



República de Cuba

Evaluación de Necesidades Tecnológicas ante el Cambio Climático (Technology Needs Assessment)

Informe Final TNA Mitigación (TNA Final Report - Mitigation)

Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente
Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía
(CUBAENERGÍA)

La Habana, Cuba, Abril 2013



Este documento es el resultado del Proyecto Evaluación de Necesidades Tecnológicas, financiado por el *Global Environmental Facility* (GEF) e implementado por el *United Nations Environmental Programme* (UNEP) y el *UNEP-Risoe Centre* (URC), en colaboración con los Centros Regionales Fundación Bariloche y Libélula. El presente informe es el resultado de un proceso liderado por el país, y la visión e información contenida en el informe es resultado del trabajo del Comité Técnico TNA Mitigación, liderado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN EJECUTIVO..... | 15 |
| 1 INTRODUCCIÓN..... | 26 |
| 1.1 Sobre el proyecto ENT..... | 26 |
| 1.2 Políticas nacionales existentes sobre mitigación del cambio climático y las prioridades de desarrollo..... | 27 |
| 1.2.1 Mitigación..... | 29 |
| 1.2.2 Mercado de carbono..... | 29 |
| 2. ARREGLO INSTITUCIONAL PARA EL TNA Y EL INVOLUCRAMIENTO DE PARTES INTERESADAS..... | 32 |
| 2.1 Equipo nacional del TNA..... | 32 |
| 2.2 Proceso de involucramiento de Partes Interesadas..... | 33 |
| 2.2.1 Evaluaciones anteriores..... | 34 |
| 2.2.2 Talleres Nacionales..... | 34 |
| 2.2.3 Talleres sectoriales..... | 35 |
| 3. SELECCIÓN DE SECTORES..... | 36 |
| 3.1 Visión general y tendencias de los sectores, estado de las emisiones y proyecciones..... | 36 |
| 3.1.1 Situación de las emisiones de GEI..... | 36 |
| 3.1.2 Escenarios de Emisiones..... | 37 |
| 3.2 Proceso, Criterios y Resultados de la Priorización..... | 39 |
| 3.2.1 Criterios para la priorización de sectores y subsectores..... | 40 |
| 3.2.2 Situación sectorial..... | 41 |
| 3.2.3 Resultados de la priorización preliminar de sectores y subsectores..... | 42 |
| 4. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA – SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD..... | 45 |
| 4.1 Emisiones de GEI en el Subsector Generación de Electricidad y Tecnologías Existentes..... | 45 |
| 4.2 Visión General de las Opciones de Mitigación y sus Beneficios..... | 45 |
| 4.3 Criterios y Proceso de Priorización..... | 50 |
| 4.4 Resultados de la Priorización en el Subsector Generación de Electricidad..... | 51 |

| | |
|---|----|
| 5. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA-SUBSECTOR AGRICULTURA..... | 53 |
| 5.1 Emisiones de GEI en el Subsector Agricultura y Tecnologías Existentes | 53 |
| 5.2 Visión General de las Opciones de Mitigación en el Subsector Agricultura y sus Beneficios | 53 |
| 5.3 Criterios y proceso de Priorización..... | 55 |
| 5.4 Resultados de la Priorización en Subsector Agricultura..... | 56 |
| 6. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA-SUBSECTOR TRANSPORTE | 58 |
| 6.1 Emisiones de GEI en el Subsector Transporte y Tecnologías Existentes | 58 |
| 6.2 Visión General de las Opciones de Mitigación en el Subsector Transporte y sus Beneficios | 60 |
| 6.3 Criterios y proceso de Priorización..... | 62 |
| 6.4 Resultados de la Priorización en Subsector Transporte..... | 63 |
| 7. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA-TODOS LOS SUBSECTORES..... | 64 |
| 7.1 Criterios y proceso de Priorización..... | 64 |
| 8. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SECTOR ENERGÍA | 66 |
| 8.1. Barreras comunes o transversales | 67 |
| 8.1.1. Barreras económicas y financieras | 68 |
| 8.1.2. Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 69 |
| 8.1.3. Barreras políticas, legales y reguladoras | 70 |
| 8.1.4. Barreras relacionadas con fallos en la red..... | 70 |
| 8.1.5. Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 70 |
| 8.1.6. Barreras relacionadas con las aptitudes humanas..... | 70 |
| 8.1.7. Barreras técnicas | 71 |
| 8.2. Medidas identificadas | 71 |
| 8.2.1. Medidas económicas y financieras..... | 71 |
| 8.2.2. Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 72 |
| 8.2.3. Medidas relacionadas con políticas, legales y reguladoras | 72 |
| 8.2.4. Medidas relacionadas con fallos en la red..... | 73 |
| 8.2.5. Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 73 |
| 8.2.6. Medidas relacionadas con las aptitudes humanas | 73 |

| | |
|---|----|
| 8.2.7. Medidas relacionadas con las barreras técnicas | 73 |
| 9. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD | 74 |
| 9.1. Metas preliminares para la transferencia y difusión de la tecnología de ciclo combinado con gas | 75 |
| 9.2. Descripción general de la tecnología ciclo combinado con gas | 76 |
| 9.3. Análisis de barreras para el ciclo combinado con gas | 76 |
| 9.3.1. Barreras económicas y financieras | 77 |
| 9.3.2. Barreras políticas, legales y reguladoras | 77 |
| 9.3.3. Barreras relacionadas con la disponibilidad del recurso | 77 |
| 9.4. Medidas identificadas | 78 |
| 9.4.1. Medidas económicas y financieras..... | 78 |
| 9.4.2. Medidas sobre políticas, legales y reguladoras | 78 |
| 9.4.3. Medidas sobre la disponibilidad del recurso | 78 |
| 10. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR AGRICULTURA | 78 |
| 10.1. Metas preliminares para la transferencia y difusión de la tecnología gasificación de residuos de aserradero | 79 |
| 10.2. Descripción general de la tecnología gasificación de residuos de aserradero | 80 |
| 10.3. Análisis de barreras para la gasificación de residuos de aserradero | 81 |
| 10.3.1. Barreras económicas y financieras | 82 |
| 10.3.2. Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 83 |
| 10.3.3. Barreras políticas, legales y reguladoras | 83 |
| 10.3.4. Barreras relacionadas con fallos en la red | 83 |
| 10.3.5. Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 84 |
| 10.3.6. Barreras relacionadas con las aptitudes humanas..... | 84 |
| 10.3.7. Barreras técnicas | 84 |
| 10.3.8. Barreras relacionadas con la información | 85 |
| 10.4. Medidas identificadas | 85 |
| 10.4.1. Medidas económicas y financieras..... | 85 |
| 10.4.2. Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 86 |
| 10.4.3. Medidas sobre políticas, legales y reguladoras | 86 |
| 10.4.4. Medidas relacionadas con fallos en la red..... | 86 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 10.4.5. | Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 86 |
| 10.4.6. | Medidas relacionadas con las aptitudes humanas | 87 |
| 10.4.7. | Medidas relacionadas con las barreras técnicas | 87 |
| 10.4.8. | Medidas relacionadas con la información | 87 |
| 11. | ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR TRANSPORTE | 87 |
| 11.1. | Metas preliminares para la transferencia y difusión de la tecnología de incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga..... | 88 |
| 11.2. | Descripción general de la tecnología de incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga | 89 |
| 11.3. | Análisis de barreras para el incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga | 89 |
| 11.3.1. | Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 89 |
| 11.3.2. | Barreras relacionadas con fallos en la red..... | 90 |
| 11.3.3. | Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 90 |
| 11.3.4. | Barreras relacionadas con las aptitudes humanas..... | 90 |
| 11.4. | Medidas identificadas | 90 |
| 11.4.1. | Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado..... | 90 |
| 11.4.2. | Medidas relacionadas con fallos en la red..... | 91 |
| 11.4.3. | Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa | 91 |
| 11.4.4. | Medidas relacionadas con las aptitudes humanas | 91 |
| 12. | VÍNCULOS ENTRE LAS BARRERAS IDENTIFICADAS | 91 |
| 13. | ENTORNO HABILITANTE PARA SUPERAR LAS BARRERAS EN EL SECTOR ENERGÍA | 92 |
| 14. | PLAN DE ACCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL SECTOR ENERGÍA..... | 93 |
| 14.1. | Acciones para el nivel sectorial | 93 |
| 14.2. | Plan de acción para la tecnología de ciclo combinado con gas | 93 |
| 14.3. | Plan de acción para la tecnología de gasificación de residuos de aserradero..... | 97 |
| 14.4. | Plan de acción para la tecnología de incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga | 100 |
| 15. | TEMAS TRANSVERSALES | 103 |
| 16. | IDEAS DE PROYECTO SECTOR ENERGÍA | 103 |
| 16.1. | IDEA DE PROYECTO CICLO COMBINADO CON GAS | 103 |
| 16.1.1. | Introducción y antecedentes..... | 103 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 16.1.2. | Objetivos | 103 |
| 16.1.3. | Productos y resultados..... | 104 |
| 16.1.4. | Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades..... | 104 |
| 16.1.5. | Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos..... | 104 |
| 16.1.6. | Actividades del proyecto y calendario | 105 |
| 16.1.7. | Presupuesto | 105 |
| 16.1.8. | Posibles complicaciones y desafíos..... | 105 |
| 16.1.9. | Responsabilidades y coordinación | 105 |
| 16.2. | IDEA DE PROYECTO GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADEROS | 106 |
| 16.2.1. | Introducción y antecedentes..... | 106 |
| 16.2.2. | Objetivos | 106 |
| 16.2.3. | Productos y resultados..... | 106 |
| 16.2.4. | Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades..... | 107 |
| 16.2.5. | Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos..... | 107 |
| 16.2.6. | Actividades del proyecto y calendario | 107 |
| 16.2.7. | Presupuesto | 108 |
| 16.2.8. | Posibles complicaciones y desafíos..... | 108 |
| 16.2.9. | Responsabilidades y coordinación | 108 |
| 16.3. | IDEA DE PROYECTO INCREMENTO DE LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA POR FERROCARRIL. REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA SUR..... | 109 |
| 16.3.1. | Introducción y antecedentes..... | 109 |
| 16.3.2. | Antecedentes | 109 |
| 16.3.3. | Objetivos | 110 |
| 16.3.4. | Productos y resultados..... | 110 |
| 16.3.5. | Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades..... | 110 |
| 16.3.6. | Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos..... | 111 |
| 16.3.7. | Actividades del proyecto y calendario | 111 |
| 16.3.8. | Presupuesto | 111 |
| 16.3.9. | Posibles complicaciones y desafíos..... | 111 |
| 16.3.10. | Responsabilidades y coordinación | 111 |
| 17. | CONCLUSIONES | 112 |

| | |
|--|-----|
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 113 |
| ANEXO 1. METODOLOGIA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO..... | 115 |
| ANEXO 2. PRINCIPALES LINEAMIENTOS RELACIONADOS CON LA POLÍTICA ENERGÉTICA | 123 |
| ANEXO 3. LISTADO DE LAS PARTES INVOLUCRADAS..... | 125 |
| COMITÉ NACIONAL TNA..... | 127 |
| COMITÉ TECNICO TNA MITIGACIÓN..... | 128 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----|
| Tabla 1. Proyectos MDL en ejecución..... | 31 |
| Tabla 2. Carpeta de Proyectos MDL | 31 |
| Tabla 3. Emisiones de CO ₂ -eq. Cuba. 2004. | 37 |
| Tabla 4. Criterios para la priorización de los sectores y subsectores. | 40 |
| Tabla 5. Priorización de sectores y subsectores..... | 44 |
| Tabla 6. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector Generación de Electricidad. | 46 |
| Tabla 7. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector Generación de Electricidad. | 50 |
| Tabla 8. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector agricultura | 54 |
| Tabla 9. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector Agricultura | 55 |
| Tabla 10. Estructura del parque automotor cubano. (Año base, 2004) | 58 |
| Tabla 11. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector Transporte | 60 |
| Tabla 12. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector transporte. | 63 |
| Tabla 13. Plan de acción de la tecnología de ciclo combinado con gas | 95 |
| Tabla 14. Plan de acción para el aprovechamiento de los residuos de los aserraderos | 98 |
| Tabla 15. Plan de acción para la tecnología de incremento del uso de ferrocarril en la transportación de carga | 101 |
| Tabla 16. Actividades y su duración..... | 105 |
| Tabla 17. Actividades del proyecto y duración. | 107 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Marco Institucional del MDL en Cuba. | 30 |
| Figura 2. Composición Comité Nacional TNA | 32 |
| Figura 3. Composición Comité Técnico TNA..... | 33 |
| Figura 4. Escenarios de emisiones de CO ₂ procedentes del sector energía..... | 38 |
| Figura 5. Escenario de mitigación en la generación de electricidad. | 38 |
| Figura 6. Generación y emisiones de CH ₄ procedentes de los desechos sólidos municipales en Cuba y proyecciones..... | 39 |
| Figura 7. Cuantificación de criterios para los sectores | 42 |
| Figura 8. Resultados priorización de los sectores..... | 43 |
| Figura 9. Cuantificación de criterios para subsectores | 43 |
| Figura 10. Resultados priorización de subsectores..... | 44 |
| Figura 11. Emisiones de CO ₂ y SO ₂ procedentes de la generación de electricidad | 45 |
| Figura 12. Asignación de valores a los criterios de priorización en el subsector generación de electricidad..... | 51 |
| Figura 13. Ordenamiento de las opciones de mitigación en el subsector generación de electricidad..... | 52 |
| Figura 14. Emisiones de CO ₂ -eq provenientes del subsector agricultura, Gg. | 53 |
| Figura 15. Asignación de valores a los criterios de priorización del subsector agricultura..... | 57 |
| Figura 16. Ordenamiento de las opciones de mitigación del subsector agricultura. | 58 |
| Figura 17. Emisiones totales procedentes de las fuentes móviles. Cuba 2004..... | 59 |
| Figura 18. Emisiones de los vehículos automotores de carretera. Cuba 2004. | 59 |
| Figura 19. Asignación de valores a los criterios de priorización subsector transporte. | 63 |
| Figura 20. Resultados priorización de las opciones tecnológicas del subsector transporte..... | 64 |
| Figura 21. Asignación de valores a los criterios de priorización para todas las opciones tecnológicas evaluadas. | 65 |

| | |
|--|----|
| Figura 22. Resultados priorización de todas las opciones tecnológicas evaluadas. | 66 |
| Figura 23. Mapa de mercado para la tecnología de ciclo combinado con gas. | 75 |
| Figura 24. Mapa de mercado para la tecnología de gasificación de residuos de los aserraderos. | 79 |
| Figura 25. Esquema tecnológico de la gasificación de biomasa | 81 |
| Figura 26. Mapa de mercado para la tecnología de incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga. | 88 |

