla gaseosa rica en H₂.

5.3.1.5. Fotoproducciòn de hidrógeno

La fotoproducciòn de hidrógeno mediante el uso de energìa solar ha sido objeto de mucha investigaciòn y desarrollo desde la dècada del 70 cuando Fujishima y Honda (69) reportaron la generaciòn de hidrógeno y oxígeno en una celda fotoelectroquímica usando un electrodo de diòxido de titanio iluminado con luz cercana al UV. Los fotones provenientes de la luz solar son absorbidos en un absorbedor, el que puede convertir parte de la energìa a electricidad (como en el caso de una celda fotovoltaica) o bien almacenarla

como energía química, siendo esta energía posteriormente utilizada en la producción de hidrógeno. Dentro de la categoría de procesos de fotoproducción de hidrógeno se encuentran los procesos fotoelectroquímicos, fotoquímicos y fotobiológicos.

5.4. Selección del sistema de producción de hidrógeno

Sin tomar en cuenta la captura y almacenamiento del CO₂ (Fig. 29), el proceso de reforming o gasificación liberaría normalmente estos gases considerados de efecto invernadero a la atmósfera. Por el contrario esto representaría un aumento del 25% del costo total siempre que la planta sea diseñada para este propósito (70). Un estudio llevado a cabo por la IEA Greenhouse Gas R&D Programme (71), hace ver que el uso de gas natural en la producción de hidrógeno tiene los costos más bajos en cuanto al CO₂ liberado, más no así en lo referente al costo como combustible propio (Tabla 17).. Esto refuerza el hecho de una mayor tendencia hacia el uso de este recurso, en la producción del nuevo vector energético.

Tabla 17: Costos de producción de hidrógeno c/s secuestro de CO₂

Sistema de Producción	Fuente de energía (\$ /GJ)		
	Carbón	Gas Natural	Hidroelectricidad
Combustible	2	3	0,03/kWh
Hidrógeno con CO ₂ liberado	10	5,6	--
Hidrógeno con CO ₂ secuestrado	13	13	19

IEA Greenhouse Gas R&D Programme.

La ventaja del gas natural en este sentido lo pone a la vanguardia, en la selección del combustible adaptado para la producción de hidrógeno, pero teniendo en cuenta otros combustibles alternativos con indicadores

CO₂ Storage

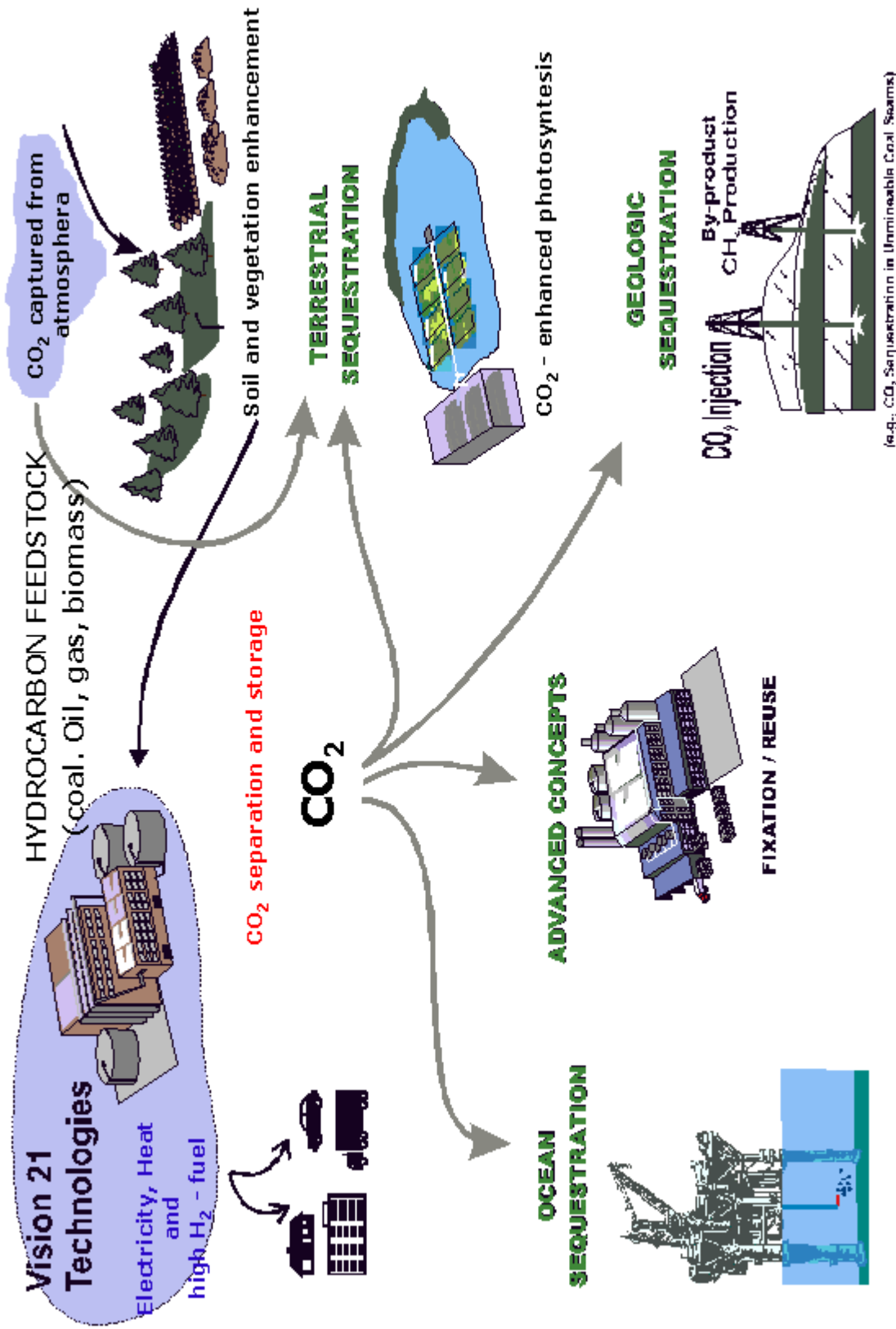


Fig. 29: Alternativas de almacenamiento de CO₂

adicionales que toman en cuenta la eficiencia global hasta el estado de la tecnología, Werner Zittel (72) muestra que siendo el gas natural una buena alternativa, el uso de biomasa representa también una opción a tener en cuenta hacia una economía de "hidrógeno renovable", sobre todo desde el punto de vista ambiental y económico, si a esto adicionamos la gran posibilidad de residuos agrícolas que se generan en algunas actividades agroindustriales, y que con una adecuada gestión, pueden ser integrados dentro de un sistema energético, entonces la biomasa representa una real alternativa renovable inicial a tener en cuenta en el corto plazo (Tabla 18).

Tabla 18: Comparación de sistemas de producción de hidrógeno

Indicadores	Gas Natural (steam reforming)	Hidrocarburos (oxidid. parcial)	Biomasa (gasific/reform)	Electrólisis (solar/eólico)	
Eficiencia máxima (%)	81,20	69,50 ^a	54,90 ^b	84,2	69 / 76
Pressure level (MPa)	4,00	5,00	4,50	0,2	3
Emisión CO ₂					
kg/m ³ H ₂	0,820	1,35	2,00	0,33	–
m ³ CO ₂ /m ³ H ₂	0,435	0,53	0,807	< 1	–
Horas al año	8.000	8000	8000	8000	2000/8300
Efectos ambientales	Agotamiento emisiones GHG	Agotamiento emisiones GHG	Substituye comb fósiles	Asociado a gener. electric.	
Ventajas	Económico	Econ / Flex	Pot. Residuos renovable	Modularidad renovable	
Estado de la tecnología	Comercial	Comercial	Madura	Confiable	

Adaptado de "Workshop on Energy technologies to reduce CO2 emissions in Europe".

a: hidrocarburos pesados

b: carbón

CAPÍTULO VI

PRODUCCIÓN DE HIDRÓGENO DE BARBOJO DE CAÑA DE AZÚCAR

6.1. Biomasa: oportunidad para Países en vías de desarrollo

La recomendación de una mayor difusión de fuentes energéticas renovables, y particularmente de biomasa, ha sido una de las propuestas más sostenida en la conferencia del Protocolo de Kyoto, debido a que su uso no implica producir anhídrido carbónico, aunque si este concepto no tiene en cuenta eventuales intervenciones externas sobre la biomasa, la equivalencia propuesta puede ser válida en una primera instancia, si se considera la equivalencia existente de CO₂ asumida por la fotosíntesis y aquella producida por el proceso de combustión de la misma.

Pero este concepto, puede alcanzar una real dimensión si se gestiona de manera adecuada el recurso ya sea para su uso directo como combustible o transformado en un vector energético.

Las proyecciones del International Energy Outlook 2002 (73), indican un continuo crecimiento en la demanda global de energía y en las emisiones de dióxido de carbono. Pero detrás de todo esto existe un tremendo daño a la tierra en todos los aspectos que a veces no se pueden reflejar en números o estadísticas. Si bien los datos indican que del total de 6,3 billones de habitantes, solo el 25% que corresponde a 1,6 billones de personas, utilizan el 67% de la energía global. Cuatro de cinco personas viven sin electricidad en áreas rurales de los países en vías de desarrollo, principalmente en el sur de Asia, África y América, pero se está iniciando un cambio en el modelo de privación debido a que el 95% del incremento de la población en las próximas tres décadas ocurrirá en las áreas urbanas. Aún así, alrededor de 2,4 billones de personas están ligadas al uso tradicional de biomasa en la

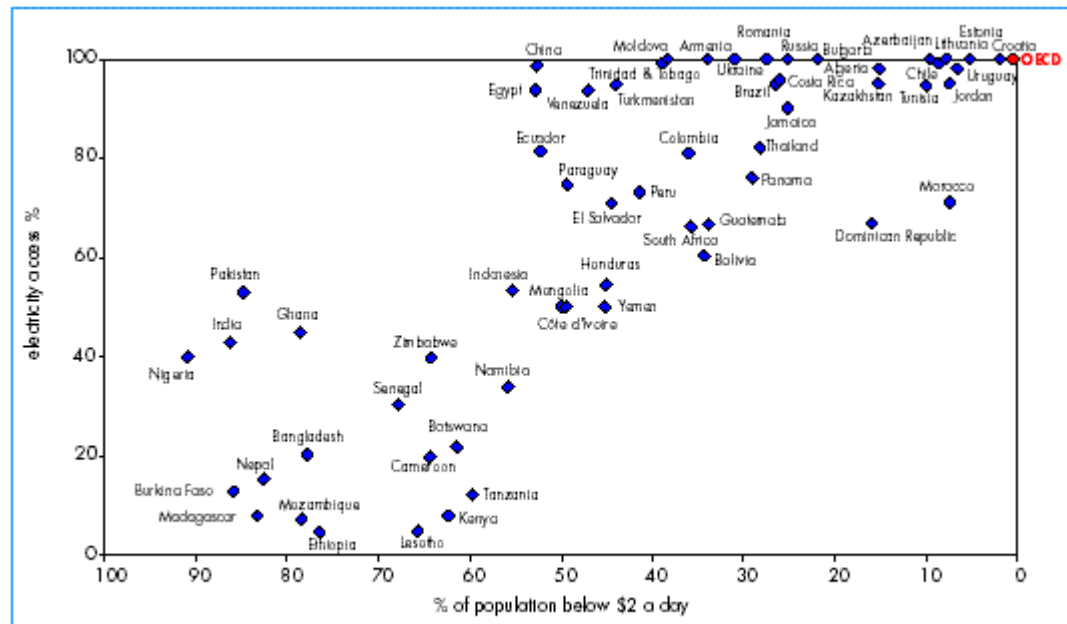
cociòn de alimentos y para calentarse; este nùmero se incrementará hasta 2,6 billones en el 2030. La falta de electricidad exacerba la pobreza y contribuye a que ella se perpetue, haciendo que sea imposible instaurar nuevas actividades industriales (Fig. 30).

Los paìses en vías de desarrollo en 1999 emitieron 64% de las emisiones mundiales, por el uso indiscriminado de leña, bosta, yareta, es decir que el utilizo tradicional de la biomasa de forma indiscriminada y la poca disponibilidad de modernos combustibles retaren el desarrollo socioeconómico de las poblaciones (Fig. 31).

Si bien la soluciòn està en el desarrollo sostenible: "fuentes energéticas renovables", "producciòn limpia" y "equidad"; la metodología y tiempo de aplicaciòn està fuertemente relacionado con las características geográficas, políticas y sociales de cada paìs, la biomasa ofrece cierto número de ventajas, que a diferencia de los combustibles fósiles, se puede obtener en buena parte de la superficie terrestre. Generalmente contiene menos del 0,1 por ciento de azufre y deja entre el 3 y el 5 por ciento de cenizas, en comparaciòn con el 2 o 3 por ciento y del 10 al 15 por ciento, respectivamente, de los carbones.

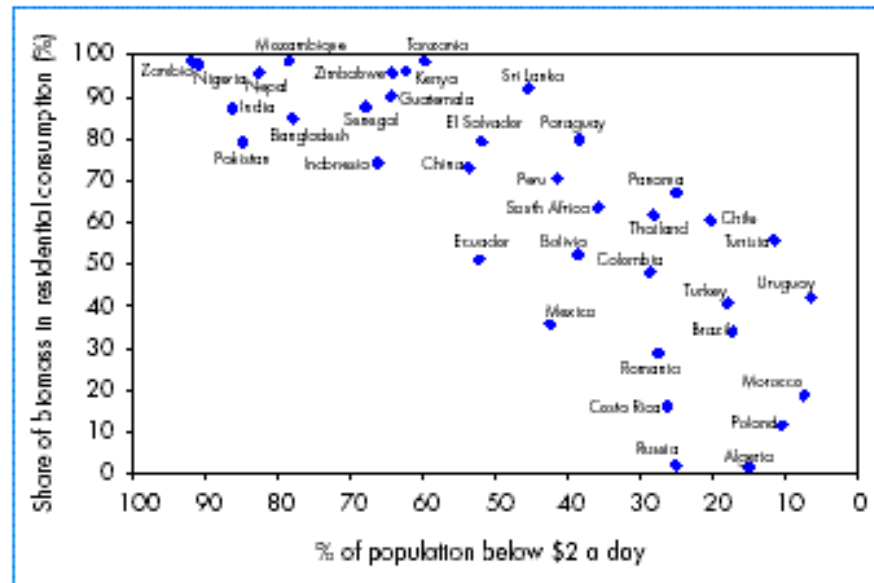
Si la biomasa se produjera a un ritmo viable, el dióxido de carbono liberado cuando se procesa y se quema queda contrarrestado exactamente con el dióxido de carbono consumido durante la fotosíntesis. La bioenergía no aportaría una contribuciòn neta al dióxido de carbono de la atmósfera y, por tanto, no fomentaría el calentamiento global.