ACRÓNIMOS

\$/kWe: Peso por miles de Wat eléctricos
 °C: Grado centígrado
 AENTA: Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada
 AMA: Agencia de Medioambiente
 AND: Autoridad Nacional Designada GNMDL: Grupo Nacional para la implementación del MDL
 ANPP: Asamblea Nacional del Poder Popular
 AZCUBA: Grupo Empresarial del Azúcar
 BCC: Banco Central de Cuba
 BIGCC: Ciclos combinados con gasificación integrada utilizando biomasa forestal
 CAP: Consejos de Administración Provincial
 CC: Ciclo Combinado
 CECM: Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros
 CEDI: Centro Nacional de Infraestructura Ferroviaria
 CEN: Central Electronuclear
 CER: Certificados de emisiones reducidas
 CETRA: Centro de Investigación y Desarrollo del Transporte
 CH₄: Metano
 CIPEL: Centro de investigación y pruebas eléctricas
 CITMA: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente
 CMNUCC: Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático
 CN: Comunicación Nacional
 CO: Monóxido de Carbono
 CO₂: Dióxido de Carbono
 CO_{2-eq}: CO₂ equivalente
 COSYE: Empresa de Comunicación, Señalización y Electrificación
 CTE: Central Termoeléctrica
 CUBAENERGÍA: Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía
 CUC: Peso convertible
 CUPET: Cubapetroleos S. S.
 CVDM: Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes del Metano
 DSM: Desechos Sólidos Municipales
 DURE: Dirección de uso racional de la energía
 ECE: Empresa de transmisión
 EE. UU.: Estados Unidos de América
 EIIF: Empresa Industrial de Instalaciones Fijas
 EMCE: Empresa de Mantenimiento de CTE
 Energoimport: Empresa importadora de equipos energéticos
 ENT: Evaluación de Necesidades Tecnológicas
 EPOT: Empresa de Proyectos del Transporte
 ESCO: Empresa de servicios energéticos
 ETAF: Empresa de Tracción Ferroviaria
 ETEP: Empresa de transporte

FERPRO: Formación de Capacidades Intelectuales
FRE: Fuentes renovables de energía
g: Gramo
GEAM: Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña
GEI: Gases de Efecto Invernadero
Geysel: Empresa de Servicio de Grupos Electrógenos (Motores Diesel)
GJ: 10^9 Joule
GNL: Gas natural licuado
GRUPOR: Grupo Porcino
GTMDL: Grupo Técnico para el MDL
HFC: Hidrofluorocarbonos
IACC: Instituto Cubano de Aeronáutica Civil
IAEA: International Atomic Energy Agency
IEA: International Energy Agency
INEL: Empresa de Ingeniería para la Electricidad
INSMET: Instituto de Meteorología
IPCC: Panel Intergubernamental de Cambio Climático
IPF: Instituto de Planificación Física
k: 10^3
km: kilómetro
kW: Kilo Wat
kWh: miles de Wat hora
litros/ton-km: litros por tonelada kilómetro
 m^3 : metro cúbico
MDL: Mecanismo de Desarrollo Limpio
MEP: Ministerio de Economía y Planificación
MES: Ministerio de Educación Superior
MFP: Ministerio de Finanzas y Precios
MICONS: Ministerio de la construcción
MINAG: Ministerio de la Agricultura
MINAL: Ministerio de la Industria Alimenticia
MINAZ: Ministerio del Azúcar
MINBAS: Ministerio de la Industria Básica
MINCEX: Ministerio de Comercio Exterior y la Inversión Extranjera
MINEM: Ministerio de Energía y Minas
MINREX: Ministerio de Relaciones Exteriores
MINSAP: Ministerio de Salud Pública
MINTUR: Ministerio del Turismo
MITRANS: Ministerio del Transporte
 MJ/m^3 : Mega joule por metro cúbico
MW: 10^6 Wat
MWp: 10^6 Wat pico
 N_2O : Oxido Nitroso
NAMA: Acciones nacionales apropiadas de mitigación
 NO_x : Óxido de Nitrógeno
O&M: Operación y Mantenimiento

OACE: Organismos de la Administración Central del Estado
OIEA: Organismo Internacional de Energía Atómica
ONEI: Oficina Nacional de Estadísticas e Información
ONG: Organización no gubernamental
OSDE: Organismo Superior de Dirección Empresarial
OTMDL: Oficina Técnica del MDL
PAEC: Programa de Ahorro de Electricidad de Cuba
PAT: Planes de Acción Tecnológicas
PFC: Perfluorocarbonos
PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo
SDDS: Sitios de deposición de desechos sólidos
SEN: Sistema eléctrico
SENAE: Seminario Nacional de Energía en apoyo a la toma de decisiones
SF₆: Hexafluoruro de Azufre
SIME: Ministerio de la Industria Sideromecánica
SO₂: Dióxido de Azufre
SOLCAR: Empresa de Soldar Carriles
t/h: Tonelada por hora
TAP: Technology Action Plan
tcm: Tonelada de caña molida
tCO₂: Toneladas de CO₂
tCO_{2-eq}: Tonelada de CO₂ equivalente
TNA: Technology Needs Assessment
TRANSPROY: Proyectos del Transporte
TV: Turbina de Vapor
UFC: Unión de Ferrocarriles de Cuba
UNDESA: División de Asunto Económicos y Sociales de naciones Unidas
UNE: Unión Eléctrica
Vagones: Empresa Israel Valdés Reyes
ZEE: Zona Económica Exclusiva

RESUMEN EJECUTIVO

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) a través del Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA) desarrolló el proyecto de Evaluación de Necesidades Tecnológicas conocido por sus siglas en inglés TNA (Technology Needs Assessment) cuyo objetivo fue: 1) la identificación, el análisis y la priorización de las necesidades tecnológicas que contribuyan en este caso a la mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en correspondencia con las políticas y prioridades nacionales del desarrollo sostenible, 2) la identificación de las barreras que obstaculizan la adquisición, despliegue y difusión de las tecnologías consideradas prioritarias, así como la determinación de los entornos habilitantes de las mismas, la propuesta de acciones y/o medidas para la remoción o minimización de las barreras, 3) la elaboración de los Planes de Acción de Tecnologías (PAT), y 4) la formulación de ideas de proyectos.

Las políticas nacionales sobre mitigación se reflejan en la Constitución de la República de Cuba en su Artículo 27 relacionado con la protección del medio ambiente y los recursos naturales, en la Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación hasta el 2015, en los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución, y en la Estrategia Ambiental Nacional.

Las prioridades nacionales en el ámbito ambiental-social-económico son las siguientes:

AMBIENTALES:

- Reducir contaminación atmosférica,
- Reducir impacto ambiental de los residuales agrícolas y forestales,
- Reducir la degradación de los suelos,
- Mejoramiento y conservación de los suelos,

ECONÓMICAS:

- Incrementar la seguridad energética,
- Incrementar eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía,
- Modernización y diversificación de las tecnologías de la agroindustria,
- Incrementar la seguridad alimentaria: aumento producción agropecuaria,

SOCIALES:

- Disminución de riesgo y vulnerabilidad de la población cubana a eventos extremos,
- Enfoque de género (mayor acceso de la mujer cubana a fuentes de empleo),
- Elevación de la calidad de vida de la sociedad cubana,
- Desarrollo local en comunidades.

La estimación de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero en Cuba se realizan por el equipo técnico nacional que coordina el Instituto de Meteorología (INSMET) con la participación de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI), el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Transporte, CUBAENERGÍA, el

Centro de Ingeniería de Procesos y el Centro de Investigaciones Forestales y de especialistas y técnicos de los diferentes Ministerios e Institutos Nacionales.

El mayor aporte en las emisiones de CO₂-eq de GEI lo tienen el sector energía (71%), seguido de agricultura (19%), Desechos (7%) y Procesos industriales (3%). Por gases el Dióxido de Carbono (CO₂) constituye el 60%, el Metano (CH₄) el 25%, el Óxido Nitroso (N₂O) el 9% y el resto de los gases el 6% de las emisiones en el 2004 (López, C., et al., 2009), año del último inventario publicado en el país. El aporte de Cuba a las emisiones totales globales (excluyendo el cambio del uso del suelo y silvicultura) fue del 0.1% en el 2004.

Proyecciones en un escenario de mitigación que incluye más de la mitad del potencial de las energías renovables en el país para la generación de electricidad con las tecnologías actuales, indica que las emisiones de CO₂ procedentes de la generación de electricidad seguirán creciendo y serán en el 2040, 1.5 veces las del 2010 por lo que es muy importante continuar evaluando opciones de mitigación en este subsector (Pérez, et. al., 2012).

Para la mejor ejecución del proyecto fue creado un Comité Nacional del TNA, integrado por representantes de los principales ministerios relacionados con el tema en el país y un Comité Técnico integrado por los principales sectores involucrados, el Coordinador TNA y dos consultores, uno para mitigación (de CUBAENERGÍA) y otro para adaptación (de la Agencia de Medioambiente, AMA).

En el marco del proyecto TNA se revisaron estudios anteriores realizados para la I CN (Comunicación Nacional) a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) (INSMET, 2001) y estudios recientes para la II CN (en revisión por las autoridades nacionales competentes), así como estudios realizados en el marco del Programa Coordinado de Investigación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) “*Greenhouse Gas Mitigation Strategies and Energy Options*” (Meneses et. al., 2009), en el Proyecto Regional RLA040 “*Building Capacity for the Development of Sustainable Energy (Phase II)*”, el libro “*Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development*” (IAEA, 2008) elaborado por un equipo multidisciplinario cubano, con la participación fundamentalmente del OIEA y la División de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (UNDESA) y la “Evaluación de opciones de mitigación en el sector energético cubano” realizado en el marco del proyecto Carbono 2012 (Pérez et. al., 2012). También en el marco del proyecto Carbono 2012, se realizaron estudios sobre oportunidades de mitigación de GEI en aserraderos al utilizar residuos para sustituir el uso de diesel y generar electricidad, sobre uso del biogás en los criaderos de cerdos y de la cáscara del arroz para generar electricidad, así como en el subsector transporte.

Sin embargo, en la mayoría de estos trabajos, no se consideró ni la priorización de las opciones de mitigación, ni el enfoque de necesidades tecnológicas acorde a las prioridades de desarrollo sostenible del país. Tampoco hubo una consulta amplia con las partes interesadas, ni un análisis multicriterio de dichas opciones.

También se revisaron los trabajos y debates realizados en las 10 ediciones de los “Seminarios Nacionales de Energía en apoyo a la toma de decisiones” realizados entre el 2001 y el 2012 (SENAE).

En cuanto al involucramiento de las partes, se realizó un taller nacional de lanzamiento del proyecto. Las partes interesadas fueron consultadas en el marco de los IX y X Seminario Nacional de Energía en apoyo a la tomas de decisiones. Se realizaron además talleres temáticos con el sector energía que se centraron en los subsectores de generación de electricidad con fuentes renovables (Hidroelectricidad, eólica y fotovoltaica conectada a la red) y cogeneración de electricidad y calor (Turbinas de vapor con bagazo y gasificación de biomasa forestal), con el subsector transporte (transporte automotor, marítimo, ferroviario y aéreo) y con los energéticos de los grupos empresariales de la agricultura, porcino, arrocero y aserraderos.

Para la selección y priorización de los sectores se utilizaron los siguientes criterios de evaluación:

- Aporte a las emisiones de GEI
- Importancia económica
- Importancia social
- Barreras tecnológicas
- Capacidad de instrumentación
- Existencia de evaluaciones sectoriales

La priorización se realiza a partir de un análisis multicriterial basado en el Método NAIADE (Enfoque Novedoso de Evaluación y Decisión sobre Ambientes Imprecisos). Este método fue utilizado por existir experiencia en el país en su uso en los distintos sectores y subsectores y haberse ya utilizado en evaluaciones que se hicieron en el capítulo de mitigación para la II CN a la CMNUCC.

Los criterios tanto cuantitativos como cualitativos evalúan aspectos económicos, sociales y ambientales y su peso relativo depende de la cantidad de criterios que cada uno incluya, representando la prioridad que se le asigna a cada dimensión.

En este caso la prioridad de la dimensión económica se realiza asignándole 4 de los 6 criterios definidos, se define 1 para la dimensión social y otro para la ambiental. El peso relativo de los criterios en la dimensión económica es 0.666 y en las dimensiones social y ambiental 0.166, respectivamente. Estos valores son empleados para la evaluación de los sectores y subsectores.

Como resultado del análisis multicriterio arrojó que el sector prioritario es el sector Energía. Le sigue en prioridad el sector Agricultura, Desechos, Procesos Industriales, Uso de Solventes y finalmente el de Cambio del uso de la tierra, que es un sumidero.

Al aplicar el análisis multicriterio para los subsectores priorizó los sectores de industrias de la energía, agricultura y transporte dentro del sector energía.

Para la selección de las tecnologías para mitigación del cambio climático primero se analizaron todas las posibles tecnologías como las 41 que aparecen en el Manual para realizar una Evaluación de Necesidades de Tecnología para el Cambio Climático en la producción de electricidad, las 25 que aparecen para el transporte y las 7 que aparecen en la agricultura, que totalizan 73 tecnologías. De ahí se descartaron las que no se ajustan a las prioridades nacionales, las condiciones socio-económicas, climáticas, del país y las que no

tenían relación con el sector energía. Luego se revisaron las tecnologías que se habían evaluado en estudios anteriores relacionados con la mitigación. Posteriormente en los talleres sectoriales se realizó la consulta final, lo que arrojó luego de ciertas discrepancias entre los participantes, como consenso que se evaluaran 17 tecnologías.

Los criterios empleados son los que aparecen a continuación, aunque no todos fueron evaluados en los diferentes subsectores:

- Madurez de la tecnología
- Costo de inversión
- Cantidad de toneladas de CO₂ evitadas
- Costo de la tonelada de CO₂ evitada
- Costo evitado al Sistema Electroenergético (SEN)
- Barreras culturales
- Suficiencia nacional (seguridad energética)
- Capacidad de instrumentación
- Aumento de bienestar
- Población con acceso a la tecnología
- Barreras tecnológicas
- Impacto sobre otro sector
- Requerimientos espaciales
- Impacto ambiental positivo
- Impacto ambiental negativo
- Vulnerabilidad
- Plazo de implementación
- Persistencia a largo plazo

Para el subsector generación de electricidad dentro del sector energía se seleccionaron y priorizaron 8 tecnologías. El orden de priorización dentro del subsector es:

1. Ciclos combinados con gas natural (CC), primer lugar,
2. Cambio a gas natural de centrales termoeléctricas existentes (CTE con gas), segundo lugar,
3. Hidroeléctricas, segundo lugar,
4. Utilización de turbinas de extracción-condensación con bagazo (TV bagazo), tercer lugar,
5. Ciclos combinados con gasificación integrada utilizando biomasa forestal (BIGCC), cuarto lugar,
6. Parques eólicos, quinto lugar,
7. Reactor nuclear (CEN), sexto lugar
8. Solar fotovoltaica conectada a la red (Fotovoltaica), sexto lugar.

En el caso del subsector agricultura dentro del sector energía se evaluaron y priorizaron 3 tecnologías. El orden de priorización dentro del subsector es:

1. Gasificación de la cascara de arroz para la producción de calor y electricidad, primer lugar,

2. Gasificación de residuos de aserraderos para la producción de electricidad, segundo lugar,
3. Tratamiento anaeróbico de los residuales porcinos para la producción de electricidad, tercer lugar.

En el caso del subsector transporte dentro del sector energía se evaluaron y priorizaron 6 tecnologías. El orden de priorización dentro del subsector es:

1. Incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga, primer lugar,
2. Remotorización, segundo lugar,
3. Reordenamiento del transporte, tercer lugar,
4. Uso de mezcla de alcohol con gasolina, cuarto lugar,
5. Paso de transportación de pasajeros a ferrocarril, cuarto lugar,
6. Utilización de biodiesel, quinto lugar.

Posteriormente se evaluaron todas las tecnologías en su conjunto utilizando los 18 criterios definidos. Como resultado del análisis multicriterio, utilizando el método NAIADE, se obtuvo la priorización de las tecnologías. Estas prioridades son:

Primera prioridad: Tratamiento anaeróbico de residuos porcinos,

Segunda prioridad: Gasificación cáscara de arroz,

Tercera prioridad: Gasificación residuos aserraderos,

Cuarta prioridad: Ciclo combinado y Cambio a gas de CTE al mismo nivel,

Quinta prioridad: Turbina de vapor con bagazo e hidroeléctrica al mismo nivel,

Sexta prioridad: y Central nuclear al mismo nivel,

Séptima prioridad: BIGCC y fotovoltaica conectada a la red,

Octava prioridad: Remotorización,

Novena prioridad: Uso de mezcla de alcohol con gasolina y Paso de transportación de pasajeros de ómnibus a ferrocarril al mismo nivel,

Décima prioridad: Reordenamiento y parque eólico al mismo nivel,

Oncena prioridad: Uso de biodiesel en la transportación de carga y pasajeros.

Teniendo en cuenta el criterio de expertos, las existencias de estudios anteriores, la disponibilidad de información, se priorizó una tecnología por subsector, que resultaron ser: ciclo combinado con gas, gasificación residuos aserraderos e incremento de la transportación de carga por ferrocarril.

Posteriormente para cada una de las 3 tecnologías priorizadas se hizo el análisis del entorno habilitante de barreras que afectan la transferencia y difusión de estas tecnologías, así como del mercado. Del análisis de barreras resultó que muchas de ellas eran transversales al sector energía. Entre las mismas se destacan las barreras económicas y financieras ya que el país atraviesa desde el 2008 por una crisis financiera doméstica (crisis de deuda, bancaria y cambiaria), que ha tenido implicaciones negativas sobre el crédito, los flujos de inversión extranjera, las operaciones de comercio exterior y en la confianza internacional en los bancos cubanos.

A ello se le suma el acceso limitado a créditos y a los flujos de financiamiento internacionales que son el resultado de la implementación de acciones punitivas por parte del Gobierno de los Estados Unidos de América (EE.UU.) en el ámbito económico financiero que adquiere un carácter extraterritorial. El bloqueo tiene también implicaciones en el acceso propiamente a las tecnologías y piezas de repuesto lo cual limita la cantidad de suministradores de las tecnologías, se encarecen los costos que son barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado.

A las limitaciones de carácter financiero y de acceso a créditos competitivos se le suma las inconsistencias en el funcionamiento del propio sistema macroeconómico cubano. Cuba posee poca habilidad para atraer inversión extranjera directa y financiamiento para tecnologías debido a los riesgos asociados con Cuba y reflejados en la clasificación de crédito muy baja que tiene y en el historial de crédito de Cuba.

La falta de incentivos financieros para desarrollar capacidades en la industria nacional se debe en gran medida a la falta de competitividad, a la descapitalización que ha tenido la industria nacional especialmente durante la crisis de los años 90 y la inadecuada política que se ha seguido con la misma.

La ausencia de la consideración de las externalidades ambientales en la toma de decisiones, no favorece la transferencia y difusión de tecnologías menos contaminantes y las decisiones se adoptan mayoritariamente por el menor costo o por la existencia de financiamiento, aún cuando sea más costosa la tecnología.

El subsidio a la electricidad y el transporte constituye una barrera para la transferencia y difusión de tecnologías energéticas o que sustituyan combustible fósil, tampoco favorecen el ahorro de energía por cobrar tarifas por debajo del costo de producción o transportación.

La existencia de 2 monedas, el Peso Cubano (CUP) y el Peso Convertible (CUC) dificulta el cálculo o estimación de los costos económicos a los diferentes niveles de la actividad productiva del país.

Existen también barreras políticas, legales y regulatorias ya que existen importantes vacíos en el marco regulatorio y legal moderno para el sector de la energía, es limitada la competencia y la participación del sector privado.

La inexistencia de un ente regulador de la energía también hace que la coordinación sea insuficiente entre ministerios, instituciones relevantes, industrias, centros de investigación y universidades.

Hasta noviembre de 2012 no existía el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y no existe todavía una política energética formalmente escrita y publicada. Es limitada la capacidad de la industria nacional para la producción de partes, componentes y equipos energéticos lo que constituyen barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa.

Para la eliminación y/o minimización de las barreras se identificaron un grupo de medidas que se relacionan a continuación:

- Los insuficientes recursos y liquidez financiera puede minimizarse mediante la formación de una empresa mixta, donde el inversionista extranjero ponga el financiamiento y la tecnología. Con la empresa mixta puede también incrementarse el acceso a créditos, pues la parte extranjera pudiera lograr ese acceso, aunque siempre existirá el riesgo de la influencia del bloqueo económico y comercial impuesto por EE.UU. al país. En el caso de las opciones tecnológicas vinculadas a la generación de electricidad las partes nacionales pondrían el combustible y el mercado de la electricidad que se genere, pagando con ello la inversión extranjera.
- Se recomienda la creación de un Fondo Financiero Revolvente en CUC especializado en el financiamiento de tecnologías energéticas y la eficiencia energética. El mismo debe incentivar y facilitar el desarrollo de capacidades en la industria nacional. Este fondo puede crearse, por ejemplo, a partir de la venta de los Certificados de Emisiones Reducidas (CER) de los proyectos MDL vigentes.
- Incluir en la legislación vigente la consideración de las externalidades ambientales en la licencia ambiental de nuevas inversiones en el sector energético.
- Eliminar paulatinamente los subsidios a la electricidad y el transporte.
- En el caso específico del incremento de la transportación de carga por ferrocarril es necesario la adquisición no solo de la tecnología propiamente sino crear la infraestructura necesaria por lo que habrá que buscar espacios, mercados e inversionistas que permitan el acceso a créditos blandos y/o adquirir aquellas opciones tecnológicas más baratas o de acuerdos bancarios y comerciales preferenciales (con bajas tasas de interés).
- El Gobierno de Cuba hace esfuerzos a nivel internacional para eliminar el bloqueo. Por ejemplo, cada año en Naciones Unidas se somete a votación una resolución en contra del bloqueo, la cual se aprueba año tras año por una abrumadora mayoría de países. Sin embargo, el Gobierno de EE. UU. hace caso omiso a la misma y continúa y refuerza las acciones punitivas contra el país. Para minimizar los efectos del bloqueo el país hace alianzas con importantes socios comerciales.
- Con la reciente creación del Ministerio de Energía y Minas se espera se superen los vacíos existentes en el marco regulatorio relacionado con la energía tales como: nueva ley eléctrica, ley de energías renovables y la eficiencia energética, tarifas eléctricas (tanto de venta de la electricidad como de compra a los distintos generadores) y de combustibles, revisión y/o eliminación de los subsidios, normas técnicas, calidad de la energía, normas de eficiencia de los equipos de uso final tanto de producción nacional como importados, etc.
- Deberá elaborarse y formalizarse la política energética del país.
- También deberá crearse un ente u órgano regulador de la energía.
- Para incrementar y/o rescatar las capacidades de la industria nacional además de aprovechar la creación del Fondo Financiero Revolvente propuesto anteriormente, se

deben implementar los aspectos de política industrial de los lineamientos de desarrollo económico y social del país, las alianzas estratégicas con socios extranjeros para producciones cooperadas, etc.

- Elaborar programa de capacitación en la formulación de proyectos realización de estudios de viabilidad técnico-económica y en la operación y mantenimiento de tecnologías, e implementarlo.

Posteriormente se realizó el análisis de las barreras específicas para cada una de las tecnologías priorizadas y se identificaron medidas para su eliminación y/o minimización.

La meta principal de la transferencia y difusión de las tecnologías priorizadas es aumentar la oferta de electricidad, disminuir el uso de combustible fósil a la vez que se aumenta la efectividad de la transportación de carga y se utilizan los residuos de los aserraderos valorizándolos al generar electricidad a la vez que deja de utilizar la del sistema eléctrico y se resuelve un problema ambiental. Como consecuencia de lo anterior, adicionalmente se reducen las emisiones de GEI.

A partir del análisis del entorno habilitante, barreras, mercado y las medidas identificadas se elaboró un plan de acción para cada una de las 3 tecnologías priorizadas, detallando el plazo de aplicación (corto, mediano y largo), las partes involucradas, los indicadores para medir la acción, la prioridad y la fuente de financiamiento, que para la tecnología de ciclo combinado con gas incluye:

1. Conciliación y creación de empresa mixta
2. Búsqueda de créditos
3. Creación Fondo Financiero Revolvente en CUC
4. Estudio de posibles acciones de mitigación
5. Creación ente regulador de la energía
6. Creación de las regulaciones correspondientes
7. Publicitar más el Premio al Medio Ambiente
8. Creación sello al medio ambiente
9. Actualización de ley eléctrica
10. Creación de ley de energías renovables y de eficiencia energética
11. Incrementar el vínculo entre instituciones
12. Determinación de factores de emisión propios de las diferentes tecnologías
13. Elaboración e implementación de un programa integrado de formación y capacitación de los recursos humanos
14. Incluir en la contratación de la transferencia de la tecnología el aseguramiento de insumos y piezas de repuesto durante la vida útil de la tecnología

Para el caso de la tecnología de gasificación de los residuos de aserraderos, además de las acciones No. 3, 4, 13 y 14 el plan de acción para esta tecnología incluye:

15. Formulación de programa de transferencia de tecnología para la implementación de la tecnología de gasificación de los residuos de aserradero en la generación de electricidad y realización de estudio de factibilidad técnico económico

16. Negociación con suministradores tecnológicos su participación en programa de transferencia de tecnología
17. Creación de las regulaciones sobre tarifa eléctrica para generadores independientes
18. Aprobación de una política energética que establezca metas, plazos y recursos para el desarrollo de las fuentes renovables de energía
19. Aprobación de un marco legal y normativo de los aspectos técnicos, contractuales y comerciales para productores independientes de electricidad
20. Identificación e implementación por el GEAM de la capacidad institucional requerida para coordinar la implementación del programa sobre la base de una estrecha coordinación con el resto de los actores
21. Identificar e implementar las acciones requeridas para satisfacer las necesidades de capacidad institucional propia o tercerizada para los servicios especializados requeridos y en particular para el montaje y puesta en marcha de las instalaciones energéticas y su posterior en operación y mantenimiento

Para la tecnología de incremento de la transportación de carga por ferrocarril, además de las acciones 3, 11-14, se incluyen las siguientes:

22. Búsqueda de créditos blandos o de acuerdos bancarios y comerciales preferenciales
23. Adquirir opciones tecnológicas más rentables
24. Búsqueda de nuevos mercados y consolidación de aquellos que permiten disminuir los costos
25. Actualización de las regulaciones correspondientes
26. Revitalizar la industria nacional y procesos productivos
27. Incluir en la contratación el mantenimiento sistemático de toda la infraestructura necesaria

Finalmente fueron elaboradas las siguientes 3 ideas de proyectos.

Ciclo combinado de gas natural de 180 MW que puede replicarse al menos 8 veces y cubrir la demanda de electricidad hasta el 2038 y evitaría anualmente 400 ktCO₂ en comparación con similar generación en centrales termoeléctricas con fuel oil y crudo.

Sus objetivos son: Elaborar estudio de pre y factibilidad técnico-económica de la instalación del CC, creación de empresa mixta, instalación del CC y estudio de posibles acciones de mitigación.

El proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país ya que suministrará electricidad para el desarrollo socio-económico aprovechando un recurso propio o importado, de no encontrarse nuevos yacimientos de gas natural en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Golfo de México, reduce las emisiones de CO₂ y SO₂ respecto a línea base utilizando centrales termoeléctricas con fuel oil o crudo, además aumenta la disponibilidad del sistema eléctrico, ofrece oportunidades para la capacitación y la transferencia de tecnología ya que creará empleos y se capacitará debidamente al personal local en la implementación, operación y mantenimiento de la tecnología. La transferencia de habilidades y conocimientos se extiende a otras industrias locales que deberán relacionarse con el proyecto como empresas de ingeniería, proyectos, construcción y montaje, etc., que deberán certificarse también por las normas y estándares del país inversor.

También el proyecto fomentará la inversión extranjera directa ya que demuestra que Cuba puede superar las barreras y movilizar tecnología moderna y recursos locales con el fin de avanzar en el desarrollo económico sostenible.

El proyecto también mejora el nivel de vida de la población al reducir la importación de recursos fósiles y poder destinar parte de ese dinero para mejorar la educación y la salud. También al reducir las emisiones de GEI se reducen los daños a la salud de la población local.

Por otra parte el proyecto responde a uno de los lineamientos de la política energética del país “...prestar prioritaria atención a la instalación de los ciclos combinados....”.

El costo total de un CC de 180 MW (inversión + construcción + intereses) es de 198 millones de pesos convertibles.

La otra idea de proyecto es fundamentar un programa inversionista dirigido al aprovechamiento de los residuos de los aserraderos del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM) para la producción de electricidad instalando una capacidad de generación distribuida en el orden de los 20 MW en estas instalaciones industriales. Adicionalmente propiciara la realización de acciones demostrativas a nivel comercial de plantas de generación de electricidad.

La industria de la madera cubana en el marco del GEAM cuenta con 78 aserraderos con una capacidad anual de producir 231 000 m³ de madera aserrada. El índice de aprovechamiento industrial de la madera como media se estima en un 50%, por lo que se producen significativos volúmenes de residuos agroindustriales cuya deposición final hoy constituye en la mayoría de los casos un serio problema ambiental con grandes riesgos de incendio y gastos de maquinaria, personal, combustibles adicionales en su disposición.