La perspectiva de producir y utilizar la biomasa, en este caso los residuos de la caña de azùcar, en el sector energético, representaría un impacto positivo en el contexto territorial y socio-económico: creaciòn de nuevos puesto de



Note: Some transition economies and the OECD average are included for comparison purposes.
 Source: IEA analysis using income statistics from the World Bank's *World Development Indicators*, 2001.

Fig. 30: Acceso a la electricidad de países en vías de desarrollo



Source: IEA analysis and the World Bank's *World Development Indicators* for income statistics.

Fig. 31: Consumo de biomasa en países en vías de desarrollo

trabajo, diversificación e integración de nuevos recursos, revalorización de residuos orgánicos y mejora de las condiciones ambientales regionales.

Es cierto que se necesita un sistema de planificación precisa en la gestión de este nuevo residuo (barbojo) que va desde la obtención hasta la conversión energética del mismo, pero la experiencia del sector azucarero en la gestión del bagazo, siembra y cosecha de la caña, permitiría partir con cierta ventaja en la integración de la materia prima al sistema existente, es más, la visión de las azucareras privatizadas apuntan de una u otra manera a utilizar de manera más eficiente los recursos

6.2. Obtención de energía a partir de biomasa cañera

Conocido es el uso generalizado de biomasa cañera para producir electricidad y calor en el sector azucarero. Esta práctica es económica solamente donde se disponga del combustible de biomasa a bajo precio, en este caso hablamos de bagazo de caña que resulta ser un sub-producto, que alimenta las calderas, a fin de producir el vapor necesario para alimentar las turbinas de vapor, que ofrecen bajo rendimiento a las modestas escalas que son adecuadas para la biomasa (menos de 100 megawatt). A mayores escalas, los costes de transporte se hacen prohibitivos, porque los recursos de biomasa están dispersos por grandes superficies.

Las mejores perspectivas de aplicación a corto plazo de tecnología alimentadas con biomasa se dan en las industrias que producen grandes cantidades de residuos de biomasa: ingenios azucareros y destilerías, entre las que tenemos los gasificadores, que pueden ser alimentadas con residuos de caña de azúcar y generar mucha más electricidad de la que necesitan los ingenios o las destilerías.

Con la producción actual de caña, los sistemas de gasificación podrían producir hasta la mitad de la energía total ahora generada -sea cual fuere la

fuentes- en los 80 países en vías de desarrollo que producen caña. Aunque la producción de electricidad predominará, a buen seguro, entre las aplicaciones iniciales de la energía solar, la producción de combustibles líquidos y gaseosos es una tendencia que se acentuando en este siglo XXI.

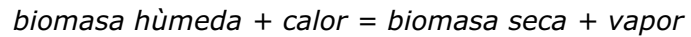
La gasificación de biomasa, tiene la potencialidad de agregar nueva capacidad a la ya existente industria que utiliza este recurso como fuente de energía. Utilizar como fuente de combustible biomasa gasificada, puede permitir alcanzar eficiencias hasta del 60%. Mientras que la investigación en campo de la gasificación no sea llevada a cabo del todo, va a permitir que se sigan logrando mejoras a nivel de eficiencias, emisiones y gestión de los sistemas.

6.3. Gasificación de biomasa cañera: barbojo

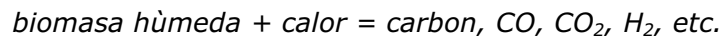
6.3.1. Gasificación: concepto y sistemas

La gasificación es un proceso por el cual la materia orgánica viene descompuesta por reacciones térmicas, en presencia de cantidades estequiométricas de agentes oxidantes. El proceso genera un gas combustible, que es una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono, metano y en menores porcentajes otros hidrocarburos y alquitrán. Es un proceso que tiene como objetivo convertir el potencial de energía de un combustible sólido en producto gaseoso con capacidad de generar trabajo. El gas producido tiene ciertas ventajas importantes con relación al combustible sólido: es más fácil de manipular, mayor eficiencia de combustión (debido al bajo exceso de aire), y versatilidad de uso (motores de combustión interna, turbinas de gas, etc). Durante un proceso de gasificación, la biomasa está sujeta a una compleja secuencia de reacciones: secado, pirólisis, reducción y oxidación; que pueden ser agrupadas en tres fases:

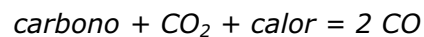
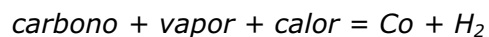
- fase 1: o fase de secado, en donde el contenido de humedad del combustible es extraído en forma de vapor, sin que se realice una descomposición química del mismo:



- fase 2: o fase de pirólisis, en donde sin admisión de aire, se rompe la actual estructura del combustible a través de una reacción exotérmica que libera vapor, metanol, ácido acético y una considerable cantidad de hidrocarburos pesados. Los residuos sólidos están formados por carbón en la forma de charcol, que será transformado durante las reacciones de combustión y reducción.



- fase 3: o fase de gasificación, generalmente consiste de dos reacciones, una de combustión y otra de reducción. Durante la combustión (oxidación) el oxígeno es mezclado con el carbono del combustible, en el área del gasificador donde el agente oxidante (aire, oxígeno o vapor) es admitido, generando dióxido de carbono. El gas calentado con alto contenido de CO₂ (más agua, si se usa vapor), fluye hacia el área de reducción. Una vez en esta área, una serie de gases incombustibles se transforman en combustibles a través de una serie de reacciones en ausencia de oxígeno. La reacción principal genera monóxido de carbono:



6.3.1.1. Tipos de gasificadores

Aunque hoy en día muchas tecnologías de gasificación, ya son disponibles, en sus diferentes grados de desarrollo, se les puede reunir básicamente en tres categorías:

- gasificadores de lecho fijo (Fig. 32), esta categoría tiene tres variantes dependiendo de la manera en que el gas es extraído de la unidad,
- gasificadores a lecho suspendido (Fig. 33), donde un gas (comunmente aire u oxígeno con vapor) fluye atrapando las partículas de combustible en suspensión dentro del gasificador,
- gasificadores a lecho fluido (Fig. 34), un distribuidor introduce un fluido que intersecta un lecho de partículas (consistente de materia inerte y pequeñas partículas de combustible) provocando la suspensión. Las fases de reacción de este tipo de gasificadores ocurre simultaneamente cuando se atraviesa todo el lecho fluido, de manera homogénea.

Las reacciones en un gasificador dependen de varios factores, como son: el tipo de combustible (tamaño, humedad), condiciones de operación (temperatura, rango de calentamiento, tiempo de permanencia, pérdida de calor, etc), y principalmente la selección del agente gasificador (aire, oxígeno, dióxido de carbono, vapor, hidrógeno, y una mezcla de gases). Estas reacciones generan gases que pueden ser agrupados en tres categorías: de bajo poder calorífico (Fig. 35), poder calorífico medio (Fig.36) y poder calorífico alto (Fig. 37); cada uno de ellos con sus respectivos procesos de producción.

Estos gases podrían ser utilizados para obtener productos químicos como metanol, alcohol, etc., o ser utilizados en aplicaciones industriales: secado de procesos o para generar calor y electricidad a través de sistemas de combustión; en turbinas de gas para generación de electricidad; y en motores de combustión interna o motores diesel, siempre para generar energía eléctrica o energía mecánica.

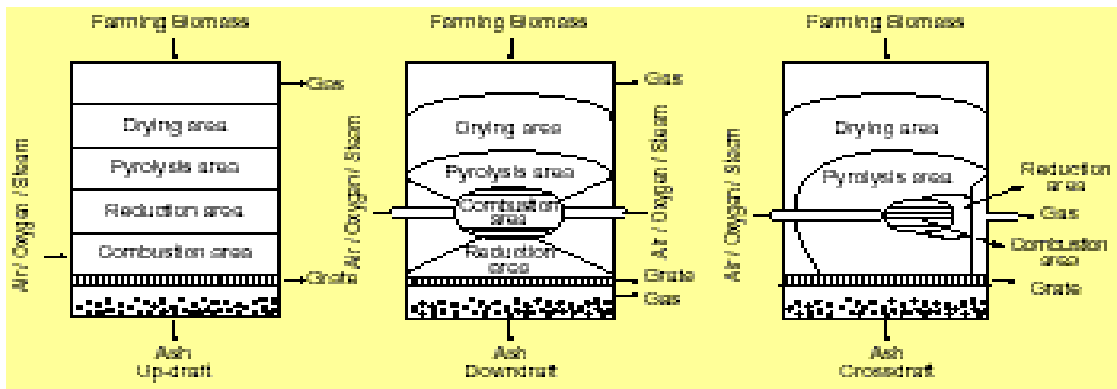


Fig. 32: Gasificadores de lecho fijo

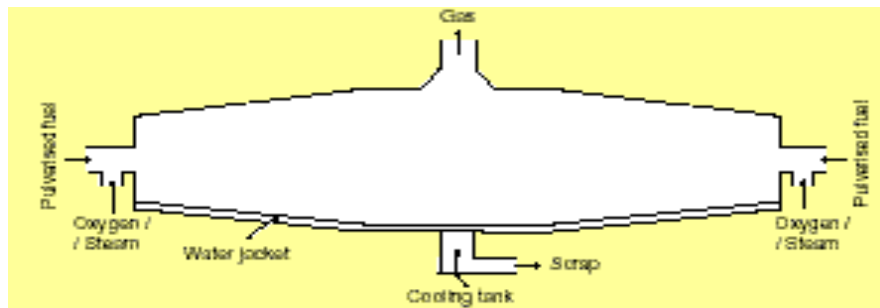


Fig. 33: Gasificadores a lecho suspendido

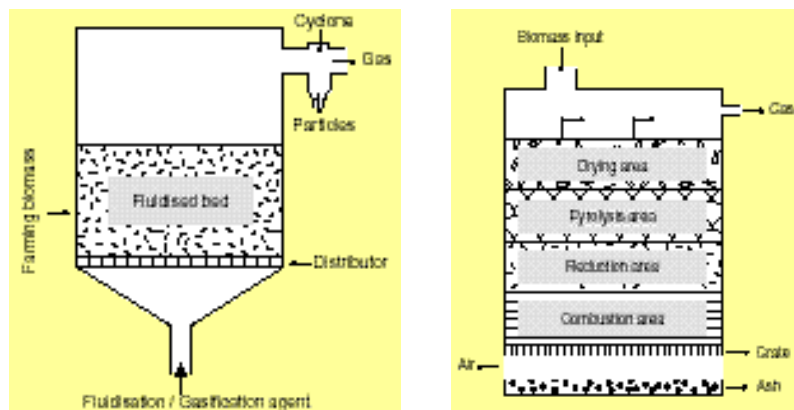


Fig. 34: Gasificadores a lecho fluido (esquema bàsic y up-draft)

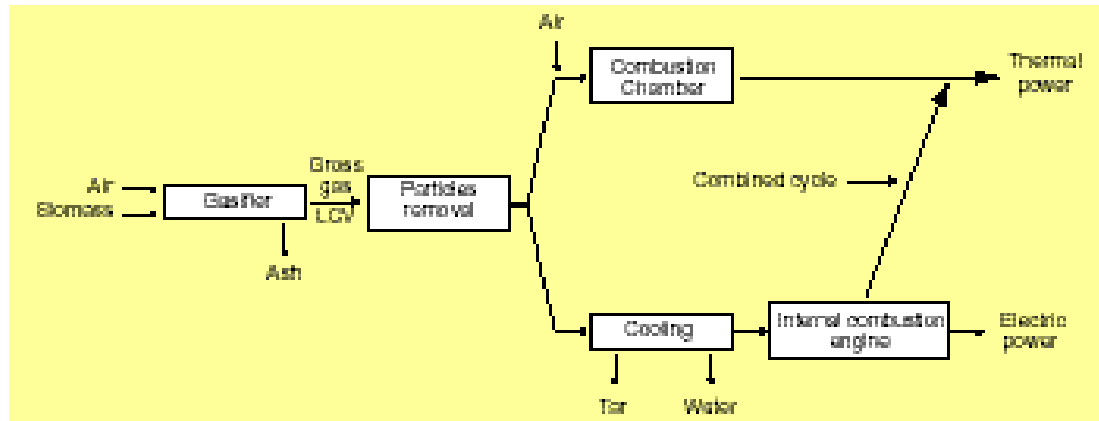


Fig. 35: Producció i aplicació de gas de baix poder calorífic ($3,5 - 7 \text{ MJ/m}^3$)

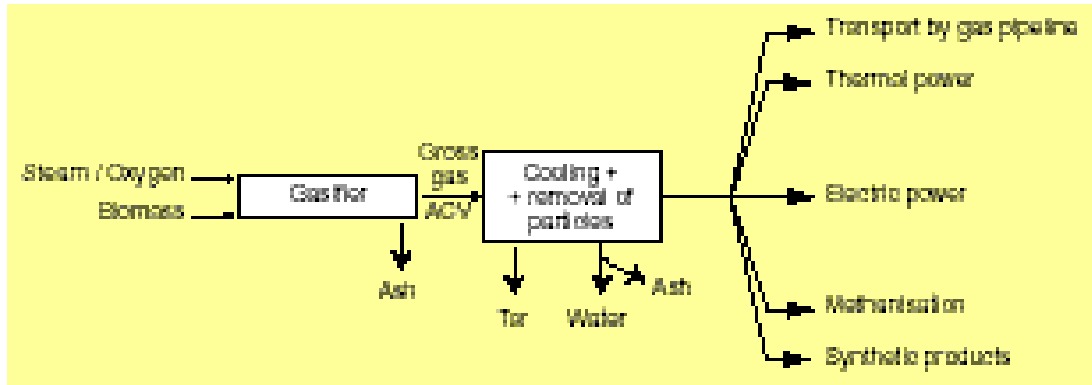


Fig. 36: Producció i aplicació de gas de poder calorífic mitjà ($9 - 15 \text{ MJ/m}^3$)

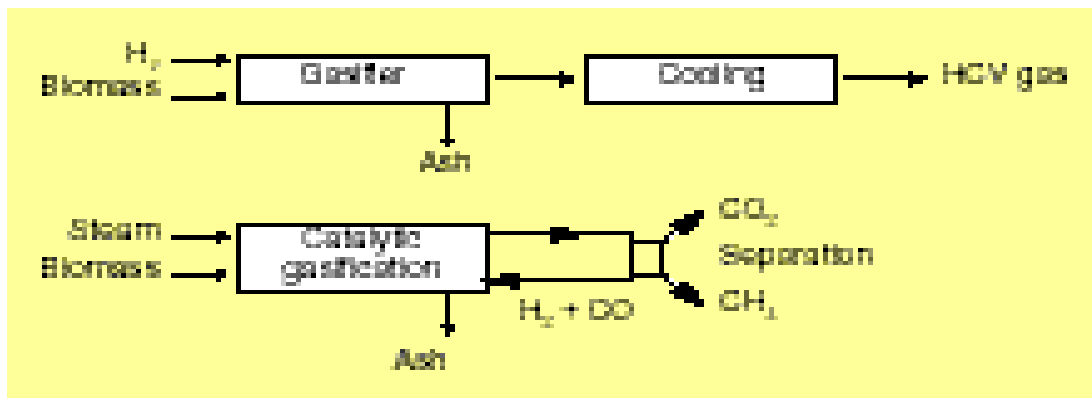


Fig. 37: Producció i aplicació de gas de alt poder calorífic ($16 - 36 \text{ MJ/m}^3$)

Como se mencionò anteriormente, la biomasa es sin lugar a dudas una fuente energètica renovable, si viene gestionada adecuadamente. Los sistemas de gasificaciòn, como sistemas de producciòn de energìa, està muy relacionado con la "producciòn limpia de energìa".