Los principales resultados que se esperan son:

- a. La instalación de alrededor de 20 MW de potencia eléctrica, contribuyendo la venta de electricidad al sistema eléctrico nacional a la rentabilidad económica de la industria.
- b. Eliminación de los impactos ambientales negativos de los aserraderos de madera del GEAM por la deposición de los residuos de manera no controlada.
- c. El aseguramiento de la sostenibilidad energética de la industria en cuanto al uso de electricidad y contribuir a la reducción de importaciones de combustibles convencionales por el país.

El costo total del proyecto es de 650000.00 CUC.

La última idea de proyecto propuesta es la del incremento de la transportación de carga por ferrocarril que tiene como objetivos: mejorar la infraestructura ferroviaria en la Línea Sur (Tramo Estación Rincón-Enlace Ramal Montalvo) y del Ramal Montalvo, elaborar estudio de pre y factibilidad técnico-económica relacionado con las inversiones a acometer en el tramo, incrementar las transportaciones de carga por ferrocarril y mejorar los niveles de seguridad en el tramo.

El proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país, ya que garantizará las transportaciones de carga fundamentalmente hacia el este del país de una forma más

económica, primero por utilizarse el ferrocarril, medio de transporte más eficiente en las transportaciones de cargas masivas a largas distancias y segundo por utilizarse una vía completamente llana, lo que supone un sustancial ahorro de combustible en la tracción de los trenes.

Con el proyecto se mejora la calidad de vida de las poblaciones asentadas a lo largo de la vía, que durante años vieron mermadas sus posibilidades de desarrollo por la falta de transporte. Este proyecto además contribuirá al incremento del número de empleos en la zona.

El presupuesto total del proyecto (rehabilitación de la línea) es de aproximadamente 25 miles pesos/km, considerando la mayor ejecución de las obras en reparaciones ligeras y de 12 miles pesos en la reparación de cada puente como promedio, a esto hay que incluirle adicionalmente el monto de las inversiones en infraestructura como alargamiento de las carrileras de cruce y mejoramiento de las estaciones.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 SOBRE EL PROYECTO ENT

El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medioambiente (CITMA) a través del Centro de Gestión de la Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA) desarrolló el proyecto de Evaluación de Necesidades Tecnológicas, conocido por sus siglas en inglés TNA (Technology Needs Assessment) cuyo objetivo fue: 1) la identificación, el análisis y la priorización de las necesidades tecnológicas que contribuyan en este caso a la mitigación de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en correspondencia con las políticas y prioridades nacionales del desarrollo sostenible, 2) la identificación de las barreras que obstaculizan la adquisición, despliegue y difusión de las tecnologías consideradas prioritarias, así como la determinación de los entornos habilitantes de las mismas, la propuesta de acciones y/o medidas para la remoción o minimización de las barreras, 3) la elaboración de los Planes de Acción de Tecnologías (PAT), y 4) la formulación de ideas de proyectos.

Para la mejor ejecución del proyecto fue creado un Comité Nacional del TNA, integrado por representantes de los principales ministerios relacionados con el tema en el país y un Comité Técnico integrado por los principales sectores involucrados, el Coordinador TNA y cinco consultores, tres para mitigación (2 de CUBAENERGÍA y 1 del Centro de Investigaciones del Transporte (ETRA)) y dos para adaptación (Agencia de Medioambiente, AMA e Instituto Superior de Tecnologías Aplicadas INSTEC).

Tomando en cuenta que varias evaluaciones sobre mitigación habían sido realizadas anteriormente, y ya que se habían ejecutado más proyectos en mitigación, fue más fácil las TNA en mitigación que en adaptación. La evaluación TNA incluyó tecnologías “blandas” (soft-ware) y tecnologías relacionadas con las regulaciones (org-ware).

Este informe se elaboró, incluido el proceso de consulta con las partes interesadas, la búsqueda y análisis de trabajos y estudios anteriores, etc. en 5 meses. Se priorizó en mitigación el sector de energía y dentro de este, los subsectores de generación de electricidad, agricultura y transporte con un total inicial de 73 tecnologías, aunque finalmente se evaluaron 17 tecnologías. También se evaluaron otros sectores como el residencial, el subsector forestal, el de procesos industriales y recursos hídricos, pero quedaron excluidos durante el proceso de priorización, ya que no existían evaluaciones anteriores y la información sobre las tecnologías utilizadas en los mismos era insuficiente. En el caso del sector de desechos solo se evaluó la utilización de los desechos porcinos para la generación de electricidad en el subsector agricultura.

El mayor aporte del TNA para el país fue la sistematización de las evaluaciones mediante el uso del análisis multicriterio y el proceso de consulta con las partes interesadas (stakeholders).

1.2 POLÍTICAS NACIONALES EXISTENTES SOBRE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y LAS PRIORIDADES DE DESARROLLO

En Cuba en la Constitución de la República en su Artículo 27 se establece que “El Estado protege al Medio Ambiente y los recursos naturales del país. Reconoce su estrecha vinculación con el desarrollo económico y social sostenible para hacer más racional la vida humana y asegurar la supervivencia, el bienestar y la seguridad de las generaciones actuales y futuras. Corresponde a los órganos competentes aplicar ésta política. Es deber de los ciudadanos contribuir a la protección del agua, la atmósfera, la conservación del suelo, la flora, la fauna y de todo el uso potencial de la naturaleza”.

La Estrategia Nacional en Ciencia, Tecnología e Innovación hasta el 2015 en uno de sus 3 objetivos de carácter general establece: “Aumentar a corto plazo el impacto de los resultados científicos y tecnológicos, en especial, en el incremento de la productividad, las exportaciones, la sustitución de importaciones, la sostenibilidad energética, el ahorro de recursos y el mejoramiento de la calidad de vida de la población”.

Por otra parte, los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución, aprobados el 18 de abril del 2011 establecen: “Sostener y desarrollar investigaciones integrales para proteger, conservar y rehabilitar el medio ambiente y adecuar la política ambiental a las nuevas proyecciones del entorno económico y social. Priorizar estudios encaminados al enfrentamiento al cambio climático y, en general, a la sostenibilidad del desarrollo del país. Enfatizar la conservación y uso racional de recursos naturales como los suelos, el agua, las playas, la atmósfera, los bosques y la biodiversidad, así como el fomento de la educación ambiental”.

En la Estrategia Ambiental Nacional se reconocen como los principales problemas ambientales del país la degradación de los suelos, afectaciones a la cobertura forestal, contaminación, pérdida de la diversidad biológica y carencia de agua.

La política ambiental cubana se ejecuta mediante una gestión integral que utiliza los instrumentos que se presentan a continuación, según el Artículo 18 de la Ley 81 de Medio Ambiente (Gaceta Oficial, 1997):

- a) La Estrategia Ambiental Nacional, el Programa Nacional de Medio Ambiente y Desarrollo y los demás programas, planes y proyectos de desarrollo económico y social,
- b) La propia Ley 81, su legislación complementaria y demás regulaciones legales destinadas a proteger el medio ambiente, incluidas las normas técnicas en materia de protección ambiental,
- c) El ordenamiento ambiental,
- d) La licencia ambiental,
- e) La evaluación de impacto ambiental,
- f) El sistema de información ambiental,
- g) El sistema de inspección ambiental estatal,
- h) La educación ambiental,
- i) La investigación científica y la innovación tecnológica,
- j) La regulación económica,
- k) El Fondo Nacional del Medio Ambiente,

1) Los regímenes de responsabilidad administrativa, civil y penal.

Cuba es Parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático desde el 5 de enero de 1994. Con la ratificación del Protocolo de Kioto el 30 de abril de 2002, se formalizaron así acciones en apoyo a la CMNUCC como las Comunicaciones Nacionales, los inventarios de GEI, estudios de mitigación, adaptación, análisis de vulnerabilidad y riesgos, etc.

El INSMET coordina las CN, el equipo Técnico Nacional de inventarios de GEI y diferentes estudios realizados con la participación de centros de investigación, universidades, ministerios, ONG, etc. CUBAENERGÍA forma parte del equipo técnico nacional de inventarios de GEI y del grupo de mitigación.

A partir de lo anterior y en consulta con las partes interesadas (listadas en Anexo 3) en los talleres realizados y que fueron mencionados anteriormente, se han seleccionado las siguientes prioridades nacionales:

AMBIENTALES:

- Reducir contaminación atmosférica,
- Reducir impacto ambiental de los residuales agrícolas y forestales,
- Reducir la degradación de los suelos,
- Mejoramiento y conservación de los suelos,

ECONÓMICAS:

- Incrementar la seguridad energética,
- Incrementar eficiencia energética y uso de fuentes renovables de energía,
- Modernización y diversificación de las tecnologías de la agroindustria,
- Incrementar la seguridad alimentaria: aumento producción agropecuaria,

SOCIALES:

- Disminución de riesgo y vulnerabilidad de la población cubana a eventos extremos,
- Enfoque de género (mayor acceso de la mujer cubana a fuentes de empleo),
- Elevación de la calidad de vida de la sociedad cubana,
- Desarrollo local en comunidades.

En el caso específico del sector energía desde 1997 se inició el “Programa de Ahorro de electricidad de Cuba” (PAEC) y posteriormente el de ahorro de combustibles y lubricantes, que han tenido un importante impacto desde el punto de vista de la mitigación, aunque no fueron diseñados con este objetivo específico. Por otra parte en el 2006 se implementó el “Programa de la Revolución Energética” con importantes cambios en la concepción y operación del sistema energético cubano, así como en la matriz energética y por tanto en la reducción de las emisiones de GEI.

Decenas de proyectos de Investigación-Desarrollo e Innovación (I+D+I) se han ejecutado en el marco de los programas de ciencia y tecnología a nivel nacional como el “Programa de Desarrollo Energético Sostenible”, programas ramales y territoriales.

1.2.1 Mitigación

La estimación de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero en Cuba se realizan por el equipo técnico nacional que coordina el INSMET con la participación de la ONEI, el Centro de Investigaciones y Desarrollo del Transporte, CUBAENERGÍA, el Centro de Ingeniería de Procesos y el Centro de Investigaciones Forestales y de especialistas y técnicos de los diferentes ministerios e Institutos Nacionales.

Los inventarios incluyen los Gases de Efecto Invernadero Directo: CO₂, CH₄, N₂O, Halocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC), Hexafluoruro de Azufre (SF₆) y los Gases de Efecto Invernadero Indirecto (o gases precursores): Monóxido de Carbono (CO), Óxidos de Nitrógeno (NO_x), Compuestos Orgánicos Volátiles Diferentes al Metano (COVDM) y Dióxido de Azufre (SO₂). Como no todos los gases poseen el mismo poder de calentamiento global, las emisiones se reflejan en unidades equivalentes de carbono (CO₂-eq).

El mayor aporte en las emisiones de GEI lo tienen el sector energía (71%), agricultura (19%), Desechos (7%) y Procesos industriales (3%). Por gases el CO₂ constituye el 60%, el CH₄ el 25% y el N₂O el 9% de las emisiones en el 2004 (López, C., et al., 2009), año del último inventario publicado en el país. El resto de los gases representaron el 6%. El aporte de Cuba a las emisiones totales globales (excluyendo el cambio del uso del suelo y silvicultura) fue del 0.1% en el año 2004.

A partir de la disponibilidad de información, estudios realizados y experiencias en el marco del proyecto ENT se seleccionó para mitigación el sector de energía y los subsectores de generación de electricidad, agricultura y transporte con diferentes tecnologías que se verán más adelante.

1.2.2 Mercado de carbono

Cuba reconoce el papel del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) mediante el cual se puede instrumentar una alternativa costo-efectiva y sobre todo, por lo que el mismo puede representar en términos de transferencia de tecnologías y de recursos financieros adicionales a los países en desarrollo.

Mediante el Acuerdo No.4604 del Comité Ejecutivo del Consejo de Ministros (CECM) del 20 de noviembre del 2002 se definió que el CITMA sería la autoridad responsable de la dirección e implementación nacional del MDL, asignándosele así el mandato de Autoridad Nacional Designada (AND) ante la junta ejecutiva del MDL. El Acuerdo No. 4604 designa el Grupo Nacional para la implementación del MDL (GNMDL), constituido por cinco organismos de la Administración Central del Estado: CITMA, el Ministerio de Relaciones Exteriores (MINREX), el Ministerio del Comercio Exterior y la Inversión Extranjera (MINCEX), el Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) y el Ministerio de Economía y Planificación (MEP).

En correspondencia con el mandato asignado el CITMA estableció, mediante la Resolución No.76/2003, el Reglamento para la atención e implementación de proyectos del MDL.

A inicios del año 2009 el MDL recibe un nuevo impulso. Se realiza una revisión por el CECM y se indican medidas para la aceleración del proceso de implementación del MDL, entre las que se destaca la constitución de un grupo técnico (GTMDL), compuesto por los principales organismos con potencialidades de presentar nuevos proyectos. Este Grupo está presidido por el CITMA, y en él participan el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), el Ministerio de la Agricultura (MINAG), el Grupo Empresarial del azúcar (AZCUBA), el Ministerio de la Construcción (MICONS), el Ministerio del Turismo (MINTUR); el Ministerio de Industria Sideromecánica (SIME) y el Ministerio del Transporte (MITRANS). Este grupo se ha especializado en la gestión y presentación de ideas de proyectos que respondan a las metodologías aprobadas por la Junta Ejecutiva del MDL. En este contexto es creada la Oficina Técnica para la Implementación del MDL (OTMDL), adscrita a CUBAENERGIA, que realiza funciones de secretaría del grupo técnico. La oficina, para el cumplimiento de sus funciones, ha recibido el apoyo del proyecto internacional “Fortalecimiento de Capacidades para la implementación del MDL en Cuba”, con fondos captados a través del Centro UNEP-RISO.

La figura 1 resume el marco institucional del MDL en Cuba. Se distinguen dos niveles organizativos con funciones claramente diferenciadas: un nivel de dirección, política y aprobación, constituido por el Grupo Nacional para la implementación del MDL y el CITMA en su calidad de AND para el MDL; y otro nivel ejecutivo y de promoción, constituido por el Grupo Técnico para la Implementación del MDL y la OTMDL de CUBAENERGÍA.

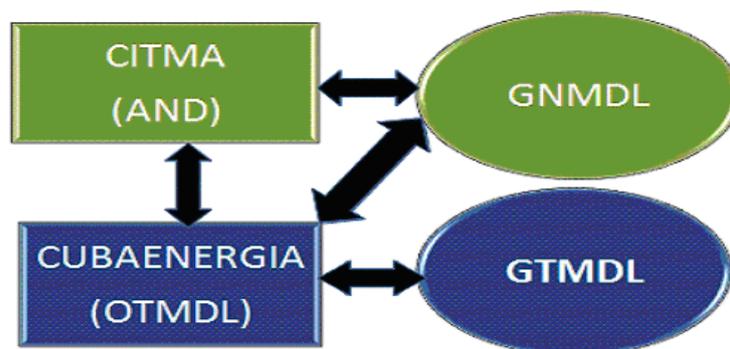


Figura 1. Marco Institucional del MDL en Cuba.