Los residuos fibrosos de la industria azucarera (bagazo y barbojo) son los recursos energéticos más versátiles disponibles (74). Puede emplearse, quemándose directamente con varias aplicaciones domésticas y en la industria, o producir vapor para generar electricidad; puede convertirse en combustible gaseoso o líquido para el uso en todos los procesos anteriores o puede convertirse en combustible para automóviles. Los beneficios económicos, sociales, y medioambientales asociados con el empleo de la biomasa constituyen una opción de energía renovable muy atractiva, sobre todo para los países en desarrollo (75).

La biomasa, es el primer recurso renovable más utilizado en Perú, variando en el tipo de acuerdo a las condiciones geográficas y la disponibilidad del recurso en la zona. Si bien la manera más eficiente de generar electricidad es utilizando biomasa residual, entonces los países que cultivan caña de azúcar y generan bagazo, tienen entre manos un recurso biomásico que se genera en grandes cantidades, pero que necesita una mayor atención.

Es por esto que debido a que la biomasa tiene una baja densidad comparado con otros combustibles convencionales, es mejor cuando viene utilizada como un recurso de uso local, mejorando las condiciones económicas existentes, ya que la energía usada está localizada prácticamente donde se generan los residuos.

6.4. El proceso de gasificación del barbojo

Se ha demostrado que la gasificación termoquímica de la biomasa es un medio eficaz para convertirla en formas más útiles de energía (76), mediante

el cual se puede producir gas combustible con varias aplicaciones posteriores, que puede incluir la generación de electricidad mediante sistemas avanzados basados en turbinas de gas o motores de combustión interna, su empleo en pilas combustible o gas de síntesis para la obtención de combustibles líquidos u otros productos químicos (77). Pero en términos de funcionamiento, la gasificación de biomasa para producción de energía, puede llegar a ser más conveniente si es utilizada en sistemas de co-generación, debido a que este tipo de planta puede producir calor y energía de manera tal que la eficiencia total alcance alrededor del 80%.

Ahora, desde el punto de vista social, sea para sistemas de gasificación y obtención de biomasa es muy positivo, si tomamos en cuenta que los costos de inversión para electrificación rural se dedican a plantas de energía centralizadas que extienden largas redes eléctricas conectadas a dichas plantas. La tecnología de la biomasa, tal como la gasificación, utiliza recursos locales que podría permitir que las áreas rurales muy pobres, puedan acceder a la electricidad producida en plantas energéticas descentralizadas. Esto brindaría la oportunidad de un desarrollo económico y social, ofreciendo mayor empleo, mejores condiciones básicas de salud y comodidad relativa a las comunidades rurales. El desarrollo sostenible rural es una necesidad para reducir la disparidad de las condiciones básicas de vida y las azucareras pueden ayudar en esto.

Estudios llevados a cabo para determinar el tipo de gasificador más adaptado a biomasa cañera, han demostrado que los gasificadores de lecho fluido garantizan tiempos de trabajo cortos en relación a gasificadores de lecho fijo, pero que permiten sobretodo utilizar biomasa con un amplio rango de granulación y de características de humedad, contenido de C, O, etc., permitiendo además el control de la temperatura y el proceso de conversión

del combustible. Esta tecnología permite obtener grandes mejoras en lo referente a eficiencia, potencia y contaminación.

6.4.1. Gasificación a calentamiento indirecto del barbojo

Entre esta tecnología, los gasificadores a calentamiento indirecto, representan la tecnología de mayor eficiencia de conversión y de aplicación (78), no solo produciendo gas de alto poder calorífico, sino que divide el proceso en una etapa de combustión y gasificación permitiendo de producir un gas con menor contenido de alquitrán y rico de hidrógeno.

Un gasificador a lecho fluido de calentamiento indirecto, consiste en dividir el lecho fluido en dos zonas, una de gasificación y otra de combustión, y se crea entre estas dos zonas la circulación del material del lecho fluido, mientras que el gas queda separado. La circulación provoca el transporte del calor de la zona de combustión hacia aquella de gasificación (Fig. 38).

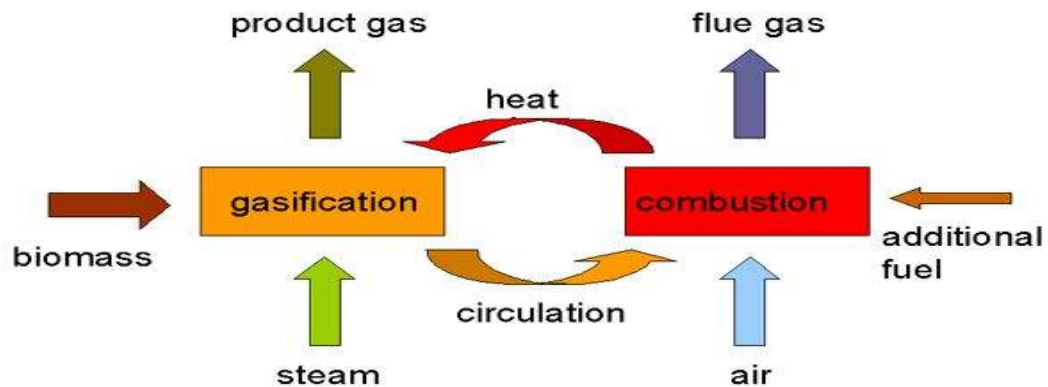


Fig. 38: Esquema general de gasificación con calentamiento indirecto

El esquema muestra que la biomasa viene alimentado junto al vapor en lecho inerte de la zona de gasificación, donde el vapor a baja presión se comporta como fluidificante. Por falta de oxígeno, la biomasa sufre un proceso de pirólisis reaccionado con el vapor y produciendo el gas requerido. El carbono

no convertido por falta de oxígeno, se quema con aire en un segundo lecho fluido recirculatorio, que conforma la zona de combustión, fluidificada con aire proveendo de este modo a la generación de calor necesario para el primer lecho. Las reacciones exotérmicas de la zona de combustión producen el calor necesario para las reacciones endotérmicas de la zona de gasificación. El gas producido (que no entra en contacto con el humo) contiene solamente el nitrógeno del combustible (no contiene aquello del aire) lo que hace que tenga un poder calorífico alto, lo mismo que el poco alquitrán, que es quemado en el reactor de la combustión. En síntesis, el lecho fluido a calentamiento indirecto es el más adaptado para producir el gas. En efecto, abastecer al gasificador del calor necesario para el proceso a través de un sistema de calor directo, significa que el proceso de combustión de los residuos sólidos carbonosos se efectúa al interno del gasificador.

6.4.2. Selección del agente oxidante

El uso del oxígeno puro como agente oxidante, hace que la gasificación sea desde el punto de vista económico, costosa; pero permitiría producir un gas con poder calorífico inferior medio del rango de 9 – 15 MJ/Nm³. Si el agente oxidante fuese aire, la operación resulta económicamente atrayente, aunque esto significa que el nitrógeno contenido en el aire diluisca el gas producido, lo que hace que tenga un poder calorífico inferior bajo de 3,5 – 7 MJ/Nm³.

Para obtener valores altos del poder calorífico inferior, del orden de 13 – 20 MJ/Nm³, es necesario realizar la operación con vapor:



esta reacción siendo endotérmica y requiere grandes cantidades de calor para llegar a temperaturas de 700 °C, cambiando de esta manera el equilibrio de la reacción a la derecha, o sea a la formación de CO y H₂.

De acuerdo a un estudio realizado de Spath e Mann (79), los mejores resultados de gasificación de biomasa en términos de composición final del gas, se obtienen a través del calor directo utilizando oxígeno y/o con sistemas de gasificación a calor indirecto utilizando vapor (Tabla 19):

Tabla 19: Composición final del gas según tipo de oxidante

Composición final del gas (%)	Sistemas de gasificación		
	Calor Indirecto (vapor)	Calor directo (aire)	Calor directo (oxígeno)
H ₂	47	9	25
CO	15	12	33
CH ₄	9	3	18
CO ₂	29	20	10
N ₂	0	56	8
VOC *	0	0	6
LHV (MJ/Nm ³)	9,65	3,40	8,64

* : componentes volátiles orgánicos

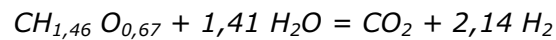
Source: Spath e Mann

La selección del tipo de gasificación, se realizará de acuerdo a factores económicos y a la calidad deseada del gas producido, que variará obviamente según sea la necesidad de aplicación.

6.4.3. Cálculo de la producción de hidrógeno de barbojo

El desarrollo de la tecnología relacionada con la conversión de los diferentes tipos de biomasa a bajo costo con mayores eficiencias de conversión es posible. Cuando residuos biomásicos de bajo costo son utilizados como combustible, el costo de la electricidad puede ser ya competitiva con los combustibles fósiles, pero nuevas opciones tecnológicas prometentes para producir electricidad se deben tener en cuenta si queremos orientarnos hacia

un desarrollo sostenible real, y esto puede ser posible si utilizamos residuos como el barbojo en la producción de hidrógeno por medio de sistemas de gasificación a calor indirecto (con vapor) o calor directo (utilizando oxígeno). A través del análisis estequiométrico de las reacciones relacionadas con el proceso termoquímico, que se pueden resumir en la reacción:



donde $CH_{1,46} O_{0,67}$ representa la fórmula global atribuida al barbojo, de acuerdo al análisis último (ver Tabla 11- Cap. IV), la cantidad teórica de hidrógeno que puede ser obtenida es de aproximadamente 173 kilogramos por tonelada de barbojo (en el caso del bagazo, la producción es de 160 kilos de hidrógeno).

El estado actual de la tecnología y de los procesos, permite alcanzar una eficiencia de conversión del 40% (equivalente al índice entre la cantidad real que se obtiene y aquella teórica), tomando en cuenta los datos del Instituto for Gas Technology y la Texaco (80). Esto quiere decir que, que actualmente es posible obtener de una tonelada de barbojo alrededor de 70 kilos de hidrógeno.

La cantidad global teórica de hidrógeno, que se puede producir en el sector azucarero peruano, empleando el total de barbojo disponible recomendado, en el sentido que se debe dejar en el campo una cierta cantidad del mismo para mantener el equilibrio del suelo. Experiencias llevadas a cabo en Cuba y Australia, han demostrado que es posible utilizar hasta un 60% de los mismos sin que se produzca una alteración del ciclo de los campos, pero para el caso peruano, hemos estimado un uso máximo del 50%. El logro del uso del 50%, se alcanzará de manera gradual, iniciándose con un 10% seguido del 25% del barbojo disponible.

Entonces la estima de producción de hidrógeno en estos tres futuros escenarios de disponibilidad de barbojo, mostrados en la figura 39 , permiten así mismo calcular la cantidad equivalente de energía eléctrica que permitiría el uso del barbojo. Se ha establecido como año de inicio el 2005, estimando que la liberación del mercado en el 2003 y la difusión de nuevas tecnologías aceleraran los tiempos de innovación en el sector.

El contenido energético del hidrógeno ha estado calculado considerando su poder calorífico inferior ($10,74 \text{ MJ/Nm}^3$) y densidad de $0,09 \text{ kg/Nm}^3$, para lo cual 1 tonelada de hidrógeno equivale a 2,86 tep.

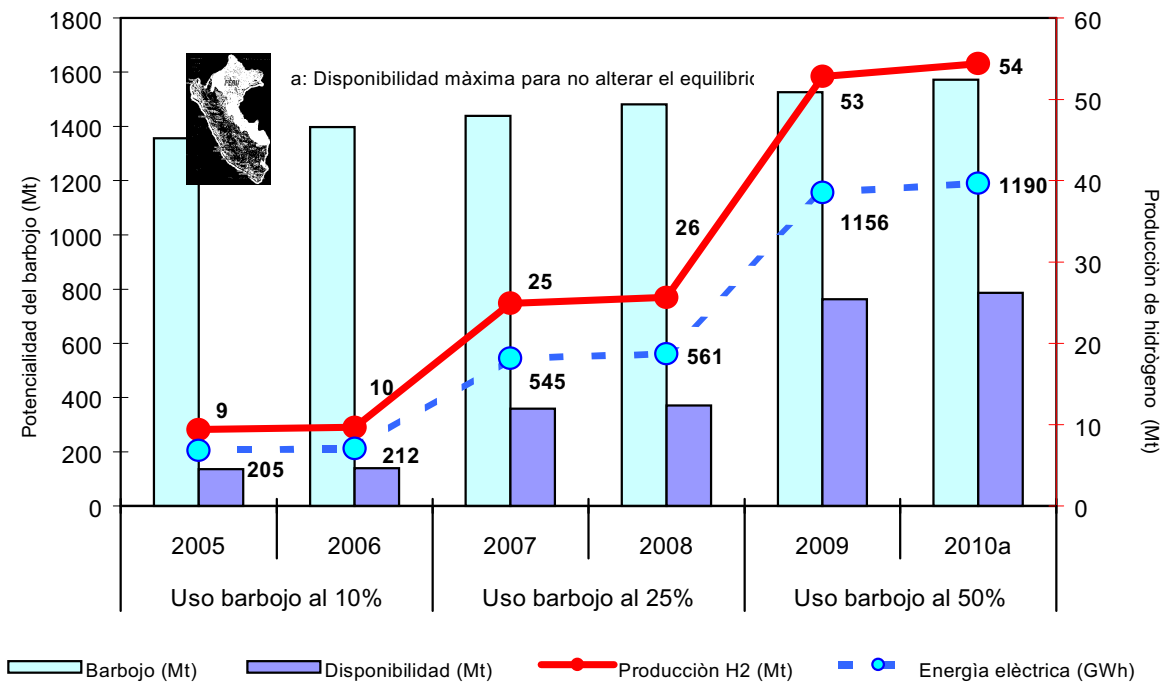


Fig. 39: Cantidad teórica de hidrógeno y energía eléctrica equivalente producible con barbojo

6.4.3.1. Utilizo del hidrògeno producido en sistemas de pilas de combustible

El sistema de gasificaciòn propuesto es seguido de una serie de pasos que utilizan tecnologìa madura, muy similar a aquella utilizada para la producciòn de hidrògeno a partir de gas natural. El gas producido en el gasificador ha sido limpiado y purificado, removiendo las partìculas y contaminantes nocivos para el sistema. El gas purificado, pasa por una serie de reacciones catalìticas, cuyo objetivo es ajustar el ìndice carbon-hidrògeno al nivel requerido del producto deseado. Estas reacciones comienzan con el reforming de los hidrocarburos, principalmente metano, en CO y H₂ a travès del vapor. El ratio o ìndice H₂:CO es entonces ajustado al nivel deseado en un reactor llamado "*water-gas shift*", donde el vapor es agregado al punto de producir un mol de hidrògeno por cada mol de CO. El gas (hidrògeno) obtenido del shift-reactor, ingresa en una unidad de "*pressure swing adsorption*" (PSA) donde todos los componentes a excepciòn del hidrògeno son adsorbidos físicamente y separados. En estos sistemas de PSA se puede recuperar hasta un 97% del hidrògeno alimentado con una pureza del orden del 99,9%. El gas rico de hidrògeno, se alimenta luego a un sistema de pilas de combustible. Las pilas de combustible, convierten combustibles hidrocarbonosos en electricidad con eficiencias mayores a la tecnologìa convencional generando emisiones extremadamente bajas.