Fuente: CECM, 2002.

A la Oficina Técnica para la implementación del mecanismo le corresponden funciones ejecutivas. Entre las más generales se encuentran la promoción, difusión, capacitación, seguimiento y asesoría para la elaboración, presentación y seguimiento de los proyectos MDL y entre las específicas constan:

- Coordinar la ejecución de los procesos de presentación, evaluación y aprobación nacional de actividades de proyectos del MDL, garantizando la trazabilidad de los mismos y el cumplimiento de los plazos definidos para cada fase,
- Proponer a la AND para su adopción, los criterios y mecanismos para la evaluación y aprobación de las actividades de proyectos,

- Diseñar los procedimientos específicos sobre los procesos de presentación, evaluación, aprobación, registro nacional, ejecución y seguimiento a las actividades de proyectos del MDL,
- Proporcionar y divulgar a todos los niveles las actividades de proyectos del MDL,
- Identificar fuentes de financiamiento para los proyectos del MDL y realizar las coordinaciones correspondientes,
- Conformar y mantener actualizada la carpeta de proyectos del MDL, aprobados, registrados y en ejecución.

Como resultado del trabajo de las diferentes empresas y las estructuras creadas para implementar el MDL, a inicios de 2011 se disponía de 4 Proyectos MDL en ejecución los cuales se muestran en la tabla 1: dos en fase de expedición de Reducciones Certificadas de Emisiones (CER) de GEI, uno en fase de validación y uno en fase de revisión.

Tabla 1. Proyectos MDL en ejecución

| No. de Proy. | Título | Fase en ejecución | Fecha de inicio | Fecha terminación | Fuente de financiamiento | CERs esperados |
|--------------|---|----------------------|-----------------|-------------------|---------------------------|---|
| 0918 | Energas Varadero conversión de ciclo abierto a ciclo combinado | Expedición de CER | 2007 | 2028 | Propia (Empresa Mixta) | 342235 tonCO _{2e} / Año |
| 2260 | Captura y destrucción de CH ₄ en el vertedero de calle 100 en la Ciudad de la Habana y Gascón en Santiago de Cuba | Expedición de CER | 2010 | 2020 | Bioenersis | 123162 tonCO _{2e} / año |
| 6939 | Energas Jaruco conversión de ciclo abierto a ciclo combinado | Validación | 2011 | 2032 | Propia (Empresa Mixta) | 607335 ton/CO _{2e} / año |
| - | Reducción de las emisiones de CO ₂ , en la producción de cementos con aditivos en Cementos Cienfuegos S.A. Cuba | Revisión | 2011 | 2021 | Propia (Empresa Mixta) | 66000 tonCO _{2e} / año |

Fuente: Información OTMDL, 2011

Ocho Ideas de Proyectos han recibido la Carta de No-objeción de la AND, las que conforman la carpeta de proyectos MDL del país (Tabla 2).

Tabla 2. Carpeta de Proyectos MDL

| No. | Idea de Proyecto | CERs estimados (tCO _{2-eq} /año) |
|-----|---|--|
| 1. | Instalación de 21,1 MW de potencia en 8 hidroeléctricas de Cuba | 50827,2 |
| 2. | Sustitución de lámparas | 437053,0 |

| | | |
|-------|---|-----------|
| 3. | Central eléctrica de biomasa forestal La Melvis | 17524,0 |
| 4. | Parque eólico de Punta Ganado | 71048,0 |
| 5. | Generación de energía a partir del biogás en el MINAZ | 241239,0 |
| 6. | Generación de energía a partir del bagazo y los residuos de la cosecha en la empresa azucarera Antonio Guiteras Holmes. | 96537,0 |
| 7. | Generación de energía a partir de subproductos de la agroindustria en la empresa azucarera Ciro Redondo | 125458,0 |
| 8. | Reducción de las emisiones de CO ₂ en la producción de cementos con aditivos en Cementos Cienfuegos SA Cuba | 66000,0 |
| Total | | 1105686,2 |

Fuente: <http://www.cdbazaar.net>

La OTMDL-CUBAENERGIA en conjunto con la AND, trabaja en estos momentos en la aprobación de las adecuaciones necesarias al reglamento para la atención e implementación de proyectos del MDL en el país.

2. ARREGLO INSTITUCIONAL PARA EL TNA Y EL INVOLUCRAMIENTO DE PARTES INTERESADAS.

Seguidamente se describen los arreglos institucionales que se hicieron para ejecutar el proyecto de ENT con la debida jerarquización para poder involucrar a las partes interesadas.

2.1 EQUIPO NACIONAL DEL TNA

Se creó un Comité Nacional presidido por el CITMA con la participación del MINREX, MINCEX, MEP, MFP, MINBAS, MINAG, MES y MITRANS como se muestra en la figura 2. Esto permitió disponer del adecuado nivel político y de toma de decisiones, lo cual fue muy importante para lograr la participación de las partes interesadas ya que este Comité Nacional fue el que dio el mandato político para la ejecución del proyecto e involucrar a las partes interesadas.



Figura 2. Composición Comité Nacional TNA

El Coordinador del TNA fue CUBAENERGIA que dispuso de un consultor responsable en mitigación de ese mismo centro y dos en adaptación del InSTEC y a la AMA. Adicionalmente otro consultor se encargó del subsector agricultura (también de CUBAENERGIA) y otro del subsector transporte (del CETRA) en mitigación. Estos consultores junto al Coordinador del TNA facilitaron el proceso de consultas con las partes interesadas, realizaron la identificación de los sectores, subsectores y evaluaron mediante análisis multicriterios las tecnologías hasta llegar a su priorización. La figura 3 muestra los principales participantes de este proceso, conformando en su conjunto el Comité Técnico.

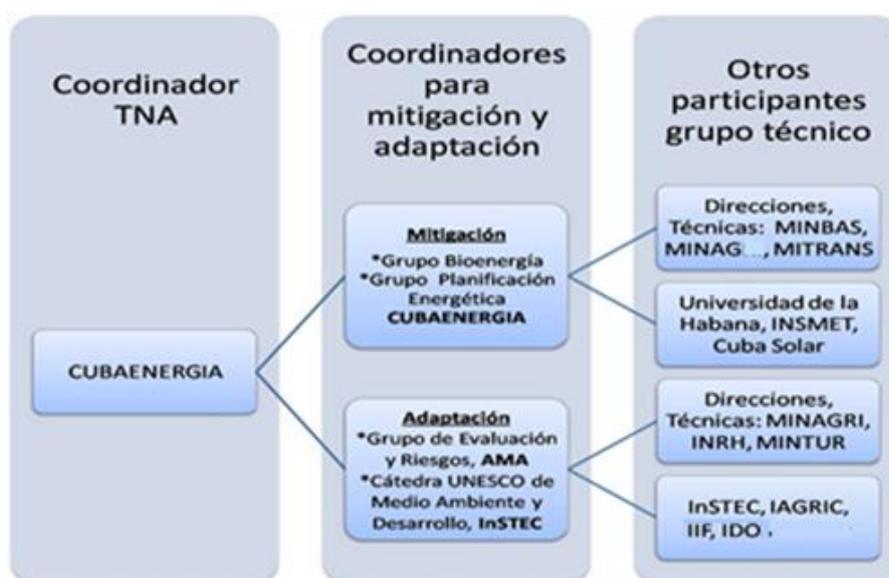


Figura 3. Composición Comité Técnico TNA

2.2 PROCESO DE INVOLUCRAMIENTO DE PARTES INTERESADAS

El involucramiento de las partes fue un proceso complejo, pues primero hubo que convencerlos de los beneficios que les puede traer el proyecto para que se conviertan en partes interesadas y entonces participen en el proceso. Primero se realizó la revisión y el análisis de estudios, proyectos, evaluaciones y resultados anteriores que se relacionan con la mitigación, aún cuando algunos de ellos no tenían como objetivo central la mitigación del cambio climático, pero que trataban de una forma u otra el tema o tenían implicaciones sobre el mismo. Se realizaron distintos talleres como nacionales o intersectoriales involucrando a todos los participantes en el proyecto, tanto del grupo de mitigación como de adaptación, para la conciliación de las prioridades nacionales, determinar los sectores claves e identificar los criterios de priorización.

Posteriormente se realizaron talleres sectoriales para la selección y priorización de las tecnologías.

2.2.1 Evaluaciones anteriores

En el marco de la I CN a la CMNUCC (INSMET, 2001) en su capítulo 4 “Atenuación de emisiones de GEI” se evaluaron a groso modo opciones de mitigación en la generación de electricidad, la eficiencia energética, el transporte, el sector residencial, forestal e industrial. En los estudios recientes para la IICN (en revisión por las autoridades nacionales competentes) en ese mismo capítulo se evaluaron con mayor detalle esas y otras opciones de mitigación aunque solo en generación de electricidad, transporte, sector residencial y forestal.

También en el marco del Programa Coordinado de Investigación del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) “*Greenhouse Gas Mitigation Strategies and Energy Options*” (Meneses, 2009) se evaluaron determinadas opciones de mitigación, así como en el marco del Proyecto Regional RLA040 “*Building Capacity for the Development of Sustainable Energy (Phase II)*”, del libro “*Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development*” (IAEA, 2008) elaborado por un equipo multidisciplinario cubano, con la participación fundamentalmente del OIEA y la División de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (UNDESA), y del estudio “Evaluación de opciones de mitigación en el sector energético cubano” realizado en el marco del proyecto Carbono 2012 (Pérez, 2012). También en el marco de este último proyecto se realizaron estudios sobre oportunidades de mitigación de GEI en aserraderos al utilizar residuos para sustituir el uso de diesel y generar electricidad, y sobre uso del biogás en los criaderos de cerdos y de la cáscara del arroz para generar electricidad.

Sin embargo, en la mayoría de estos trabajos, no se consideró ni la priorización de las opciones de mitigación, ni el enfoque de necesidades tecnológicas acorde a las prioridades del país. Tampoco hubo una consulta amplia con las partes interesadas, ni un análisis multicriterio de las opciones.

También se revisaron los trabajos y debates realizados en las 10 ediciones de los “Seminarios Nacionales de Energía en apoyo a la toma de decisiones” realizados entre el 2001 y el 2012.

2.2.2 Talleres Nacionales

El Taller de lanzamiento del proyecto (06/05/2011) se realizó de forma temprana y con poca preparación por lo que se contó solo con 13 participantes de: la Dirección de Ciencias e Innovación del CITMA, la Dirección de Medio Ambiente del CITMA, la AMA, el MITRANS, el INSMET, INSTEC, la AEN-TA y CUBAENERGÍA.

Para lograr involucrar a un número elevado de partes interesadas se aprovechó el IX Seminario Nacional de Energía en apoyo a la tomas de decisiones (IX SENAE) (28-30/06/2011) para consultarlos. Participaron 80 delegados entre directivos, investigadores, especialistas, académicos, ONG y funcionarios del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) en La Habana (de 43 instituciones de 14 ministerios): MINBAS, MITRANS, MINAZ, MINAGRI, Ministerio de Educación Superior (MES), Ministerio de la Pesca, Ministerio de Salud Pública (MINSAP), el Instituto Nacional de Aeronáutica Civil (IACC), Instituto Superior de Tecnologías de Avanzadas (IN Ministerio de la

Industria Alimenticia (MINAL), MICONS, MINCEX, la Asamblea Nacional del Poder Popular (ANPP), la Oficina del Historiador de la Ciudad y las agencias del CITMA.

Los aspectos debatidos en detalle en este seminario fueron:

- Situación actual y perspectivas de las energías renovables en Cuba,
- Resultados recientes en el uso racional de la energía,
- Generación de energía eléctrica y térmica en núcleos aislados de Iberoamérica mediante hibridación,
- La situación actual y perspectivas de la energía eólica en América Latina, el mercado y la industria eólica,
- Mitigación en el sector residencial,
- Negociaciones sobre cambio climático: Oportunidades para apoyar las estrategias de desarrollo bajo en carbono y resilientes al clima,
- Ciclo de Proyectos MDL y su situación actual en Cuba,
- MDL Energías (Cambio de Ciclo Abierto a Ciclo Combinado),
- El MDL en diferentes escenarios a partir de las tecnologías OTEC en Cuba,
- Mitigación en el sector eléctrico,
- Posibles escenario de mitigación para II Comunicación Nacional a la CMNUCC,
- Evaluación de necesidades tecnológicas para mitigación y adaptación al cambio climático,
- Observatorio de energías renovables en América Latina y el Caribe,
- Acciones para un programa integral de desarrollo fotovoltaico,
- Algunos errores, problemas y soluciones para controlar el consumo de combustible en los vehículos automotores,
- La utilización del marabú como combustible para la generación de electricidad en Cuba.

Como resultados de los debates se conformó un listado de posibles tecnologías para mitigación y algunas para adaptación. También se analizaron cuales eran los sectores y subsectores en que existían las mayores posibilidades de realizar la evaluación de tecnologías.

En el marco del X SENA E realizado del 26 al 28 de junio del 2012 al que asistieron 72 participantes de 8 ministerios diferentes y una ONG, de 38 instituciones del país, donde se debatieron 19 temas, un día fue dedicado a los temas financieros, la colaboración con organismos internacionales, la política de transferencia de tecnología del país y se debatieron los temas de selección de criterios, priorización de sectores, subsectores y tecnologías, especialmente para la generación de electricidad. Se aplicó una encuesta sobre los criterios de priorización de las tecnologías para mitigación. Los resultados de la encuesta enriquecieron, precisaron algunos criterios y permitieron la consideración de nuevos criterios.

2.2.3 Talleres sectoriales

Estos talleres resultaron ser muy relevantes, pues a las partes interesadas hay que guiarlas en el proceso de identificación y priorización de las tecnologías, pero ellos aportan

importante información sobre la caracterización propiamente de las tecnologías en el contexto del sector y sus interrelaciones con el entorno y otras tecnologías, a la vez conocen mejor las barreras y las acciones y medidas que es necesario implementar para su remoción, aunque en muchos casos como no están acostumbrados a trabajar en estos términos, no tenían claro cuáles son las causas de las barreras y por tanto les era difícil proponer acciones para su remoción. En este sentido los talleres jugaron un papel determinante.

Se realizaron talleres con todo el sector transporte, estando presentes directivos y funcionarios de distintas dependencias: transporte automotor, ferroviario, ómnibus, carga por camiones, taxis, aeronáutica y el Centro de Investigaciones del Transporte.