Las pilas de combustible, a las cuales llamaremos de hoy como "*fuel cell*", presentan una mayor versatilidad de integraciòn futura en conversiones energéticas de biomasa, segùn sea el tipo de electrolito (componente fundamental de las fuel cell) utilizado, que bien pueden ser sòlidos o lìquidos, de acuerdo a las condiciones de humedad y temperatura (ver tabla 20).

Tabla 20: Características fundamentales de las pilas de combustible (Fuel Cells)

Tipo de pila	PAFC	MCFC	SOFC	PEMFC	AFC
Electrolito	Phosphoric Acid	Molten carbonate salt	Ceramic oxygen conductor	Polymer membrane	Potassium hydroxide
Anodo	Platino	Níquel	Níquel	Platino	Platino
Cátodo	Platino	Oxido níquel	Sr-La-Manganita	Platino	Platino
Temperatura	205 °C	650 °C	800 - 1000 °C	20-80 °C	65-220 °C
Combustible	H ₂ /C O ₂ /C O	H ₂ /C O ₂ /C O	H ₂ /C O ₂ /C O/CH ₄	H ₂ /C O ₂ /C O	H ₂
Reformar	Externa	Externo/Interno	Externo/Interno	Externo	Externo
Oxidante	O ₂ /Aire	C O ₂ /O ₂ /Aire	O ₂ /Aire	O ₂ /Aire	O ₂ /Aire
Material	Grafito	Níquel/acero inox	Cerámica/metal	Grafito/metal	Plástico/cerámica
Est. tecnología	Demost. (11 MW)	Demost. (3 MW)	Planta 220 kW	Sistema (5-250 kW)	Sistema (85-80 kW)
Tiempo encendido	1-4 horas	5-10 horas	5-10 horas	Minutos	Minutos
Agua residual	Evaporativa	Gaseoso	Gaseoso	Evaporativa	Evaporativa
Eficiencia	40-50%	50-60%	45-55%	40-50%	50-60%
Aplicación	Cogeneración	Cogeneración	Cogeneración	Cogeneración	Espacia/transport
Ventajas	Resistencia a CO ₂ Alta eficiencia global en aplic. Cogenerat. Tecnología madura	Disponibilidad de calor a alta T° Rendimiento elevado Posibilidad de reforming inter.	Disponibilidad de calor a alta T° Rendimiento elevado Posibilidad de reforming inter.	Electrolito no volátil No problemas de corrosión Resistencia a CO ₂ Bajo tiempo encend.	Densidad de potencia elevada
Desventajas	Baja tolerancia al CO ₂	Requerido recirculación de CO ₂ Alto tiempo encendido	Alto tiempo de encendido	Baja tolerancia de CO Problema de gestión de H ₂ O	Extrema pureza del gas de alimentación
Disponibilidad comercial	2000	> 2003	> 2005	2002-2003 (fijos) 2003-2005 (transp)	Aplicación especial
Gases					
H ₂	Combustible	Combustible	Combustible	Combustible	Combustible
CO	Nocivo (>= 0.5%)	Combustible	Combustible	Combustible	Nocivo
CH ₄	Diluyente	Diluyente	Diluyente	Diluyente	Nocivo
CO ₂ and H ₂ O	Diluyente	Diluyente	Diluyente	Diluyente	Nocivo
S	Nocivo (> 50 ppm)	Nocivo (> 0.5 ppm)	Nocivo (> 1 ppm)	n.d.	Nocivo

En la tabla 20 vemos que existen diferentes tipos de fuel cell que se diferencian por el electrolito que utilizan, de acuerdo a la temperatura a la que deben funcionar (81). De manera general, las fuel cell se dividen en pilas que trabajan a bajas temperaturas (60 – 220°C) como las AFC (alkalinas fuel cell), PEMFC (proton exchange fuel cell) y PAFC (phosphoric acid fuel cell) ; y aquellas que trabajan a altas temperaturas (600 – 1000°C) como las MCFC (molten carbonate fuel cell) y SOFC (solid oxide fuel cell).

Las fuel cell han demostrado su potencial de generar energía eléctrica con eficiencias del orden de los 35 a 60% según sea el tipo de pila, con emisiones casi nulas, ciclo de vida mayor y reducida necesidad de mantenimiento debido a la falta de componentes móviles.

El análisis de las fuel cell, permite que se haya seleccionado el tipo MCFC, debido a las siguientes características:

- uso de hidrógeno y del monóxido de carbono, mayores componentes del gas producido en la cámara de gasificación,
- reforming de los hidrocarburos aún presentes,
- uso del gas residual del ánodo como combustible en la cámara de combustión,
- uso, como gas para el cátodo, del gas saliente de la cámara de combustión (rico en CO₂),
- producción de calor a alta temperatura, que contribuye a generar vapor necesario para la cámara de gasificación y el ingenio azucarero, siendo posible su uso en turbinas de ciclo a vapor.

La generación convencional de energía, convierte la energía química de los combustibles en energía térmica por combustión, esta energía térmica es transferida a un fluido de trabajo que con la ayuda de máquinas especiales

se convierte en energía mecánica. Finalmente, un generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica.

Por el contrario en las pilas de combustible, la energía química del combustible es convertida directamente en energía eléctrica y térmica. Y es debido a esa alta eficiencia, que las pilas de combustible a la reducción de las emisiones de dióxido de carbono. Sin embargo mientras las pilas de combustible sigan siendo alimentadas por combustibles fósiles como el gas natural, no lograremos evitar las emisiones.

Existen afirmaciones que sostienen que el hidrógeno producido por electrólisis-solar permitirá que se disponga en suficientes cantidades (82). Aunque esta visión parece poco optimista si tenemos en consideración la poca participación de los sistemas fotovoltaicos en los sistemas eléctricos, aún con la participación de la energía eólica, a la cual se le atribuye una participación futura del 10 a 20% del mercado (83), no bastarán a ser las únicas fuentes renovables para generar hidrógeno. Será necesario entonces la integración de otro recurso más económico, como es el uso de biomasa y biogás.

6.4.3.2. Esquema fundamental de la planta de producción de energía eléctrica a partir del barbojo

El esquema de la planta de gasificación-fuel cell, realizado de Bocci (84), se puede representar en un esquema general básico (Fig. 40), en donde el barbojo viene convertido en energía eléctrica a través de la tecnología gasificación-fuel cell, a través de los siguientes pasos fundamentales:

- **Secado de la biomasa:** considerando que el contenido de humedad de los residuos de la caña de azúcar son del orden de los 50 a 60%, se requiere necesario que recuperando el calor de vapor de la salida de la turbina, se pueda evitar la operación de secado. Esto deriva del

hecho que, el vapor de salida de la última fase de la turbina tiene una temperatura mayor a los 100 °C y por lo tanto puede calentar la biomasa hasta una temperatura de secado óptima, evitando un mayor requerimiento de calor del proceso de combustión. De esta manera, el contenido de humedad de la biomasa puede ser utilizado por las reacciones de gasificación. Además, la dilución del gas es necesaria considerando que la fuel cell necesitan de gas diluido. La aplicación de este método, permitiría ahorrar en costos y salvar el 10% del poder calorífico del combustible.

- **Gasificación a calor indirecto** :este sistema permite obtener un gas con menos contenido de alquitran, pero con un elevado poder calorífico de manera que se crea una independencia de la calidad del gas producido y el contenido de humedad del barbojo. La división de los pasos del proceso en gasificación y combustión, permite además obtener un gas rico de hidrógeno y sin nitrógeno, ya utilizable en el ánodo de la MCFC y un gas rico de CO₂ a utilizar en el cátodo de la fuel cell.
- **Clean-up** : el gas producido en la cámara de gasificación y combustión, sufre su primera limpieza en la cámara del ciclón. Los ciclones permiten de separar rápidamente, el material inerte y las partes no reaccionadas en el gasificador por acción centrífuga. El gas continua hacia el tar-cracker, reactor donde vienen descompuestos y eliminados los hidrocarburos pesantes de la corriente gaseosa. Este sistema de condicionamiento de gas caliente viene utilizado para garantizar que el gas que será utilizado en el ánodo de la MCFC sea carente de alquitran; este sistema al contrario del scrubber que elimina el alquitran condensandolo en agua, lo separa en gases (H₂ y

CO) utilizables por el ànode de la MCFC. El gas que sale del tar cracker, lo hace a una temperatura de 450 °C, luego es filtrado a través de filtros ceràmicos, antes de ser utilizado por la fuel cell (ànode).

- **Fuel cell:** el gas limpio y filtrado viene alimentado a la MCFC (al càtodo), que permiten utilizar el gas a alta temperatura (rico en CO₂) que ha salido de los filtros ceràmicos y que a través de una transformaciòn electroquímica se obtiene energìa elèctrica. El gas de ùsalida del ànode teneindo aùn importantes cantidades de sustancias por oxidar, se constituye como el combustible necesario para la càmara de combustiòn. Se genera así un ciclo que permite de alcanzar eficiencias de conversiòn de la biomasa superior al 90%.

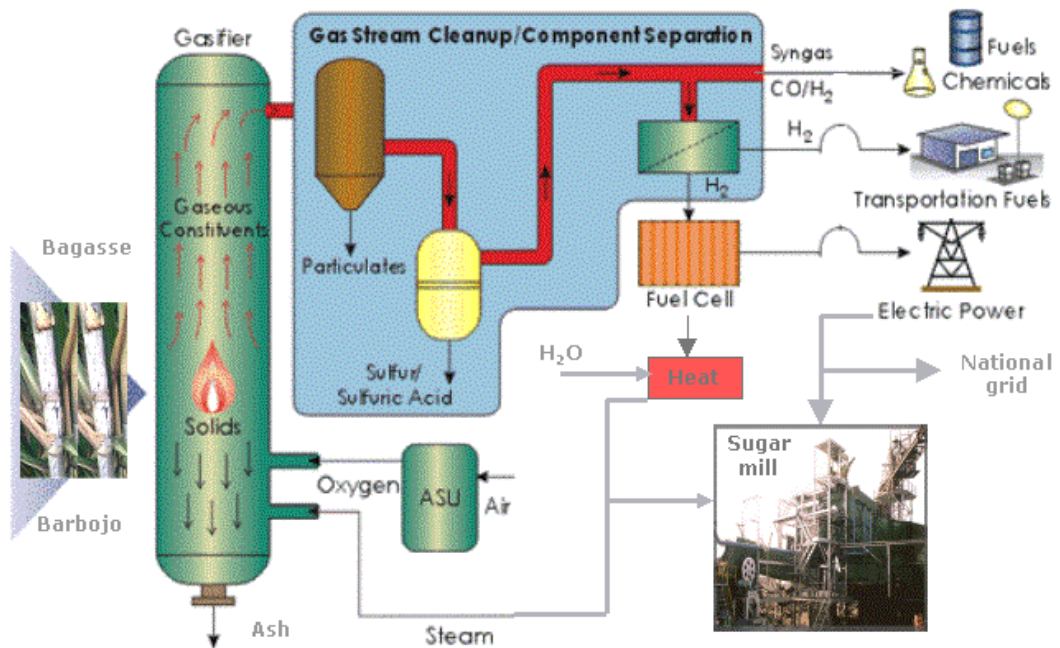


Fig. 40: Esquema bàsic de producciòn de hidrògeno de barbojo

Los datos establecidos en la figura 39, hacen referencia a la cantidad teórica de energía eléctrica que es posible obtener con el uso total del hidrógeno producido y eficiencias de 60% de las MCFC. De esto se deduce, que el indicador de conversión barbojo-energía eléctrica es que por cada Mt de barbojo se obtiene 1,5 GWh; valor que varía con los cálculos efectuados por Bocci (84) que establecen una relación de 2,6 GWh por cada Mt de barbojo, esto debido a que considera el uso de CO y la recuperación de calor y vapor. En colaboración con el Departamento de Ingeniería Ambiental de la Università degli Studi di Genova, en la persona de la Ing. Barbara Bossio y su grupo de investigación (85), han utilizado los datos iniciales de esta investigación en Perú, en un Modelo de Simulación de MCFC (ASPEN PLUS) realizado por la Universidad de Génova y Ansaldo Fuel Cells, han determinado que utilizando el 75% del hidrógeno obtenido del proceso de gasificación con un rendimiento de la fuel cell del 45%, el índice de conversión es de 0,65 GWh por cada Mt de barbojo.

Es necesario tener presente que este resultado es con uso del 75% del hidrógeno, el grupo de Génova ha hipotizado que el resto del combustible (25%) sea utilizado con tecnología tradicional de producción de energía, a fin de producir energía eléctrica adicional. En el corto-mediano plazo para aquellos países en vías de desarrollo los sistemas de gasificación-fuel cell aprovechando el hidrógeno que puede ser obtenido de la biomasa a través de un proceso termoquímico, representan una buena oportunidad en la lucha contra el calentamiento global, dado que es mínima la emisión que generan. Además de crear nuevas oportunidades de trabajo, mayor valor agregado a las actividades rurales, pero sobre todo generando desarrollo sostenible.

6.4.4. Propuesta energética para la Empresa Casa Grande en Perú

El desarrollo de la investigación realizada en campos de la Empresa Azucarera Casa Grande, ubicada al norte del país, ha permitido en cierta manera poder acceder a una descripción cuantitativa de la planta, con datos referidos a 1999. De los datos obtenidos, vemos que el recurso energético primario utilizado como combustible para las calderas son bagazo y combustible fósil. Estos recursos son utilizados para la generación de vapor, que es producido en los calderos, siendo utilizado en parte para las exigencias de la planta y en parte para la producción de energía eléctrica necesaria para el ingenio (Fig. 41). La figura muestra que el uso del combustible fósil es indispensable para el encendido de los calderos y viene por lo tanto utilizado

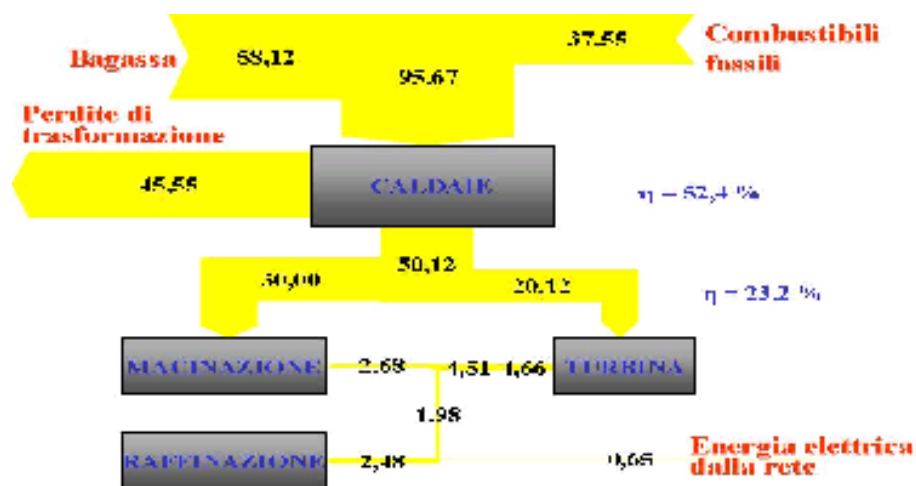


Fig. 41: Flujo cuantitativo de la planta Casa Grande

con el bagazo producen el vapor necesario de la planta. El vapor producido, alrededor de 50,12 ktep, es utilizado como calor de proceso en la etapa del trapiche (30 ktep), enviando el resto a las turbinas para la producción de electricidad, que luego será re-utilizada en la molienda y refinación del

azúcar. Pero la energía eléctrica generada no basta a satisfacer la total necesidad de energía del ingenio, debido en gran parte a las pérdidas de transformación y distribución, lo que obliga a adquirir energía eléctrica del servicio interconectado centro-norte (SICN). El flujo hace notar que la eficiencia de la planta de transformación del bagazo en energía térmica es del 50%, mientras que los datos de eficiencia en Brasil alcanza el 85% utilizando el mismo tipo de materia prima.

Los datos obtenidos del flujo de la planta de Casa Grande, sirvieron de base para el desarrollo de la tesis de titulación profesional de E. Bocci (84), quien esbozó el dimensionamiento más detallado de la planta, del cual tomamos en este capítulo los datos más relevantes a fines demostrativos. Del flujo anterior (Fig. 41) se puede obtener la cantidad de biomasa, vapor y electricidad necesaria para la planta, que se estimó en un promedio de 71,4 t/h de barbojo y para lo cual el sistema propuesto deberá producir 90 t/h de vapor y 14 MW de energía eléctrica para poder satisfacer las exigencias. El rendimiento cogenerativo del ingenio es de 36,5% y la eficiencia eléctrica del orden del 0,05%, lo cual es normal si se piensa que casi siempre estos tipos de plantas han sido diseñados para obtener energía eléctrica del adicional de vapor, motivo por el cual la conversión del combustible alimentado en vapor es de 52,4% y del vapor a energía eléctrica de 23,2%. Hoy en día las nuevas plantas generan excedentes de electricidad que viene integrada a la red nacional, aunque si tales excedentes son siempre menores a lo que podría obtenerse gasificando la biomasa cañera en nuevos sistemas de generación como las pilas a combustible (fuel cell). Los datos del flujo de energía de Casa Grande mostrados en la figura 41, junto a los datos mostrados en la tabla 21, se han obtenido los datos de máxima para el sistema propuesto (gasificación-fuel cell), por ejemplo, en el caso de los combustibles fósiles, el

valor de 37,55ktep ha estado obtenido de la siguiente manera: los 10,7 millones de galones de bunker utilizados corresponden a 48,6 millones de litros que multiplicados por la densidad media del combustible 80,75 (kg/l), corresponden a 36,45 millones de kg; considerando un PCI medio de 10000 kcal/kg se obtiene un contenido energético de 37,55 ktep.

Tabla 21: Datos energéticos de la planta de Casa Grande (Perù)

Producción / Consumo	Valor
Diesel (transporte) (galones)	972.342
Bunker (galones)	10.729.244
Gasolina (galones)	76.948
Producción Energía eléctrica (MWh)	60.559
<i>Consumo industrial</i>	31.186,509
<i>Consumo agrícola</i>	9.074,487
<i>Consumo por servicios</i>	17.422,445
<i>Pérdidas en la red</i>	2.000,373
Producción de bagazo (toneladas)	459.618,361
<i>Uso en calderos (toneladas)</i>	387.442,887
<i>Bagazo vendido (toneladas)</i>	72.175,474
Producción de vapor (400°C; 31 bar) en Mcal	501.208
<i>01 caldero (bunker) (t/h de vapor a 31 atm)</i>	120,0
<i>02 caldero (bagazo) (t/h de vapor a 31 atm)</i>	60,0
<i>09 calderos</i>	non funcionan
Potencia total de turbinas (MW)	18,0
<i>01 turbina (MW)</i>	6,5
<i>02 turbinas (MW)</i>	4,0
<i>01 turbina (MW)</i>	3,5

Del esquema general elaborado en el punto 6.4.3.2 (Fig. 40), se pasa a un diseño más analítico, de donde parte el barbojo con un contenido de

humedad media del 50% y un poder calorífico medio de 18 MJ/kg obteniendo de esta manera una cantidad de biomasa seca del orden de 35 t/h y una cantidad equivalente de energía alimentada de 350 MW. Los secadores de la biomasa operaran a temperaturas de 95°C y la cámara de gasificación a 800°C con presión atmosférica. La biomasa rápidamente pirolisada, se gasificará parcialmente con el vapor extraído del segundo estado de la turbina de vapor y calentado a 600°C.

El calor necesario para el proceso de gasificación se produce en la cámara de combustión. El alquitrán no reactante junto al material del lecho, se separa del gas producido en el primer ciclón, cayendo por gravedad en la cámara de combustión. Luego del paso por el ciclón, el gas producido a través del segundo calentador, eleva la temperatura del vapor de fluidización hasta 600°C y entra en el track cracker. El material del lecho del gasificador, se comporta como un catalizador, separando los hidrocarburos que componen el alquitrán. El gas saliente del tar cracker, antes de ser integrado al ánodo de la MCFC es limpiado con el primer filtro cerámico y comprimido para equilibrar la pérdida de presión del sistema. En el ánodo de la MCFC el 80% del gas es oxidado en la reacción electroquímica del ánodo. El calor generado por la reacción de las MCFC y de la irreversibilidad del proceso, provoca un aumento de la temperatura del gas de 450 a 700°C.

Dentro del mecanismo de la MCFC, el gas saliente del ánodo de la pila, pasa junto con una cantidad de aire a la cámara de combustión que trabaja a 940°C, en donde la parte no oxidada se quema junto al alquitrán no reaccionado (que proviene de la cámara de gasificación) para calentar el lecho fluido. El gas que sale de la cámara de combustión, se separa del

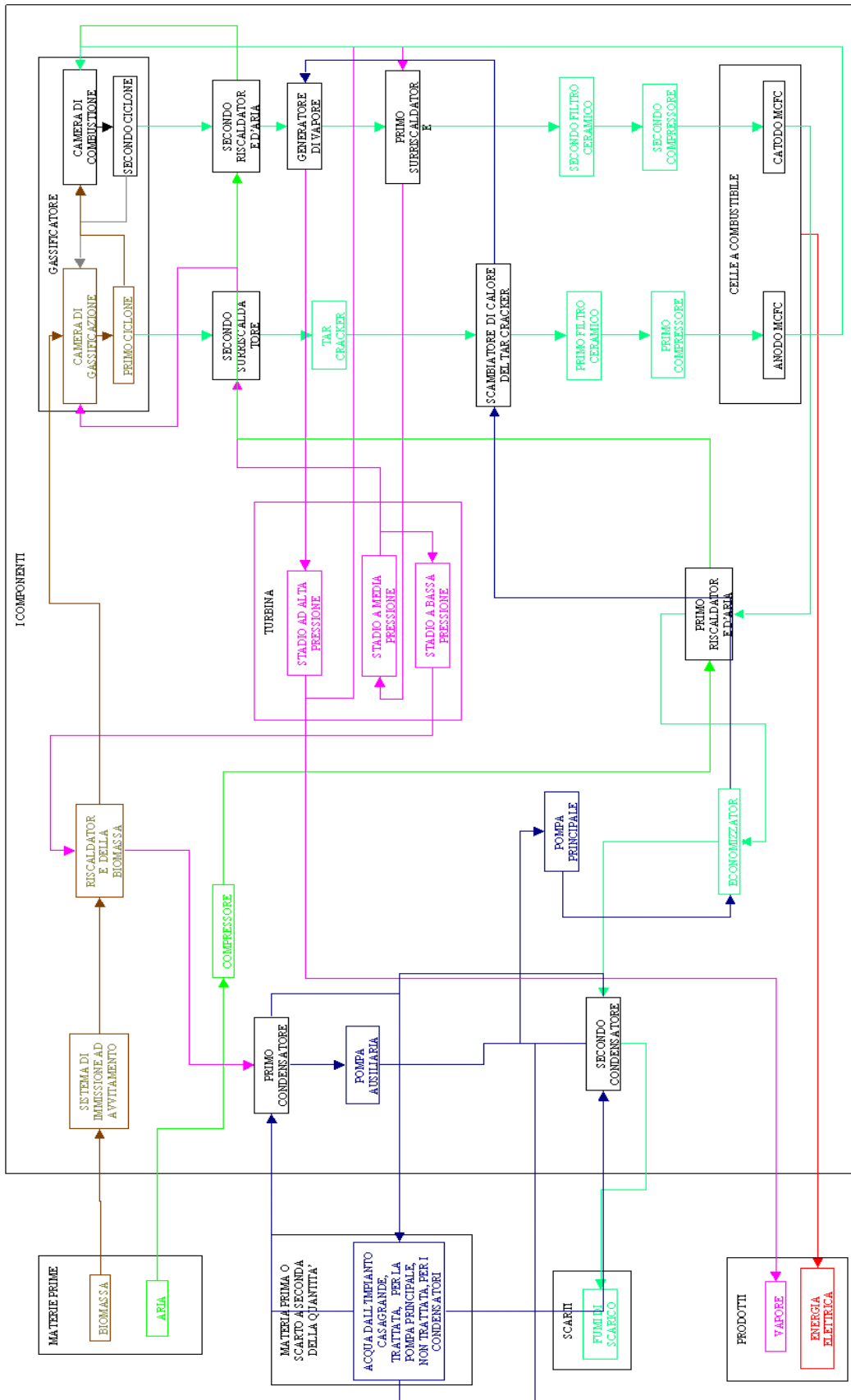


Fig. 42. Esquema de planta energética propuesta para Casa Grande

material del lecho a través del segundo ciclón. El calor del gas saliente del ciclón se utiliza para calentar el aire de combustión a 720°C en el segundo calentador para generar el vapor a 630°C de temperatura requerido en la turbina de vapor a alta presión; así como para calentar el vapor a 500°C en el segundo estado de la turbina. Por lo tanto, el gas que se ha enfriado hasta 450°C se limpia en el segundo filtro cerámico y se comprime nuevamente antes de ser ingresado en el cátodo de la MCFC (se debe llevar a una temperatura de 700°C).

6.4.4.1. Ventajas y desventajas del sistema propuesto

Dentro de las principales ventajas técnicas y económicas, se tiene:

- producción de electricidad adicional que se puede vender a la red nacional,
- satisfacer la necesidad energética del ingenio azucarero,
- disminución de la contaminación e ahorro futuro en los costos de tratamiento de residuos,
- uso de un residuo de la caña de azúcar con buenas propiedades energéticas,
- reducción de la dependencia de los combustibles fósiles,
- posibilidad de diversificación de la empresa azucarera,
- generación de mayores puestos de trabajo,
- mejoras en la calidad de vida de las personas de la región,
- posicionamiento del hidrógeno como vector energético,
- mayor desarrollo y extensión del uso de las fuentes energéticas renovables,
- aprovechamiento de los recursos locales,
- posibilidad de extender la experiencia del sector azucarero a otras actividades agroindustriales de la región.

Las desventajas que se presentan en este sistema, son:

- utilización de un recurso biomásico sólido, que representa una gestión a veces complicada,
- proceso de gasificación que requiere una mayor atención,
- las altas temperaturas que comporta trabajar con hidrógeno puede generar problemas con los intercambiadores de calor, filtros y compresores,
- inversión y costos de mantenimiento altos, por ser una tecnología nueva,

6.4.5. Consideraciones económicas estimadas

Una planta de estas características, representa un costo de inversión de 978 euro/kW y con un costo de 0,05 euro/kWh, que de cierta manera representa un costo bajo en comparación a plantas de similar dimensión (86,87,88).

El costo de la mano de obra, sea operativa o administrativa, se ha estimado en 162 euro/kW (84,86) o un equivalente promedio de 0,045 euro, teniendo en cuenta una vida útil de la planta de 30 años y un ejercicio medio de 3000 horas y un porcentaje de descuento de 6% (84).

Estos resultados se han obtenido partiendo de la cantidad de biomasa disponible, de la cantidad de gas producido por el gasificador, teniendo en cuenta variables, como la temperatura y presión del gas y vapor necesario del ingenio azucarero.

Obviamente, que es necesario una mayor profundización con cálculos más detallados en cuanto a la tecnología existente y los costos que se prevén en el corto y mediano plazo.

CAPITULO VII

EL SECTOR AZUCARERO PERUANO Y EL PROTOCOLO DE KYOTO

7.1. Introducció

El cambio climático presenta dos alternativas para el Perú: o es una amenaza por los riesgos que implica, o una oportunidad para contribuir al desarrollo económico en el marco de la sustentabilidad.