El taller del sector energía se centró en los subsectores de generación de electricidad con fuentes renovables (Hidroelectricidad, eólica y fotovoltaica conectada a la red) y cogeneración de electricidad y calor (Turbinas de vapor con bagazo y gasificación de biomasa forestal). Participaron especialistas y directivos de la Unidad de Desarrollo Perspectivo de la Empresa de Ingeniería para la Electricidad, de la Unión Eléctrica, de la Dirección de Energías Renovables del Ministerio de la Industria Básica, de la Dirección Energética del Ministerio del Azúcar, del Grupo de Planificación Energética, del de Energías Renovables y del de Biocombustibles de CUBAENERGÍA.

Se realizaron talleres con los energéticos de los grupos empresariales de la agricultura y específicos con el sector porcino, arrocero y aserraderos.

3. SELECCIÓN DE SECTORES

Cuba como país insular, tiene como su prioridad la adaptación. Sin embargo, se reconoce y propician las acciones de mitigación ya que muchas de ellas tienen un efecto primeramente económico, lo que constituye la primera prioridad del país en los lineamientos actuales de la política económica y social del país. De ahí que la energía sea un eje transversal en este propósito y tiene el peso decisivo en las acciones de mitigación. La selección de los subsectores se corresponde con el peso que tiene cada uno en las emisiones de GEI, aunque se tuvo en cuenta la existencia de evaluaciones y estudios anteriores y otros aspectos mediante el análisis multicriterio.

3.1 VISIÓN GENERAL Y TENDENCIAS DE LOS SECTORES, ESTADO DE LAS EMISIONES Y PROYECCIONES

3.1.1 Situación de las emisiones de GEI

Los inventarios de GEI y remociones en el país se realizaron para años pares entre 1990 y 2004, que es el último inventario publicado. En el 2004 las categorías principales de fuentes emisoras por orden de su peso fueron (López, 2009):

1. Emisiones de CO₂-eq de las industrias de la energía (31,1%),
2. Emisiones de CO₂-eq de las industrias manufactureras y la construcción (energía) (18,3%),

3. Emisiones de CO₂-eq de la fermentación entérica en el ganado doméstico (agricultura) (11,7%),
4. Emisiones de CO₂-eq de la categoría “otras fuentes de combustión” (energía) (11,6%),
5. Emisiones fugitivas de CO₂-eq de la industria del petróleo y gas natural (energía) (6,7%),
6. Emisiones de CO₂-eq del sector residencial (energía) (5,2%),
7. Emisiones de CO₂-eq de los suelos agrícolas (agricultura) (5,1%),
8. Emisiones de CO₂-eq del sector transporte (energía) (3%).

Estas categorías principales de fuentes (Tabla 3) hacen que la contribución del sector energía fuera en el 2004 el 71% de las emisiones brutas del país (excluyendo las remociones por cambio de uso de la tierra y silvicultura), seguido del sector agricultura responsable del 19%, desechos con el 7% y procesos industriales (3%). En cuanto a los gases el mayor aporte lo tiene el CO₂ con el 67%, el CH₄ con el 25% y el N₂O con el 9% (López, 2009). El resto de los gases aportaron el 6% en el 2004.

Tabla 3. Emisiones de CO₂-eq. Cuba. 2004.

| Categoría de fuente | Gg CO ₂ -eq | % de brutas |
|---|------------------------|-------------|
| Emisiones brutas* totales | 36429.56 | |
| Emisiones netas totales | 22621.42 | |
| 1. Energía | 25665.55 | 70.5 |
| A. <i>Quema combustibles (sectorial)</i> | 23452.22 | 64.4 |
| · <i>Industrias de la energía</i> | 11572.92 | 31.8 |
| · <i>Industrias manufactureras y construcción</i> | 6617.33 | 18.2 |
| · <i>Transporte</i> | 1121.43 | 3.1 |
| · <i>Agricultura</i> | 919.86 | 2.5 |
| · <i>Otros</i> | 3220.68 | 8.8 |
| B. <i>Emisiones fugitivas de los combustibles</i> | 2213.33 | 6.1 |
| 2. Procesos industriales | 1203.23 | 3.3 |
| 3. Uso de solventes y otros productos | 0 | 0.0 |
| 4. Agricultura | 6875.69 | 18.9 |
| 5. Cambio de uso de la tierra y silvicultura | -13808.14 | -37.9 |
| 6. Desechos | 2685.08 | 7.4 |

Fuente: López, 2009.

* No se consideran las emisiones y remociones de GEI procedentes del cambio de uso de la tierra y la silvicultura.

3.1.2 Escenarios de Emisiones

Estudios realizados entre el 2005 y 2008 mostraban el crecimiento que se suponía de las emisiones de CO₂ procedentes del sector energía (IAEA, 2008) para diferentes escenarios (ver figura 4). Otras proyecciones en un escenario de mitigación que incluye más de la mitad del potencial de las energías renovables en el país para la generación de electricidad con las tecnologías actuales, indica que las emisiones de CO₂ procedentes de la generación de electricidad seguirán creciendo y serán en el 2040, 1.5 veces las del 2010 por lo que es

muy importante continuar evaluando opciones de mitigación en esta actividad (Pérez, 2012) (ver figura 5).

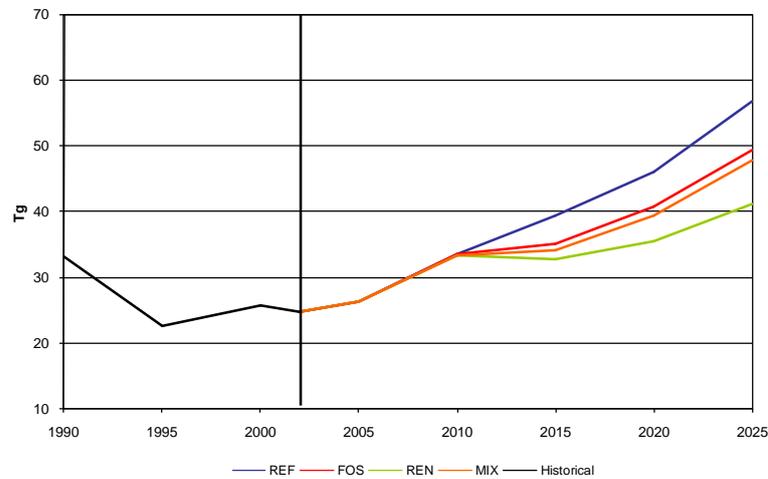


Figura 4. Escenarios de emisiones de CO₂ procedentes del sector energía.

REF: Escenario de Referencia; FOS: Escenario predominantemente fósil; REN: Escenario con gran penetración de energías renovables; MIX: Escenario considera parte reservas fósiles y potenciales energías renovables y la introducción de la energía nuclear.

Fuente: IAEA, 2008.

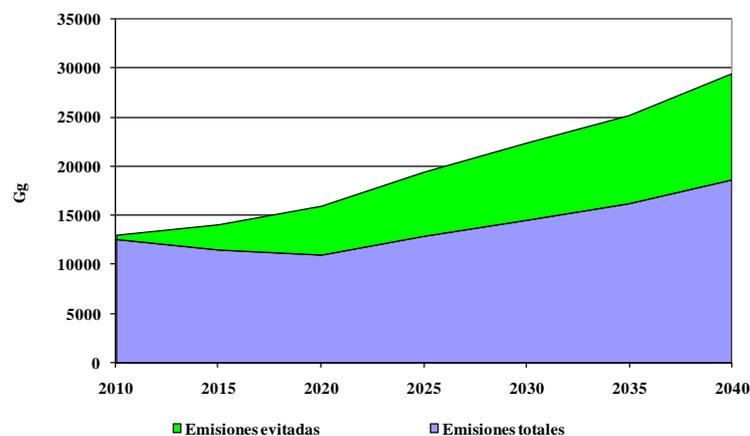


Figura 5. Escenario de mitigación en la generación de electricidad.

Fuente: Pérez, 2012

En el caso de las emisiones de metano procedentes de los desechos sólidos municipales también la tendencia es al incremento (ver figura 6), aunque hay varias opciones de mitigación que ya comienzan a implementarse con la captura y quema en antorchas del CH₄ como es el caso del Proyecto MDL de Gran Escala 2260 “Captura y Destrucción de Metano en los Vertederos Calle 100 en La Habana y Gascón en Santiago de Cuba”.

Varias opciones técnicas en la gestión de los desechos sólidos municipales (DSM) fueron incluidas en los escenarios de mitigación mostrados en la figura 6 tales como (López, 2011):

- Recuperación (captura) del CH₄ generado en los sitios de disposición de los desechos sólidos (SDDS) y su aprovechamiento como fuente de energía, o su destrucción (combustión) en antorchas sin aprovechamiento energético;
- Prácticas alternativas a la disposición en la gestión de los desechos sólidos, con el objetivo de reducir la cantidad de desechos dispuestos en SDDS (especialmente su contenido de materia orgánica);
- Prácticas asociadas con la disposición final de los desechos sólidos que influyen en su descomposición, la generación de CH₄ y la oxidación de CH₄ en las cubiertas de los SDDS. Estas prácticas, relacionadas con los SDDS, tienden mayormente al incremento de las emisiones con la excepción de los tipos de cubiertas de los SDDS que favorecen la oxidación del CH₄.

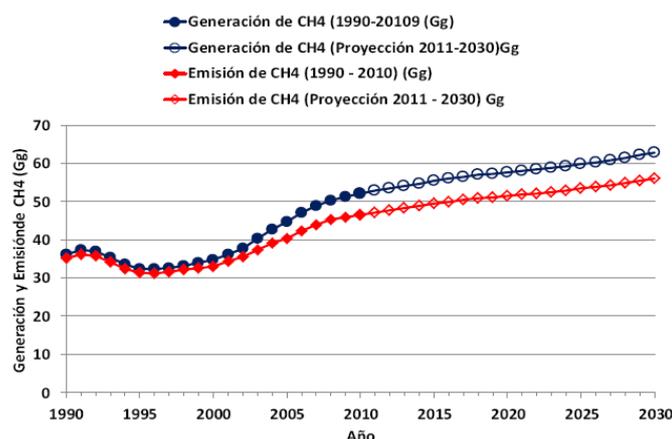


Figura 6. Generación y emisiones de CH₄ procedentes de los desechos sólidos municipales en Cuba y proyecciones.

Fuente: López, 2011.

Otras prácticas en la gestión de los DSM son la minimización, reducción en origen y reutilización (reciclaje) de los DSM.

Aunque no existen proyecciones cuantitativas, pero sí de incremento de los niveles de actividad, se espera un incremento de las emisiones en las industrias manufactureras y de la construcción, sector este último que ha estado muy deprimido en el país, así como el del transporte.

3.2 PROCESO, CRITERIOS Y RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN

En el marco del taller de lanzamiento del TNA, el IX y X SENA, así como teniendo en cuenta los inventarios de emisiones y remociones de GEI y las prioridades nacionales, se realizó la selección preliminar de los sectores y subsectores priorizados. En la selección se

tuvieron en cuenta otros factores que son muy importantes para la ejecución del proyecto TNA como son la existencia de estadísticas detalladas, estudios anteriores y capacidades nacionales de experticia en los mismos.

3.2.1 Criterios para la priorización de sectores y subsectores

La conciliación de los criterios para priorización de los sectores y subsectores no fue una tarea fácil, particularmente en el caso de los subsectores, ya que cada parte interesada buscaba la forma de que el suyo fuera priorizado. No obstante, se lograron conformar y conciliar los criterios cualitativos y cuantitativos para la priorización de los sectores y subsectores que aparecen en la tabla 4, con su definición, tipo y dirección en que se mueven los mismos, quiere decir maximizándose o minimizándose.

La priorización se realiza a partir de un análisis multicriterial basado en el Método NAIADE (Enfoque Novedoso de Evaluación y Decisión sobre Ambientes Imprecisos) (Munda, 1997). Este método fue utilizado por existir experiencia en el país en su uso en los distintos sectores y subsectores y haberse ya utilizado en evaluaciones que se hicieron en el capítulo de mitigación para la II CN a la CMNUCC. No se dispuso de tiempo suficiente en el proyecto para comparar los resultados obtenidos con NAIADE y con el Método de Análisis Multicriterio propuesto en el proyecto TNA. En el Anexo 1 se describe y detalla la metodología del NAIADE.

Los criterios tanto cuantitativos como cualitativos evalúan aspectos económicos, sociales y ecológicos y su peso relativo depende de la cantidad de criterios que cada uno incluya, representando la prioridad que se le asigna a cada dimensión.

En este caso la prioridad de la dimensión económica se realiza asignándole 4 de los 6 criterios definidos, se define 1 para la dimensión social y otro para la ambiental. El peso relativo de los criterios en la dimensión económica es 0.666 y en las dimensiones social y ambiental 0.166, respectivamente. Estos valores son empleados para la evaluación de los sectores y subsectores. Para las tecnologías se utiliza un mayor número de criterios y su peso relativo es distinto como se verá más abajo.

Los criterios que son de tipo cuantitativo, pueden asumir valores en todo el campo de los números reales. Los criterios cualitativos asumen los valores contenidos en la escala predeterminada por el modelo NAIADE para variables cualitativas, tales como: Excelente, Muy Bueno, Bueno, Más o Menos Bueno, Moderado, Más o Menos Malo, Muy Malo y Malísimo.

Tabla 4. Criterios para la priorización de los sectores y subsectores.

| No. | Criterio | Descripción | Tipo | Dirección |
|-----|-------------------------------|---|---|-----------|
| 1 | Aporte a las emisiones de GEI | Contribución a las emisiones de GEI del país | Cuantitativo, miles ton CO ₂ -eq | Máximo |
| 2 | Importancia económica | Aporte económico al PIB | Cualitativo | Máximo |
| 3 | Importancia social | Aporte social/creación empleo | Cualitativo | Máximo |
| 4 | Barreras tecnológicas | Restricciones en el acceso a tecnologías en el sector/subsector | Cualitativo | Mínimo |

| | | | | |
|---|--|--|-------------|--------|
| 5 | Capacidad de instrumentación | Capacidad técnica y regulatoria del sector | Cualitativo | Máximo |
| 6 | Existencia de evaluaciones sectoriales | Disponibilidad de estudio anteriores | Cualitativo | Máximo |

3.2.2 Situación sectorial

En el sector **energía** existen muchas opciones de mitigación donde la eficiencia energética en los usos de la energía tiene un peso importante, pero muchas de medidas de mitigación en este aspecto como el cambio de bombillos y luminarias, la sustitución del queroseno y el alcohol por electricidad en la cocción de alimentos, el cambio de refrigeradores y aires acondicionados, sustitución de bombas de agua, etc. ya se han implementado en el país y no tiene sentido evaluarlas, aunque este es el caso en que el objetivo de estas acciones no fue la mitigación de GEI, sino puramente económico para el país.

En el subsector de **generación de electricidad** y cogeneración, primer subsector seleccionado para este estudio TNA, también existen un importante número de opciones de mitigación como lo es la utilización de fuentes renovables, particularmente la eólica, hidroenergía y la fotovoltaica. La principal fuente renovable en el país lo constituye la biomasa cañera, aunque la forestal también tiene un importante potencial y se verá en cogeneración de electricidad y calor. Opciones de mitigación también existen por cambios de combustibles fósiles, en este caso el uso de gas natural en centrales termoeléctricas existentes y el uso de ciclos combinados con gas natural.

El sector **agricultura**, segundo subsector seleccionado para este estudio TNA, es después de energía, el otro sector con mayor peso en las emisiones de GEI, pero solo se consideró como subsector dentro del sector energía ya que las opciones tecnológicas de mitigación solo están relacionadas con la energía. Las opciones de mitigación son la gasificación de la cáscara de arroz para la producción de calor y electricidad, gasificación de residuos de aserraderos para la producción de electricidad y tratamiento anaeróbico de los residuales porcinos para la producción de electricidad.

El otro subsector seleccionado fue el **transporte**, que aunque tiene menor peso que el sector de desechos y el de procesos industriales según el inventario GEI agregado (Fuente: López, 2009), se considera que está actualmente deprimido y que tendrá un crecimiento acelerado en el futuro inmediato para cubrir la creciente demanda de servicios de transporte que existe en la economía nacional. Otro factor que influyó en la selección del transporte solo como subsector dentro del sector energía, fue la falta de información, estudios anteriores y datos detallados en los casos de los sectores de desechos y el de procesos industriales. Por ello las opciones tecnológicas evaluadas finalmente en el caso del transporte están relacionadas con la energía y por ello se consideró el sector transporte como subsector dentro del sector energía.

Las mayores emisiones en el caso del transporte, corresponden al transporte automotor, que en el caso del transporte de carga se prevé un cambio modal de transporte de carga a cortas distancias de camiones grandes a camiones ligeros y en media y larga distancia el paso de la transportación de carga por camiones a ferrocarril.

En el caso del transporte público de pasajeros se propone la introducción de trenes eléctricos suburbanos y el uso de trolebuses eléctricos urbanos. También se propone el uso de gas natural comprimido en flotas de taxis y en ómnibus urbanos, así como el uso de mezclas de etanol-gasolina y biodiesel-diesel.

3.2.3 Resultados de la priorización preliminar de sectores y subsectores

En la figura 7 se muestra la cuantificación de los criterios para cada sector a partir de lo expresado en el epígrafe 3.2.1 y en la figura 8 la priorización obtenida acorde al análisis multicriterio.

| Criteria | Energía | Procesos industriales | Uso de solventes | Agricultura | Cambio uso de la tierra | Desechos |
|--|-----------|-----------------------|------------------|------------------|-------------------------|----------|
| Aporte emisiones de GEI | 25666 | 1203 | 0 | 6876 | -13808 | 2685 |
| Aporte económico | Bueno | Bueno | Malo | Excelente | Moderado | Malo |
| Aporte social | Excelente | Moderado | Mas o Menos Malo | Excelente | Moderado | Malo |
| Barreras tecnológicas | Moderado | Moderado | Malo | Mas o Menos Malo | Malo | Malo |
| Capacidad de instrumentación | Bueno | Moderado | Moderado | Bueno | Malo | Moderado |
| Existencia de evaluaciones sectoriales | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Bueno | Malo | Bueno |

Figura 7. Cuantificación de criterios para los sectores

Fuente: Elaboración de los autores.

Los resultados mostrados en el ordenamiento multicriterial (figura 8) que presentan a la Energía como el sector prioritario, se corresponde con el peso y aporte que éste tiene en las emisiones de GEI, considerando además el hecho de haber sido el único criterio que fuera posible cuantificar tanto para los sectores como para los subsectores.

Quiere decir que el sector prioritario es indiscutiblemente el sector Energía (ver columna “Intersection” en figura 8, representado por la letra A. Le sigue en prioridad el sector Agricultura (D), Desechos (F), Procesos Industriales (B), Uso de Solventes (C) y finalmente el de Cambio del uso de la tierra (E), que es un sumidero como se aprecia por el signo negativo de las emisiones de este sector en la figura 7.

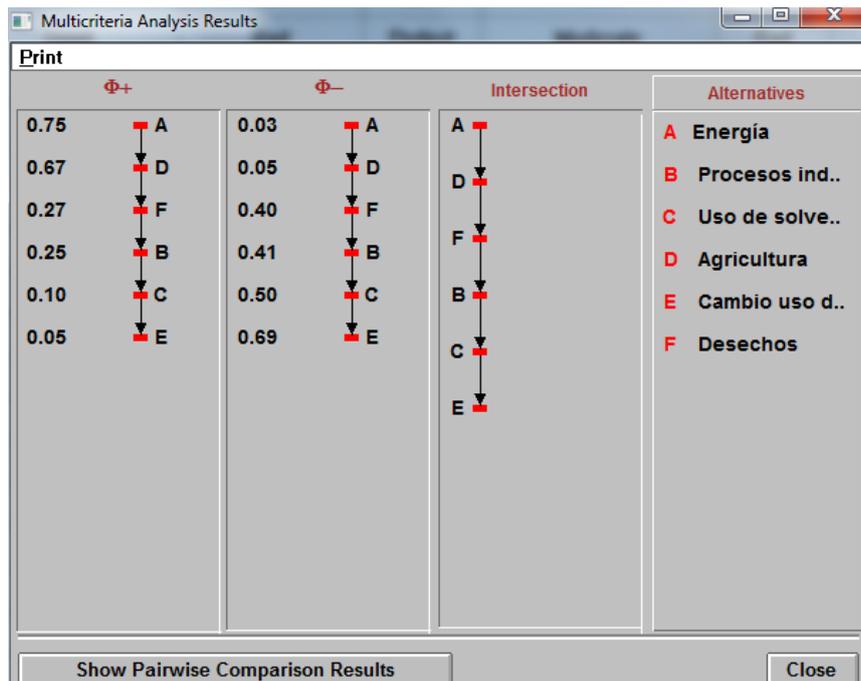


Figura 8. Resultados priorización de los sectores.

Fuente: Elaboración de los autores.

Un segundo paso de análisis multicriterio se realizó sobre el sector energía, dividido en subsectores, para seleccionar los prioritarios. El peso relativo de cada criterio es el mismo que en el caso de los sectores.

En la figura 9 se muestra la cuantificación de los criterios para cada subsector y en la figura 10 la priorización obtenida acorde al análisis multicriterio.

| NAIADE | | | | | |
|--|--------------------------|--|------------|-------------------|------------------|
| File Edit Columns Rows Analysis Show | | | | | |
| Matrix type Impact Case Study Sectors | | | | | |
| Alternatives | Industrias de la energía | Industrias manufactureras y construcción | Transporte | Agricultura | Otros |
| Aporte emisiones de GEI | 11573 | 6617 | 1121 | 920 | 3221 |
| Aporte económico | Muy Bueno | Bueno | Bueno | Mas o Menos Bueno | Malo |
| Aporte social | Excelente | Moderado | Bueno | Bueno | Bueno |
| Barreras tecnológicas | Moderado | Moderado | Malo | Mas o Menos Malo | Mas o Menos Malo |
| Capacidad de instrumentación | Bueno | Moderado | Moderado | Moderado | Bueno |
| Existencia de evaluaciones sectoriales | Bueno | Moderado | Moderado | Bueno | Moderado |

Figura 9. Cuantificación de criterios para subsectores

Fuente: Elaboración de los autores.

El primer subsector prioritario son las industrias de la energía, que en lo adelante referiremos como generación de electricidad, pues esta constituye más del 95% de las emisiones de las industrias de la energía. Este subsector es representado aquí por la letra A.

Aunque el análisis multicriterio indicó que la segunda prioridad era el subsector de industrias manufactureras y construcción (B), al no disponer de suficiente información y de evaluaciones anteriores de este subsector, hizo que fuera excluido.

Como tercera prioridad aparece el subsector transporte (C) y como cuarta prioridad están los subsectores agricultura (D) y el subsector otros (E), al mismo nivel de prioridad (ver columna “Intersection” en figura 10).

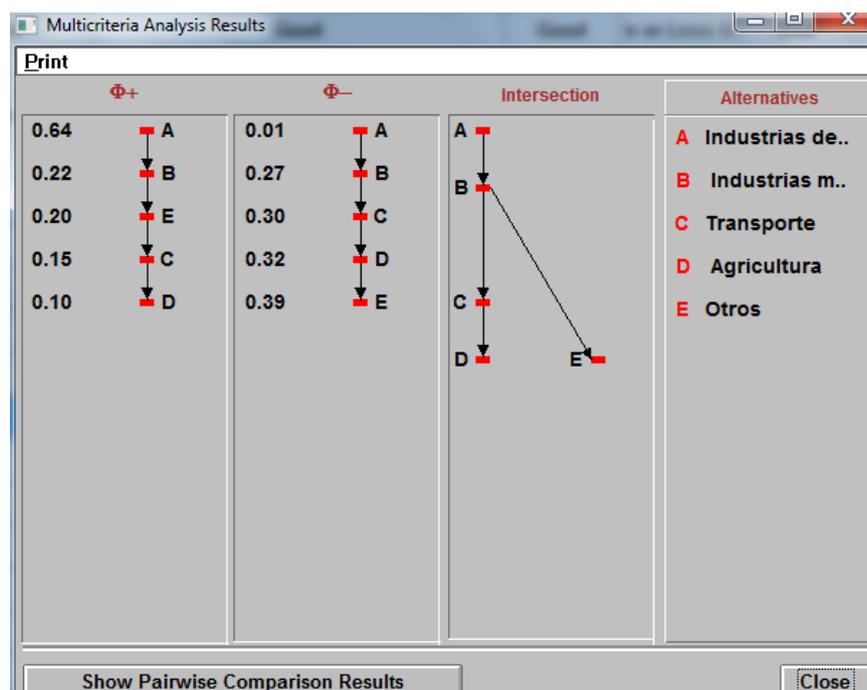


Figura 10. Resultados priorización de subsectores.

Fuente: Elaboración de los autores.

Finalmente el sector y los subsectores seleccionados para el estudio TNA en mitigación fueron los que se muestran a continuación en la tabla 5:

Tabla 5. Priorización de sectores y subsectores.

| Tema | Sector | Subsector |
|------------|---------|----------------------|
| Mitigación | Energía | Generación eléctrica |
| | | Transporte |
| | | Agricultura |

Fuente: Elaboración de los autores

4. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA – SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

4.1 EMISIONES DE GEI EN EL SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD Y TECNOLOGÍAS EXISTENTES

En la figura 11 se muestra el comportamiento de las emisiones de CO₂ y SO₂ procedentes de la generación de electricidad en años pares desde 1990 al 2004 (último inventario de GEI publicado en el país). Se observa una reducción forzada de las emisiones en 1992 por la crisis que afectó al país, donde se redujo de forma importante la generación de electricidad, para seguir una tendencia a crecer. Las mismas se deben a que el 94.4% de la generación se realizó utilizando combustibles fósiles (81.3% en termoeléctricas con crudo y fuel oil, 12% en turbinas de gas con gas y 1.1% en motores diesel con diesel) y el 5.6% utilizando fuentes renovables. A partir de 1998 se incrementan las emisiones de SO₂ por el uso de gas acompañante del petróleo en la generación de electricidad.

Sin embargo, esta matriz de generación cambió. En el 2010, aunque se incrementa la generación utilizando combustibles fósiles hasta el 96.8%, se reducen las termoeléctricas hasta el 61% y se incrementa la generación en motores diesel (que utilizan fuel oil y diesel), que son mucho más eficientes. Por tanto se reduce el ritmo de crecimiento de las emisiones.

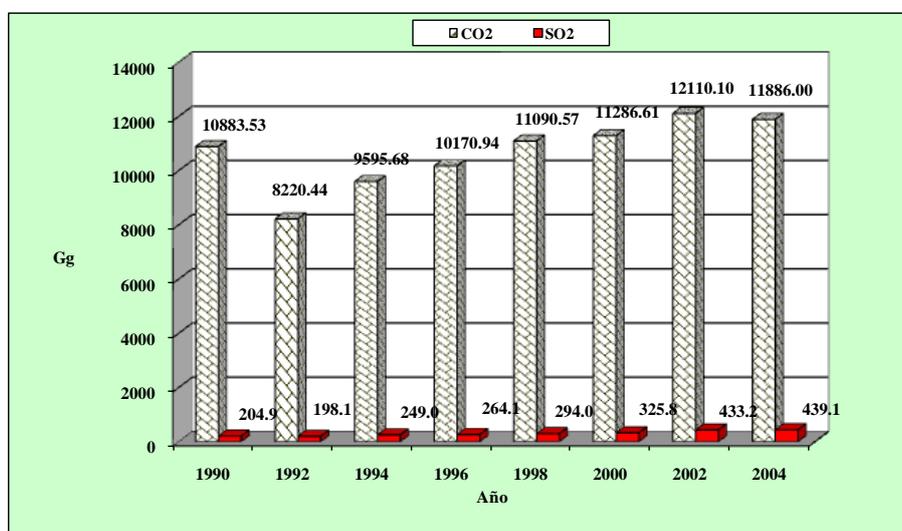


Figura 11. Emisiones de CO₂ y SO₂ procedentes de la generación de electricidad
Fuente: López, 2009.

4.2 VISIÓN GENERAL DE LAS OPCIONES DE MITIGACIÓN Y SUS BENEFICIOS

El proceso para la selección de las tecnologías para mitigación del cambio climático se realizó en varios pasos. Primero analizando todas las posibles tecnologías como las 41 que aparecen en el Manual para realizar una Evaluación de Necesidades de Tecnología para el Cambio Climático (lista indicativa de tecnologías para la mitigación) en la producción de electricidad, las 25 que aparecen para el transporte y las 7 que aparecen en la agricultura, que totalizan 73 tecnologías. De ahí se descartaron las que no se ajustan a las prioridades nacionales, las condiciones socio-económicas, climáticas, del país y las que no tenían relación con el sector energía.

El siguiente paso fue revisar y analizar las tecnologías que se habían evaluado en estudios anteriores relacionados con la mitigación. Posteriormente en los talleres sectoriales se realizó la consulta final, lo que arrojó luego de ciertas discrepancias de los participantes como consenso que se evaluarán las 8 tecnologías que aparecen como opciones de mitigación en el subsector de generación de electricidad en la tabla 6. En el subsector agricultura y transporte se evaluaron 3 y 6 tecnologías respectivamente como se verá más adelante y siguiendo similar procedimiento.