En diciembre de 1997, 158 países firmaron el Protocolo de Kyoto, bajo el cual 38 naciones industrializadas se comprometieron a reducir las emisiones de seis gases en un 5,2% para el período 2008-2012, y a los países en vías de desarrollo (PVD) no les asignaron compromisos obligatorios de reducción, pero podrán participar como elementos de los mecanismos de flexibilización para facilitar el cumplimiento de las reducciones acordadas.

Estos mecanismo flexible a los que se les puede denominar, « instrumentos financieros » intentan garantizar una paridad entre los beneficios y los costos marginales de mitigación, o por lo menos, minimizar los costos del esfuerzo global de reducción. Los mecanismos son : la *Comercialización de Emisiones* (Art.17) y la *Implementación Conjunta* (Art.6), ambos aplicables entre países industrializados que cuentan con compromisos obligatorios de mitigación. En segundo lugar, el *Mecanismo de Desarrollo Limpio* (MDL - Art. 12) es el único en el que pueden participar los países en desarrollo (89).

7.1.1. El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

El *Mecanismo de Desarrollo Limpio*, establecido en el Protocolo de Kioto de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, promueve la inversión en proyectos que reduzcan las emisiones de gases de efecto invernadero y a la vez fomentan el desarrollo sostenible en los países en desarrollo (90). Se estima que los proyectos de MDL implementados por los países en desarrollo (que no pertenecen al Anexo I) ganarán certificados de reducción de emisiones (CRE) que los países industrializados (del Anexo I) podrán utilizar para el cumplimiento de futuras obligaciones de reducción de emisiones en virtud del

Protocolo de Kioto. El MDL es el único elemento del tratado que establece un puente entre los mundos en desarrollo e industrializado. Los países industrializados ven el MDL como una fuente potencial de créditos de emisiones de bajo costo, mientras que los países en desarrollo esperan que dicho mecanismo pueda atraer inversiones adicionales para promover un desarrollo más rápido y más sostenible. Además, el MDL ha atraído el interés del sector privado, tanto en los países industrializados como en los países en desarrollo. A diferencia de otros mecanismos financieros creados por tratados u organizaciones internacionales, se estima que el MDL generare financiamiento proveniente principalmente de fuentes del sector privado y no de fuentes gubernamentales (91).

7.2. El papel de la caña de azúcar en el MDL

La substitucìon de los combustibles fòsiles con biomasa cañera es seguramente una de las respuestas màs factibles para mitigar el efecto serra, debido a la consideraciòn inicial : la combustiòn de biomasa no implica un aumento en la CO₂ atmosfèrica. El cultivo de la caña de azùcar es una de las principales actividades del Perú y de muchos países en vías de desarrollo (Fig. 43) y la biomasa residual objetivo de nuestro estudio, a la cual se ha denominado barbojo, es un recurso ampliamente disponible y representa un recurso limpio y renovable, que hoy en día viene quemado abiertamente por razones de « economìa » y tradiciòn.

Como ha estado demostrado, el barbojo puede ser convertido a través de tecnologia limpia en un combustible gaseoso y de esta manera substituir cuotas de combustible fòsiles en la generaciòn de energia.

No es el objetivo fundamental de esta tesis, analizar al detalle los mecanismos de flexibilidad para reducir las emisiones de gases de efecto serra, sino a fines didàcticos de mostrar la gran potencialidad que se presenta al sector azucarero Peruano y de todos en general.



Fig. 43: Cultivo de caña de azúcar a nivel mundial

Es més, el *Center for Sustainable Development in the Americas* (92), en octubre del 2000 preparò un informe en donde se presenta una lista de posibles proyectos a ser llevados a cabo en Amèrica Latina, dentro del acuerdo a la política del MDL, con la salvedad que los proyectos relacionados a la forestaciòn, aùn es motivo de discusiòn en los organismos, para ser considerado candidatos al MDL. Los proyectos que se relacionan directa e indirectamente con el objetivo de esta tesis, son subrayados:

Sector energètico:

- Reemplazo de ciclos abiertos por ciclos combinados.
- Reemplazo de combustibles fòsiles por otros menos contaminantes.
- Incremento de fuentes renovables de energìa.
- Incorporaciòn de procesos productivos mäs eficientes en el uso de energìa.

Sector combustibles:

- Disminuciòn de fugas en la extracciòn y transporte de gas natural.
- Eficiencia en el bombeo de oleoductos.
- Reinyecciòn de CO₂.

Sector transporte:

- Mayor utilización de combustibles menos contaminantes.
- Incorporación de medios de transporte menos contaminantes

Sector cemento:

- Reversión del proceso húmedo al seco.

Sector basurales:

- Captura de CH₄ en depósitos de basura.
- Plantas de desechos sólidos.

Sector agrícola:

- Disminución en la emisión de metano en rumiantes y cultivos de arroz.
- [Cambios en el uso de la tierra para secuestrar carbono \(reforestación, recuperación de desiertos\).](#)
- Medidas de conservación en sumideros naturales (bosques).
- [Reducción y eliminación de la quema de residuos.](#)

Sector forestación (está en discusión):

- Forestación (regeneración natural).
- Reforestación.
- Disminución de la deforestación.
- Conservación.

En los puntos subrayados, el papel que puede desempeñar el cultivo sostenible de la caña de azúcar es fundamental y no solo se centra en el aspecto energético, sino en el impacto que puede generar en el ambiente y en la sociedad.

7.2.1. Oportunidades para las empresas locales

- La comercialización de las emisiones y de proyectos basados en el MDL, ayudarán a que los proyectos sean económicamente viables.
- Los proyectos de biomasa, son los proyectos más adecuados sobre todo para países en donde existe una disponibilidad natural de residuos, y

esto hace que los proyectos sean competitivos en comparación con otros recursos renovables.

- Los proyectos a ser integrados en empresas ya existentes son favorecidos por la simplificación del procedimiento.
- Aún si el impacto económico directo es bajo, los proyectos de biomasa con gran impacto ambiental, muestran el rol decisivo de los recursos renovables en un futuro energético sostenible.
- Proyectos de biomasa cañera, proveerá importantes beneficios sociales bajo la forma de: oportunidades de empleo en sectores rurales de bajos ingresos, de manera particular en los cultivadores de caña externos a las empresa azucareras. Si tomamos en cuenta el dato del Ministerio de Agricultura y la Dirección General de Producción Agraria (Fig. 44), podemos apreciar que del total de superficie cosechada de caña de azúcar en el 2000, el 32% del área cosechada en el país se encuentra en posesión de sembradores individuales (que representa un promedio de 3.000 productores, con bajo nivel de organización).

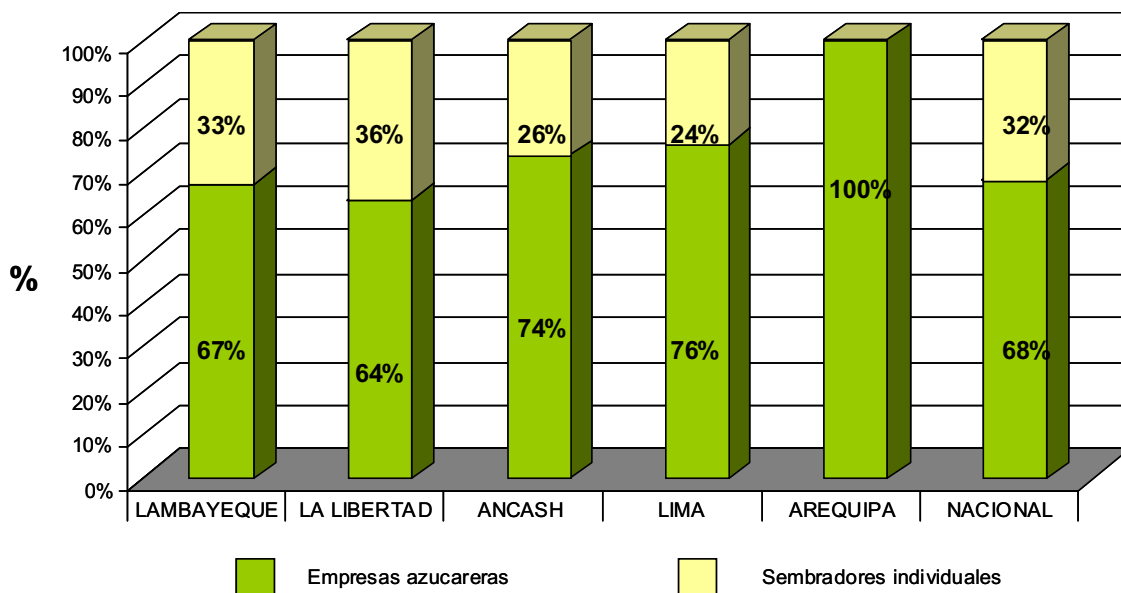


Fig.44: Superficie cosechada de caña según procedencia(%) en el 2000

7.2.2. Tendencias locales y opciones hacia el MDL

El crecimiento de la inversión en energía es manejado por el crecimiento continuo de la demanda energética y el futuro que se presenta al Perú, estaría relacionado con los combustibles fósiles, siempre que no se tomen medidas agresivas. Seguiremos en la cadena de la importación de petróleo y derivados y si bien en el próximo año se espera una "transición" a combustible fósiles más limpios como el gas natural, al final siempre será una nueva fuente de emisión contaminante.

Las opciones de la energía solar y eólica, asoman en el balance energético nacional con cierto retraso, por la falta de experiencia y el costo mismo de la tecnología, en cambio la electricidad de biomasa ya está establecida en el país a través de los ingenios azucareros y el uso del bagazo. Incrementando las facilidades y la inversión tecnológica en este sector, puede ayudar a evitar y reducir el uso de combustibles fósiles con beneficios locales y en la suma de las partes, el beneficio global.

Por ejemplo, durante 1999 (Fig. 45), se muestra la gran dependencia en la generación de electricidad de energía térmica en base a combustible fósiles, sobretodo en la región costera y específicamente en los departamentos donde están ubicados los ingenios azucareros, y donde la potencialidad de disponibilidad de energía solar y eólica muestra los mejores índices del país, donde las miles de hectáreas de campos de caña vienen quemados abiertamente durante la época de cosechas. Como un caso especial podemos considerar el departamento de Tumbes en la frontera norte con el Ecuador, que tiene una dependencia total (100%) de combustible fósil (sistema térmico), pero sin embargo el gobierno Peruano vende energía eléctrica al sistema ecuatoriano de las centrales hidroeléctricas.

Una de las estrategias más importantes del sector azucarero es utilizar sus residuos para producir energía o nuevos vectores de energía. En este caso, si asumimos que el barbojo tiene un costo casi nulo, por ser un producto que

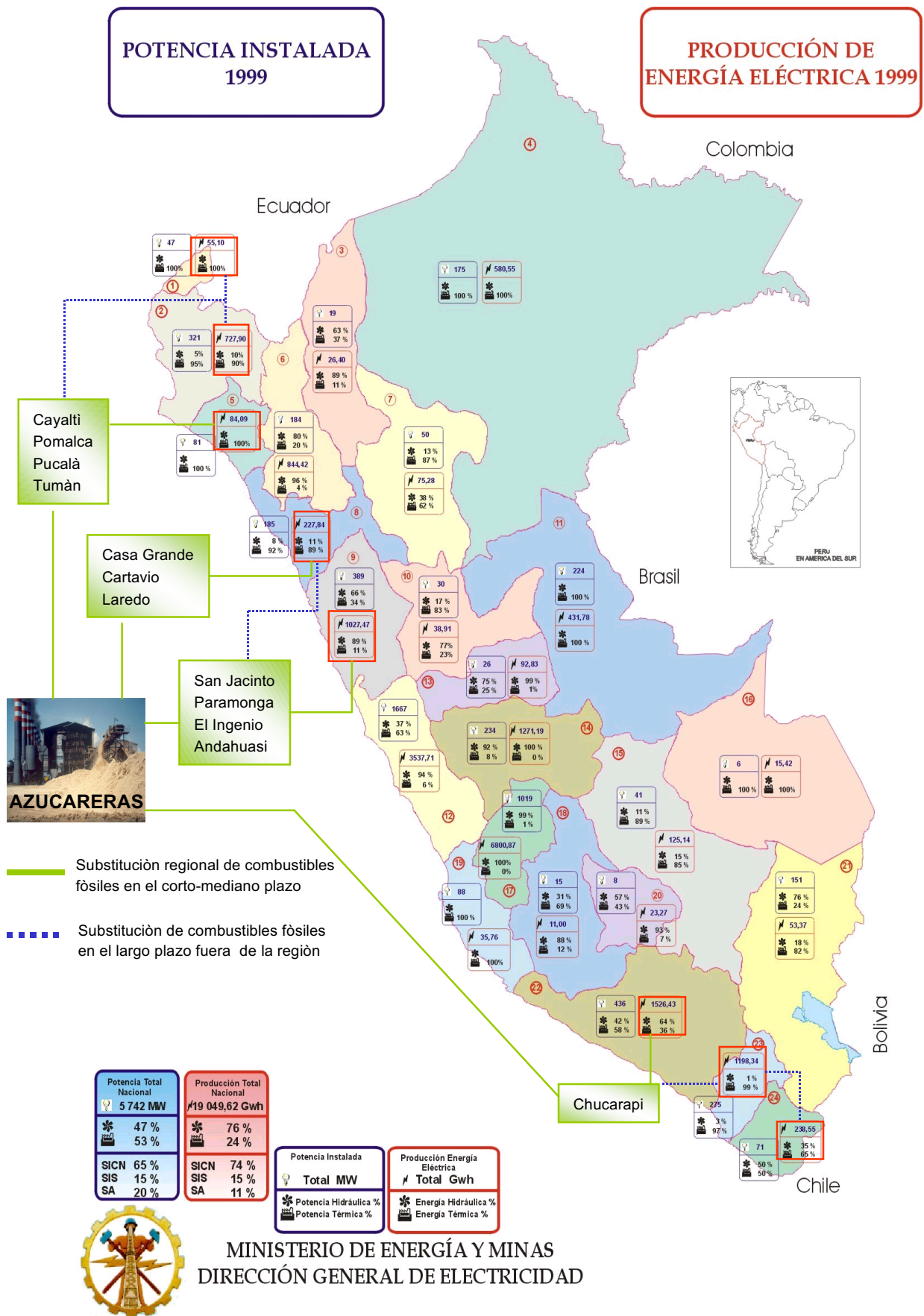


Fig. 45: Producción de energía eléctrica en base a energía hidráulica y térmica (petróleo) y la posibilidad de sustitución con energía a partir de la caña de azúcar

viene normalmente eliminado con la combustión abierta, su utilización va a reducir los costos de producción.

A esta característica se suma, la gran dimensión social que representa el uso de este recurso biomásico que tanta falta hace en los PVD. La investigación ha demostrado la gran potencialidad social-energética-ambiental-económica que significa el barbojo en nuevos sistemas energéticos, que pueden encuadrar dentro de las alternativas posibles mostradas anteriormente.

Las opciones presentadas por la CONAM (*Comisión Nacional del Medio Ambiente*), dentro de la *Agenda Ambiental Nacional 2002 (93)* ha establecido una relación preliminar de proyectos de MDL (tabla 22), en la cual han estimado las reducciones de CO₂ así como la posible inversión de cada uno. La figura 46 muestra las expectativas de "ahorro" de CO₂ que se espera lograr hacia el año 2010 en los sectores energía, industria, residuos y transporte. Siendo la mayor expectativa apoyada en el uso del gas de Camisea, la planta hidroeléctrica de Arequipa y Huanza, la eficiencia de los calderos del sector industrial y la reforestación con cultivos de uso industrial.

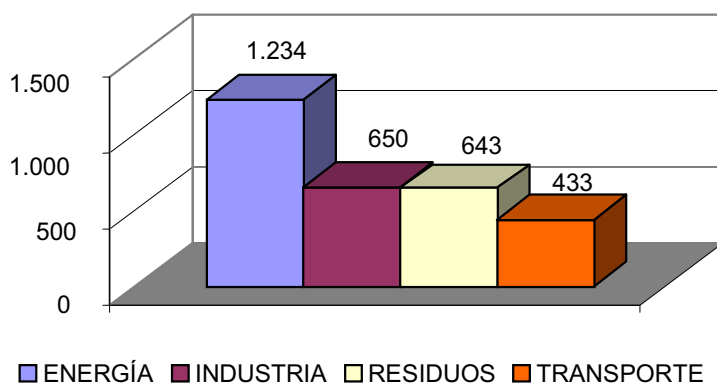


Fig. 46: Expectativas de ahorro de CO₂ (Gg) en sectores productivos

Tabla 22: Portafolio preliminar de proyectos CDM

Item	Number	Project	Expected GHG reduction Ton/CO2/year	%	Investment in US\$ thousands	%	Brief description of the project
ENERGÍA	01	Lay Down of north Peruvian Pipeline within the Trans Andean Tunnel of the Osmos Hydroelectric Project	25.677	0,8%	44.200	2,4%	Reduction of combustible consume, energy efficiency
	02	Additional Demand for the Carrisaca Gas	190.000	6,1%	115.000	6,1%	Extension of gas network. Demand: Doe Run y Cemento Andino
	03	Isolated Schemes Electricity for Rural Towns	30.000	1,0%	30.000	1,6%	Rural electrification, MEM
	04	Wind Farm in Malabrigo (Chicama)	4.000	0,1%	10.000	0,5%	Renewable energy. Reduction, it depends if is connected to the GRID
	05	Hydroelectric plant **	50.000	1,6%	75.856	4,0%	Additional energy to the system. Fuel substitution
	06	Hydroelectric plant (Arequipa)**	200.000	6,5%	42.000	2,2%	Additional energy to the system. Fuel substitution
	07	Installation of a 20MW Bagass Plant for Electricity Generation	70.400	2,3%	4.000	0,2%	Oil Substitution
	08	Production of CO2 for the National Industry	25.000	0,8%	5.000	0,3%	Substitution of CO2 produced by separation process of gas
	09	Hydroelectric Plant for mining Company	25.000	0,8%	10.000	0,5%	Fuel substitution for center mines
	10	Implementation of Gas Plant for Electricity generation (LLO)	200.000	6,5%	100.000	5,3%	Improvement in the industrial process of the firm
	11	Hydroelectric Central	30.000	1,0%	30.013	1,6%	Two centrals. Fuel substitution
	12	Huanza hydroelectric plant	220.000	7,1%	98.900	5,3%	Fuel substitution. New central
	13	Hydroelectric plant	70.000	2,3%	14.000	0,7%	Fuel substitution. Connection to national grid.
	14	Prescindir de la Estación de Bombeo	26.000	0,8%	44.200	2,4%	Prescindir Estación de Bombeo eliminando el consumo de diesel 2
	15	Hydroelectric plant	67.450	2,2%	8.900	0,5%	New central, connect to national grid.
SUB TOTAL DEL SECTOR ENERGÍA			1.233.527	39,8%	632.069		
INDUSTRIA	16	Energy Efficiency and Fuel Substitution in Industrial Processes	24.000	0,8%	1.650	0,1%	Improvement in the industrial process of the firm
	17	Increase Percentage of Puzzolan in Blended Cements	68.000	2,2%	6.000	0,3%	Increase % puzzolana in cement by dinker
	18	Methane Gas Re injection in Talara	295.000	9,5%	4.100	0,2%	Improvement in the industrial process
	19	Conveyor Belt for Carbon, Clinker and Cement Between production plant and the Dock of Conchan	1.600	0,1%	30.000	1,6%	Insures and cement transport to Conchan
	20	Cable Rail to Transport Limestone from the Quary	3.190	0,1%	24.000	1,3%	Replacement of 30 trucks. Energy efficiency
	21	Energy Efficiency in Huarmey Plant	1.360	0,0%	**		Improvement in the use of fuel in process
	22	Energy Efficiency in Chancay Plant	2.000	0,1%	**		Improvement in the use of fuel in process
	23	Fuel substitution	5.000	0,2%	1.000	0,1%	Fuel substitution
	24	Fuel switch and change from direct to indirect drying in fishing plants at Elson	49.600	1,6%	**		Improvement in the industrial process and fuel substitution
	25	Boilers in the sector industry	200.000	6,5%	**		Fuel substitution
SUB TOTAL DEL SECTOR INDUSTRIAL			649.750	21,0%			
REFORESTACIÓN	26	Reforestation for industrial purposes (ADEFOR)	*	*	3.000	0,2%	Condobamba valley of Cajamarca
	27	Pallasca and Cabana Ecourism, agro-forestry development programme	*	*	470	0,0%	Promotion of sustainable development
	28	Reforestation Project for Carpentry	*	*	10.000	0,5%	Ensure supply of forestry insures, La Poderosa mine, La Libertad
	29	Reforestation for the Paper Industry	*	*	10.000	0,5%	Ensure supply of insures, 2000 Ha, QUIMPAC Group
	30	Reforestation with Local Species for Industrial Purposes	137.000	*	1.000	0,1%	Ensure supply of insures, 2000 Ha, Amazonic Enterprise Group
	31	Reforestation of Degraded Land for Industrial Purposes	*	*	25.000	1,3%	Reforestation for industrial purposes of 50, 000 Ha in poverty areas
	32	Reforestation in arid lands for the paper industry (CTAR Ica)	*	*	1.500	0,1%	Reforestation of 3, 000 Ha in Ica, with eucalyptus for the paper industry.
	33	Reforestation with eucalyptus for the paper industry	*	*	130	0,0%	Reforestation of 130 Ha degraded land for industrial purposes.
	34	Reforestation of degraded land in the amazon rain forest	*	*	60	0,0%	Reforestation of 110 Ha degraded land
	35	Energy forestry for bio-fuel	**	*	400.000	21,3%	Provide bio-fuel and develop agri-business in the coca region
	36	Reforestation in the upper lands	**	*	**		Reforestation of 4 million Hectares in watersheds and micro-watersheds.
SUB TOTAL DEL SECTOR REFORESTACIÓN			137.000	4,4%			
RESIDUOS	37	Waste, Cajamarca	53.118	1,7%	1.500	0,1%	Methane gas recollection by waste decomposition, Yanacocha
	38	Waste, Lima	590.205	19,1%	2.000	0,1%	Methane gas recollection by waste decomposition, RELIMA
SUB TOTAL DEL SECTOR RESIDUOS			643.323	20,8%			
TRANSPORTE	39	Fuel combination**	165.000	5,3%	**		Normality, 5% Ethanol in fuel
	40	Junk Old Vehicles**	30.000	1,0%	22.000	1,2%	Retire of 2200 units of public transportation
	41	Sector I, Historic Center of Lima** (vial rearrangement)	18.000	0,6%	4.000	0,2%	Construction of 4 vial axes, vial improvement
	42	Vial Corridor (Lima)**	220.000	7,1%	63.000	3,4%	Construction of 4 vial axes
SUB TOTAL DEL SECTOR TRANSPORTE			433.000	14,0%			
TOTAL			3.096.600	100,0%	1.874.548	66,3%	

* Some levels of investment or CO2 emissions reduction were not specified

** Data under revision

Fuente: CONAM- Comisión Nacional del Medio Ambiente

7.2.3. Participaci3n del hidr3geno producido de barbojo en el Plan Nacional de Reducci3n de CO₂ en Per3

La participaci3n del hidr3geno producido de barbojo, en la substituci3n de combustibles f3siles representa una alternativa viable a considerar en el medio-largo t3rmine, dentro de un plan de reducci3n de gases de emsiones de efecto serra. De los c3lculos realizados en la investigaci3n, con disponibilidad de materia hasta un m3ximo del 50% (tabla 23), es posible evitar en el 3ltimo peri3do una cantidad de CO₂ equivalente a 436 Gg.

Tabla 23: Cantidad de CO₂ evitada substituyendo combustible f3sil por hidr3geno producido de barbojo

Item	Uso barbojo al 10%		Uso barbojo al 25%		Uso barbojo al 50%	
	2005	2006	2007	2008	2009	2010 ^a
Hidr3geno producido (Mt)	9	10	25	26	53	54
Combustible f3sil substituido (Ktep)	27	28	71	73	151	156
CO ₂ evitada (Gg)	75	77	199	205	423	436

a : disponibilidad m3xima de barbojo

Entonces de los datos estimados por la CONAM en la figura 46, y los datos obtenidos en la investigaci3n, se puede establecer que es posible, una mayor participaci3n del sector azucarero en la generaci3n de energ3a contribuyendo hasta en un 35% del total que se espera ahorrar. Y comparando con la potencialidad de los proyectos (tabla 22) del sector energ3a, se podria hipotizar una substituci3n de proyectos relacionados con el gas natural (proyecto 02), y la construcci3n de nuevas hidroel3ctricas (proyectos 11,12, 15). La integraci3n de las azucareras restantes al mecanismo de privatizaci3n, y la instauraci3n de una pol3tica energ3tica para la biomasa, permitir3a facilitar la asimilaci3n de nueva tecnolog3a-ambiental, extendiendo la base t3cnica y de conocimientos para la inversi3n en nuestro pa3s a trav3s del MDL.

CAPITULO VIII

CONCLUSION

8.1. CONCLUSIONES

La investigación sobre el uso de los residuos de caña de azúcar como fuente renovable, bajo el concepto de biomasa, en nuevos sistemas tecnológicos de conversión de energía, como los son las pilas de combustible, ha demostrado que es factible en términos de: energía eléctrica producida y de reducción del impacto ambiental que implica el cultivo de caña.

Del análisis del sector azucarero Peruano, se vio que los principales residuos generados son denominados bagazo y barbojo: el primero representa la principal materia prima (combustible) de los calderos; por el contrario, el barbojo no viene tomado en cuenta como combustible y por lo tanto su eliminación a través de la incineración abierta representa y produce efectos nocivos a tener en consideración.

Eliminar la quema de campos para facilitar la cosecha de caña de azúcar, va a permitir:

- Mejorar las condiciones ambientales locales. La quema de caña ha representado durante el 2000: la emisión de más de 34 mil toneladas de cenizas; incremento de la pérdida de carbono orgánico y de la compactabilidad de los suelos, reduciendo su porosidad hasta en un 20%.
- Aumentar la eficiencia energética de los ingenios y reducir la dependencia de fuentes externas de combustible, visto que el poder energético equivalente del barbojo estimado en 18 GJ/t puede sustituir 3 barriles de petróleo, representa una oportunidad económica para las empresas de poder integrar energía a la red nacional.

- Incrementar el número de puestos de trabajo, y dependiendo de la actividad realizada se puede pasar de 10 a 20 personas, con baja presencia de materia extraña en la caña que llega a los ingenios azucareros (3-5 % con cosecha manual y 7-12% con cosecha mecanizada). Además de beneficiar a los 3 mil sembradores individuales de caña, existentes en el país.
- La potencialidad de producir hidrógeno de barbojo de caña es de 70 kg de H₂/t de barbojo. Utilizando solo el 50% del barbojo existente en los campos, para no alterar el equilibrio, es posible producir de manera global 54 Mt de hidrógeno con un valor equivalente de energía eléctrica de 1190 GWh. La mejor posibilidad de utilizar la tecnología del hidrógeno en los países en vías de desarrollo, se encuentra en generadores estacionarios de energía.
- Factibilidad de integrar el sector azucarero, siempre que se instaure nueva tecnología (fuel cell), en la lista de proyectos orientados al Mecanismo de Desarrollo Limpio (CDM) del protocolo de Kyoto. De acuerdo a las estimas realizadas por la CONAM (Comisión Nacional del Medio Ambiente), se espera reducir en 1.234 Gg las emisiones de CO₂ en el sector energético, y el hidrógeno de barbojo podría participar en un 35% de estas reducciones. Hipotetizándose la substitución de proyectos relacionados con hidroeléctricas y gas natural.
- La perspectiva de poder comercializar el CO₂ con los países industrializados, comprometidos en cuotas de reducción del Protocolo de Kyoto, representa una alternativa importante en la economía de las empresas azucareras, reportando al país no solo dinero, sino también tecnología moderna y actualización formativa técnica.

Los grandes avances tecnológicos en materia energética prevee un rápido desarrollo de la tecnología gasificación-pila a combustible, y siendo el Perú un país con gran potencial de residuos agrícolas, la posibilidad de instalar una planta piloto no representa una quimera. No está escrito ni es necesario seguir, rutas "pre-establecidas" para poder optar por un sistema energético sostenible en base a los recursos locales.

Bibliografía

1. Ministerio de Energía y Minas. Balance Energético Nacional 2000. Lima, Perú, 2000.
2. Ministerio de Energía y Minas. Plan Referencial de Electrificación 2000-2010. Lima, Perú, 2000.
3. Ministerio de Energía y Minas. Atlas Minero Energético del Perú. Lima, Perú, 2000.
4. IPCC. Methodological and technological Issues in Technology Transfer. A special Report of IPCC Working Group III. Edited by Metz, O.R. Davidson, J. W. Martens, S.N.M. van Rooijen and L.V.W. McGrory. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom. 2000.
5. Commoner, B.. The ecological facts of life. In: H.D. Johnson, ed. No Deposit - No Return: Man and His Environment: A View Toward Survival. Addison-Wesley, Don Mills, Ont., pp. 18-35. 1970
6. Commoner, B.. The Closing Circle: Man, Nature and Technology. Alfred A. Knopf, Inc., New York. 1971
7. Lappé, F.M., J. Collins and C. Fowler. Food First. Inst. Food and Dev. Poll, Hastings-on Hudson, N.Y.
8. Merrill, R.. Toward a self-sustaining agriculture. J. New Alchemists 2:44-61. 1974.
9. Merrill, R. ed.. Radical Agriculture. Harper & Row, New York. 1976
10. Grasty Shelley, *TDRI Quarterly Review* Vol. 14 No. 2 June 1999, pp. 12-16
11. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. Climate Change 1995: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
12. World Resources Institute (WRI). 1998. *World Resources 1998/99*. A joint publication by The World Resources Institute, The United Nations Development Programme, The United Nations Environment Programme, and The World Bank. New York: Oxford University Press.
13. Szego, G. C., and Kemp, C. C. Energy Forest and Fuel plantations. Chemical technology. 1971, pp. 275-284.
14. Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 'Estimation of greenhouse gas emissions and sinks', paper given at OECD experts meeting, 18-21 February, 1991.

15. Hall, D.O., & de Groot, P.J. in 'Biomass: regenerable energy' (Eds D.O. Hall & R.P. Overend), Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1987, 3-24.
16. Sarwar, G., Williams, E.A., & Robinson, A.P., 'Wood and agricultural residue combustion systems', Chatham: Natural Resources Institute, 1992.
17. Johansson, T.B., H. Kelly, A.K.N. Reddy, R.H. Williams, Renewable Energy, sources for fuels and electricity, Island Press, Washington D.C., 1993.
18. SHELL, The evolution of the world's energy system 1860-2060, extracts of a study by Shell International - London, Shell International - Shell Centre, London, December 1995.
19. World Energy Council, Renewable energy resources: opportunities and constraints, 1990- 2020, July 1993.
20. Lazarus et al., Towards a Fossil Free Energy Future, The next energy transitions; a technical analysis for Greenpeace International, Stockholm Environmental Institute, prepared for Greenpeace - Boston Center, Boston, USA, 1993.
21. Watson, R.T., M.C. Zinyowera, R.H. Moss (editors), Climate Change 1995, Impacts, Adaptations, and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, The contribution of Working Group II to the second assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1996.
22. Czernick S. Et al. Production of hydrogen from Biomass-derived liquids. NREL, Golden Colorado, USA, 2000.
23. ISES, Italia. Energia dalle Biomasse. Le tecnologie e le applicazioni. 1998, Roma, Italia.
24. Ministerio de Agricultura, Censo Agroindustrial Nacional, 2000. Lima, Perú.
25. Instituto del Azúcar del Perú. Debate Azucarero: Perú Azúcar. Vol. 03, N°03, 2001, Trujillo, Perú.
26. Wagner, M., C. Rincones, G. Medina y M. Mujica. 1988. Efecto de láminas y frecuencias de riego sobre el rendimiento de caña de azúcar (*Saccharum* sp) en un suelo mollisol. Rev. Caña de Azúcar. 6 (1): 23-29
27. Zerega, L.. Manejo de suelos y uso de fertilizantes en el cultivo de la caña de azúcar. Barquisimeto, Ven. Fundación Azucarera para la Investigación y la Productividad. Boletín N° 10.23 p. 1994
28. Zerega, L.. Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. Rev. Caña de Azúcar XI(2):71-92. 1993
29. Lopez, N., J. Armesto, A. Sánchez, E. Peart, S. Hernández.. Efecto de la no labor de cultivo sobre algunas propiedades físicas del suelo, y el rendimiento de la caña de azúcar. Congreso Latino Americano de la Ciencia

- del Suelo. XI, La Habana (CUBA), marzo 11-17, 1990. Programas y Resúmenes. pp 121. 1990
30. Feranández, J.; Furlani y R. Stolf. Preparo do solo para plantio de caña de azùcar. Rev. Brasil Acucareiro XCVII 1: 41-44. 1981.
 31. Allan, J. Effect of soil testure on critical bulk desities for root growth. Soil Sci. Am. Journal XLVII: 1208-1211. 1983.
 32. Avilan, L., F. Granados y D. Ortega. Estudio del sistema radicular de tres variedades de caña de azúcar (*Saccharum* spp) en un Mollisol de los Valles de Aragua (Ven.) FONAIAP-CENIAP-IIAG. Bol. Téc. No. 4. 22p. 1976.
 33. Gòmez, A. El cultivo de la caña de azúcar. Rev. Facultad de Agronomía. Maracay, Ven. Alcance N° 15(45): 40-44. 1975.
 34. Pla, I. y G. Campero. Algunas propiedades estructurales en suelos en los llanos occidentales de Venezuela y su relación con ciertas características. Agronomía Trop. 21(5): 433-447. 1971.
 35. Trousse, A. y R. Humbert. Some effects of soil compactation on the development of sugar cane roots. Rev. Soil Science 91(3): 208-217. 1961.
 36. IPCC. Climate Change: inventory for 1990, IPCC reference Approach. IPCC Worksheet 1-1. CO₂ from energy sources (Reference Approach).
 37. Gòmez, L. Comportamiento espacial y Temporal de los contaminantes atmosfèricos medidos por la red de monitoreo de calidad del aire de Santiago. Universidad de Chile, mayo, 2001.
 38. Asociaciòn Danesa de la Industria Eòlica. Manual de referencia, V parte: medio ambiente y combustibles. Dinamarca, enero, 2000.
 39. INEE , Instituto Nacional de Eficiencia Energética . Ahorro de energìa y emisiones de gases de efecto invernadero en Brasil. 1999.
 40. Instituto del Azùcar del perù. Debate Azucarero: Perù Azùcar. Vol. 03, N°05, 2001, Trujillo, Perù.
 41. Cargnelutti M, Cornejo M, Merino T. Temperatura, composiciòn y propiedades de los gases producto de la combustiòn de biomasa. Int J International Sugar1996; 1168:145-148.
 42. Velo, E. y Tauta, S. curso sobre aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos y agroindustriales. Universidad de La Sabana, Universidad Politécnica de Cataluña. Santa Fé de Bogotá D.C. Octubre 28-30. 1999.
 43. Secretaría de salud Departamental. Informe de la Contraloría sobre el estado de los recursos naturales y del medio ambiente en el Valle del Cauca, Colombia, 1995
 44. CONTRALORÍA DEPARTAMENTAL. Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente en el Valle del Cauca. División de recursos naturales y medio ambiente. 1995

45. Carney W. Louisiana smoke management guidelines for sugarcane harvesting, tarining Summary Report Summer, 2000. USA.
46. Delgadillo, L. Evaluación de características químicas, físicas y biológicas del suelo bajo cultivo de caña de azúcar manejado con y sin quema en el municipio de El Cerrito, Valle del Cauca. Informe de pasantía de la Universidad del Tolima, 1994.
47. Arias J. Evaluación exploratoria del comportamiento de la materia orgánica por prácticas de quemas en molisoles del Valle del Cauca. Tesis de Postgrado en suelos y aguas, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira, 1994.
48. Molina, J. Et al. Estudio de Caso Sobre el Manejo Convencional y Agroecológico del Cultivo de la Caña de Azúcar en el Valle del Cauca, Colombia, 1999.
49. Herrera M. et. Atl. Caracterización de la compactación originada durante la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, en las condiciones de elevada humedad de los Vertisuelos. Universidad central de Las Villas "Marta Abreu". Departamento de Mecanización Agropecuaria.* Universidad Agraria de la Habana "Fructuoso Rodríguez". Centro de Estudio de la Maquinaria Agrícola.
50. Jiménez González , J. L. Determinación de los efectos de la cosecha mecanizada sobre el suelo en condiciones de elevada humedad. Trabajo de Diploma. UCLV: 1996.
51. Health Guidelines for Vegetation Fire Events, Lima, Peru, 6-9 October 1998. Background papers © WHO, 1999
52. Dixon, Robert K. Sistemas agroforestales y gases de invernadero. En: Revista sobre Agroforestería. CATIE, Costa Rica. 1996.
53. Arias G., Jairo. Evaluación exploratoria del comportamiento de la materia orgánica por prácticas de quemas en molisoles del Valle del Cauca. Tesis de Postgrado en suelos y aguas, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Palmira. 1994.
54. García, Diego., et al. Contaminación atmosférica y salud: Estimación de una función dosis-respuesta para Cali. En: Planeación y desarrollo. Vol. XXVII, Número 2 de Abril-Junio. Economía Ambiental, Departamento Nacional de Planeación. Santa fé de Bogotá D.C. Colombia, 1996.
55. Meyer, E. Mechanised cane harvesting, International Sugar Journal, Volume XCIX, Issue N° 1187, November 1997.
56. Anon: Ann. Rpt. S. African Sugar Assoc. Expt. Station, 1998b, p.53.

57. Meyer & Worlock: Proc. 53rd Ann. Congr. S. African Sugar Tech. Assoc. 1997, 143-146.
58. Robertson R. "Glocalization: Time-Space and Homogeneity-Heterogeneity"; in Featherstone M., Lash S., Robertson R. (1995), *Global Modernities*, Sage, London, 1995.
59. Botto, F. Cattai, S. La Globalizzazione Socio-Economica nelle Politiche di Sviluppo Locale. Convegno ISO-ELO: "La regolazione concertata dell'economia globale/locale". Trento, Gennaio 2002, Italia.
60. Uribe, P. Issacs, C. Carta trimestral N° 2-3, 1998. Cenicafía, Año 20. Colombia, p. 12-15.
61. J.R. McNeill, *Something New Under the Sun: An Environmental History of the Twentieth Century World*, New York, W.W.Norton & Company, 2000
62. International Energy Agency, 2001, *World Energy outlook 2001 Insights: Assesing Today's Supplies to Fuel Tomorrow's Growth*, IEA
63. *World Assesment Report*, New York, 2000.
64. Delft University of Technology, *Thermal Power Engineering: trends and research demands*.
65. Oak Ridge National Laboratory, 1999; Socolow R., 1997 Oak Ridge National Laboratory. *Carbon sequestration: research and development*, 1999. http://www.ornl.gov/carbon_sequestration/.
66. Hefner, R., GHK Company, *The Age of Energy Gases*
67. IIASA, Nakicenovic. Utilizado por David Hurten el "Norwegian Hydrogen Workshop, January 20, 2000. Oslo.
68. Socolow, R. Editor, "Fuels Decarbonization in carbon sequestration: Report of a Workshop, September 1997, Washington D.C., p.46.
69. Fujishima, A. and Honda, K. Electrochemical photolysis of water at a semiconductor electrode. *Nature (London)* 238, p37-38, 1972.
70. Audus, H, Kaarstad, O, Kowal, M (1996), *Decarbonisation of fossil fuels: hydrogen as an energy carrier*, in Veziroglu, T N, Winter.
71. Hart, P. Freund and A. Smith, *Hydrogen - Today and Tomorrow*, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, April 1999
72. Reinhold Wurster and Dr. Werner Zittel, Ludwig-Bölkow-Systemtechnik GmbH, Ottobrunn, Germany. Published at the Workshop on *Energy technologies to reduce CO₂ emissions in Europe: prospects, competition, synergy*, Energieonderzoek Centrum Nederland ECN, Petten, April 11-12, 1994.
73. International Energy Agency, IEA. *World Energy Outlook 2002*. Chapter 13: *Energy and Poverty*, p-13.

74. Villegas Aguilar, P. J. "Aprovechamiento de residuos fibrosos de la industria azucarera mediante procesos de conversión térmica" *Tesis Doctoral*, Universidad Central de Las Villas, Santa Clara, 2000.
75. "Biomass Gasification: Research, Development, and Demonstration at the University of Hawaii". Hawaii Natural Energy Institute, 2000.
76. Buekens, A. G.; Bridgwater, A. V. "Commercial and Marketing Aspect of Gasifiers". Ed. Brussels, 1990.
77. Villegas, P. J.; Bonelli, P. R.; Cassanello, M. C.; Cukierman, A. L. "Reactivity upon Gasification of Residues from Sugar Cane Industry". *Proceeding of Fifth Asian Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization*, Shanghai, China. Ed. Huang Zhao Xiang and Liu Xin, International Academic Publisher, 158-164, 1999.
78. Hofbauer H., et al., The FICFB gasification process: development in Thermochemical Biomass Conversion. Vol 12, pp 1016-1025, 1997.
79. P. Spath, M.Mann, "A complete look at the Overall Environmental Impact of Hydrogen Production", *Proceeding of HY2000, EFO Energy Forum, Germany, Sept.2000*, pag. 523
80. M.K. Mann et al. Technoeconomic analysis of different options for the production of hydrogen from sunlight wind and biomass. *Proceedings of the 1998 U.S. DOE Hydrogen Program Review*.
81. G. Hoogers and L.C. Potter. "Fuel cells – their potential as the ultimate source of clean power". *Renewable Energy World*, January-February, 1999
82. S. Dunn. "Routes to a hydrogen economy". *Renewable Energy World*, July-August, 2001.
83. Shell scenario: sustainable development. Deutsche Shell AG, 1999
84. Bocci, E. "Produzione ed utilizzo energeticodell'idrogeno dagli scarti della canna da zucchero in Perù", Centro Interuniversitario di Ricerca per i Paesi in via di Sviluppo – Università "La Sapienza" Roma, Tesi di Laurea, Anno accademico 2001-2002
85. Dellepiane, D. "Studio di fattibilità per la produzione di energia elettrica in Perù utilizzando celle a combustibile a carbonati fusi alimentate con biogas da canna da zucchero", Dipartimento di Ingegneria Ambientale – Università degli Studi di Genova, Tesi di laurea, Anno accademico 2001-2002.
86. Lobachyov K. V., Ritcher H. J., *An advanced integrated biomass gasification and molten carbonate fuel cell power system*, *Energy Convers. Mgmt*, Vol 39, N° 16, pp. 1931-1943. 1998.
87. Bridgwater, A.V., *The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*, Aston University, Birmingham, UK, *Fuel*, Vol. 74, N° 5, pp. 631-653. 1995

88. Babu, S. P., thermal gasification of biomass technology developments: end of task report for 1992 to 1994, *Biomass and Bioenergy*, Vol.9, pp-1-5. 1995
89. World Resources Institute (2000), "Designing the CDM Mechanism: Operational and Institutional Issues," Washington, DC, USA.
90. El Mecanismo de Desarrollo Limpio se delinea en el Artículo 12 del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).
91. P. H. Sand, "Trusts for the Earth." En *Transnational Environmental Law: Lessons in Global Change* (Londres: Kluwer Law International Ltd., 1999), p. 291.
92. La Estructura del Mecanismo de Desarrollo Limpio: Una oportunidad para la CAF. Center for Sustainable Development in the Americas. Octubre, 2000, pp. 20.
93. CONAM, Comisión Nacional del Ambiente por el Desarrollo Sostenible, Informe Nacional sobre el estado del Ambiente, 2000. (www.conam.gob.pe)