Tabla 6. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector Generación de Electricidad.

| Opción tecnológica | Cambio a gas natural de termoeléctricas existentes |
|--|--|
| <p>El país dispone de una capacidad instalada en centrales termoeléctricas (CTE) de 2488 MW, las cuales utilizan crudo nacional o fuel oíl importado. El uso específico de combustible promedio en estas centrales es de 279 g/kWh (ONE, 2011).</p> <p>Se propone como opción de mitigación la utilización de gas natural en unidad de 300 MW. La opción es evaluada tomando como referencia los mismos 300 MW utilizando fuel oíl. Las características técnicas de opción de mitigación son similares a la que sustituye en cuanto a capacidad instalada y vida útil. Sin embargo, tiene un factor de utilización y una eficiencia un 10% mayor, menores costos de Operación y Mantenimiento (O&M) y de combustible y un costo de inversión unitario de 300 \$/kWe instalado (CFE, 2010).</p> | |
| <p>Beneficios: La opción tiene de inversión \$90 millones, pero se compensa con los ahorros en costos de O&M y combustibles con una ganancia de \$16.6 millones evitando anualmente 407 ktCO_{2-eq} a un costo de la tonelada de CO_{2-eq} evitada de -\$40.9</p> | |
| Opción tecnológica | Incorporación de ciclos combinados con gas natural |
| <p>Los ciclos combinados comenzaron a utilizarse en la generación de electricidad en el año 2003 cuando se incorporó una turbina de vapor a las turbinas de gas de la empresa mixta ENERGAS en Varadero. En el 2010 se encuentran instalados en ENERGAS Varadero un total de 455 MW, de los cuales 180 MW corresponden a un ciclo combinado (3</p> | |

turbinas de gas de 35 MW y 1 turbina de vapor de 75 MW) (ONE, 2011).

El proyecto de conversión del ciclo simple a ciclo combinado de ENERGAS Varadero constituye el proyecto MDL 0198 que inició en el 2007 y se extiende al 2028 y evitará en 21 años de operación, emisiones por un valor de 7 186 935 de CER (Navarro, 2011). Actualmente se encuentran además instalados 175 MW en 5 turbinas de gas de 35 MW las cuales formarán junto a una turbina de vapor el próximo ciclo combinado a instalarse en el 2012 con una capacidad total de 325 MW, que también se está proponiendo como proyecto MDL.

Esta tecnología de ciclo combinado (pero utilizando el gas acompañante del petróleo, que recibe primero un proceso de desulfurización profunda) ya se explota en el país de forma exitosa y ha demostrado sus beneficios tanto por el aumento de la eficiencia con relación a otras tecnologías como por la reducción de emisiones.

El ciclo combinado que se propone utilizará gas natural procedente de la regasificación de gas natural licuado (GNL) importando y sustituirá como opción de mitigación a una termoeléctrica utilizando fuel oil de igual capacidad, 180 MW.

Beneficios: Los factores de utilización de ambas tecnologías y su vida útil serían iguales, pero se incrementará la eficiencia en 10%. El costo de inversión sería de 802 \$/kWe y que de una CTE (1317 \$/kWe). Los costos de O&M y de combustible (CFE, 2010) son menores con un ahorro de \$51 millones anuales y se evitan anualmente 452 ktCO_{2-eq} por cada tecnología instalada a un costo de la tonelada de CO_{2-eq} evitada de -\$113.

Opción tecnológica

Utilización de turbinas de extracción-condensación con bagazo

Actualmente están en funcionamiento en el país 62 centrales azucareros con una capacidad de cogeneración de 498 MW. La tecnología instalada se basa en el ciclo Ranking. La capacidad de las calderas instaladas oscila entre 15 y 80 t/h, con presiones de vapor entre 10 y 28 bar. Las turbinas de vapor son de contrapresión y su potencia unitaria está entre los 1 y 12 MW, con más de 25 años de explotación.

La quema de la biomasa cañera se realiza con el objetivo de producir vapor para el proceso de producción de azúcar y para la cogeneración de electricidad. Como promedio en el país en el 2010 los centrales cogeneraron 36.6 kWh/tcm (tcm- tonelada de caña molida), aunque hay centrales que llegaron a 48.7 kWh/tcm. Elevando los parámetros y con turbinas de extracción-condensación se pueden llegar a obtener 120 kWh/tcm y es la opción de mitigación que se considera, que sustituye a una termoeléctrica de 180 MW.

Beneficios: Esta opción de mitigación tiene 5% menor de eficiencia y de factor de utilización que la termoeléctrica, con igual vida útil, con costos de inversión de \$1725/kWe (y la CTE \$1317/kWe), pero con costos insignificantes de combustible (aquí se consideró de 2 \$/GJ asociados a la manipulación, transportación), con ahorro anual de

| | |
|--|---|
| \$97 millones, evitando por unidad 993 ktCO _{2-eq} con un costo de la tCO _{2-eq} evitada de - \$98. | |
| Opción tecnológica | Ciclos combinados con gasificación integrada utilizando biomasa forestal |
| <p>La gasificación de la biomasa y su utilización en turbinas de gas es una práctica común, pero con baja eficiencia. Actualmente se evalúa a escala piloto el aprovechamiento de la energía que aún tienen los gases de escape en una turbina de vapor, con el objetivo de completar el ciclo combinado e incrementar la eficiencia del proceso a un valor similar al de una termoeléctrica convencional. La introducción de esta tecnología tiene grandes perspectivas, y ya existen plantas por ejemplo, en la Isla de la Juventud donde funciona un motor diesel de 50 kW con gasificación de biomasa forestal.</p> <p>Debido a que en Cuba existe un potencial importante de biomasa forestal, es que se evalúa como opción de mitigación respecto a una termoeléctrica convencional de 100 MW.</p> | |
| <p>Beneficios: Tiene un 5% menor de factor de utilización y costos de inversión de \$2000/kWe instalado (IEA, 2007) que es mucho mayor a los de una termoeléctrica (\$1317/kWe instalado) pero al igual que en el caso anterior, el costo de combustible es insignificante (\$2/GJ), con un ahorro anual de \$57 millones respecto a la termoeléctrica, evitando 553 ktCO_{2-eq} a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$103.</p> | |
| Opción tecnológica | Hidroeléctricas |
| <p>Cuba dispone de 62 MW instalados en 180 instalaciones hidroeléctricas (1 central hidroeléctrica de 43 MW, 7 pequeñas centrales hidroeléctricas, 35 minihidroeléctricas y 137 microhidroeléctricas). De ellas, 31 instalaciones están conectadas al sistema eléctrico y 149 son aisladas. Estas últimas son 4.7 MW y benefician a unos 35 000 habitantes, 78 instituciones de salud, 138 de educación y 188 objetivos económicos y sociales.</p> <p>Las centrales hidroeléctricas que se proponen como opción de mitigación considerando la intermitencia de la fuente en diferentes épocas del año, reemplazarán una generación equivalente de motores diesel (conocidos en Cuba como grupos electrógenos) que utilizan fuel oíl para generar electricidad (100 MW), que también pueden no operar todo el tiempo.</p> | |
| <p>Beneficios: El factor de utilización es 45% cuando los motores diesel tienen 85%, pero con una vida útil de 50 años contra 25 en los motores diesel. El costo de inversión es de \$3000/kWe instalado (IEA, 2010) y \$950/kWe instalado los motores diesel. No tienen costo de combustible, lo que compensa los elevados costos de inversión y comparado con los motores diesel representan un ahorro anual de \$16.5 millones, evitando 252</p> | |

| | |
|---|--|
| ktCO _{2-eq} a un costo de de la tCO _{2-eq} evitada de -\$65. | |
| Opción tecnológica | Parques eólicos |
| <p>Actualmente existen en el país 4 parques eólicos (20 aerogeneradores) que totalizan 11.7 MW. Los parques son de diferentes tecnologías, el primero fue demostrativo y los otros 3 han permitido evaluar diferentes tecnologías en las condiciones climáticas cubanas. Por la intermitencia del viento, esta opción de mitigación se compara con motores diesel operando con fuel oíl (100 MW), garantizando un nivel de generación equivalente. El factor de utilización es del 25% mientras que los motores diesel tienen 85%.</p> | |
| <p>Beneficios: Aunque el costo de inversión es elevado (\$2000/kWe instalado) al no tener costos de combustible (IEA, 2010) se logra un ahorro de \$6.7 millones, evitando 143 ktCO_{2-eq} con un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$47.</p> | |
| Opción tecnológica | Solar fotovoltaica conectada a la red |
| <p>Actualmente existen instalados en el país 9624 paneles fotovoltaicos que totalizan 2.5 MWp. La radiación solar diaria promedio del país es de 5.16 kWh/m² día, la cual permitiría que se puedan instalar conectados a la red un potencial estimado de 2100 MW (Presa, 2011). Las centrales solares que se construyan como opción de mitigación reemplazarán una cantidad equivalente de motores diesel que utilizan fuel oíl para generar electricidad (100 MW).</p> | |
| <p>Beneficios: El costo de inversión es muy elevado (\$4000/kWe instalado) (IEA, 2010) y el factor de utilización sería de 31% a partir de las horas promedios de sol en Cuba, pero los costos de inversión y de O&M se compensan con que no hay costos de combustibles con un ahorro anual de \$3.6 millones, evitándose 261 ktCO_{2-eq} anualmente a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$14.</p> | |
| Opción tecnológica | Reactor nuclear |
| <p>Estudios recientes realizados por el IPCC y la Agencia Internacional de Energía sobre la mitigación de GEI en el sector energético consideran ya la energía nuclear como una de las tecnologías que contribuirá a lograr este propósito.</p> <p>Actualmente se investiga mucho en la generación III+ IV de reactores nucleares, los cuales tienen entre sus características principales mayor seguridad, confiabilidad, tiempo de operación, menor periodo de construcción, menor generación de desechos, menor posibilidad de contribuir a la proliferación, etc. Como opción de mitigación se considera un reactor de 125 MW en lugar de una termoeléctrica, con factor de utilización de 90%,</p> | |

vida útil de 40 años.

Beneficios: El elevado costo de inversión de \$3700/kWe instalado (IEA, 2010), (aunque República de Corea reporta valores de \$1556/kWe instalado en los 6 reactores que está construyendo) y los costos de O&M de \$111/kW se compensan con los bajos costos de combustible de \$9/MWh (que incluyen la producción del combustible como tal, su almacenamiento y su disposición final) con un ahorro anual de \$73.4 millones, evitando 790 ktCO_{2-eq} anualmente a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$93.

4.3 CRITERIOS Y PROCESO DE PRIORIZACIÓN

El concepto “tecnología” comprende tecnologías duras (hardware) como equipos y productos que pueden controlar, reducir o prevenir emisiones de GEI en los diferentes sectores y subsectores según nomenclatura Inventarios GEI IPCC, para mejorar la absorción en sumideros, tecnologías blandas (software) como creación capacidades, gestión, formación, investigación, incentivos y tecnologías (orgware) relacionadas con regulaciones, legislaciones, etc.

Los criterios de evaluación para la priorización de las tecnologías fueron seleccionados y conciliados con las partes interesadas durante los talleres y consultas con expertos de diferentes sectores, como se explica en el epígrafe 3.2.1 y se muestran en la tabla 7. Los mismos se aplicaron para cada tecnología teniendo en cuenta sus particularidades, como las capacidades de la industria nacional, los desarrollos propios, la disponibilidad de información e investigaciones previas, la experiencia de explotación, las barreras legales, institucionales, regulatorias y sobre todo financieras, la disponibilidad de recursos energéticos, la dependencia de las importaciones, el bloqueo económico y financiero impuesto por Estados Unidos a la isla, etc.

En este subsector específicamente, a la dimensión económica corresponden 10 criterios del total de 15 definidos, 3 corresponden a la dimensión social y 2 a la ambiental. Por tanto el peso relativo de los criterios en la dimensión económica fue 0.666, en la social de 0.2 y en la ambiental de 0.133.

Tabla 7. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector Generación de Electricidad.

| Criterio | Descripción/Unidad de medida | Tipo | Dirección |
|--|--|--------------|-----------|
| Costo de inversión | Costo del kWe instalado que incluye el costo capital + los intereses durante la construcción, \$/KWe | Cuantitativo | Mínimo |
| Costo de la tonelada de CO _{2-eq} evitada | Costo anualizado (inversión+O&M+combustibles)/tCO _{2-eq} evitadas, \$/ tCO _{2-eq} evitadas | Cuantitativo | Mínimo |
| Barreras culturales | No aceptación pública de la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Suficiencia nacional (seguridad energética) | Disponibilidad del combustible en fronteras | Cualitativo | Máximo |

| | | | |
|--------------------------------------|---|--------------|--------|
| Capacidad de instrumentación | Capacidad técnica y regulatoria para instrumentar la tecnología | Cualitativo | Máximo |
| Aumento del bienestar | Beneficios para la población (generación de empleo y otros) | Cualitativo | Máximo |
| Población con acceso a la tecnología | Población afectada favorablemente (difiere según la tecnología y su ubicación) | Cualitativo | Máximo |
| Barreras tecnológicas | Restricciones en el acceso a la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto sobre otro sector | Interacción favorable con otro sector | Cualitativo | Máximo |
| Requerimientos espaciales | Espacio físico requerido por la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto ambiental negativo | Efecto negativo sobre el medio ambiente | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto ambiental positivo | Efecto positivo sobre el medio ambiente | Cualitativo | Máximo |
| Vulnerabilidad | Se refiere a las incertidumbres y riesgos de la tecnología para el país | Cualitativo | Mínimo |
| Plazo de implementación | Tiempo en que la tecnología está disponible, incluye tiempo de construcción, años | Cuantitativo | Mínimo |
| Persistencia a largo plazo | Vida útil de la tecnología | Cualitativo | Máximo |

4.4 RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN EN EL SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

El análisis detallado de cada una de las opciones tecnológicas anteriores, la consulta con las partes interesadas, el criterio de expertos y del equipo ENT arrojó las cuantificaciones de los criterios para la priorización que aparecen en la figura 12.

The screenshot shows a software interface with a menu bar (File, Edit, Columns, Rows, Analysis, Show) and a title bar (Energía - Generación de electricidad). The main content is a matrix with 'Criteria' on the y-axis and 'Alternatives' on the x-axis. The alternatives are CC, CTE con gas, BIGCC, TV bagazo, CEN, Parque eólico, Hidroeléctrica, and Fotovoltaica en red. The criteria include Costo de inversión, Costo ton CO2 evitada, Barreras culturales, Seguridad energética, Cap de instrumentación, Aumento del bienestar, Pob c/acceso a tecnol, Barreras tecnológicas, Impacto s/ otro sector, Requerimientos espaciales, Imp ambiental negativo, Imp ambiental positivo, Vulnerabilidad, Plazo de implementación, and Persistencia a largo plazo. The matrix cells contain qualitative or quantitative values for each criterion-alternative pair.

| Criteria \ Alternatives | CC | CTE con gas | BIGCC | TV bagazo | CEN | Parque eólico | Hidroeléctrica | Fotovoltaica en red |
|----------------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------|---------------------|
| Costo de inversión | 802 | 300 | 2000 | 1725 | 3700 | 2000 | 3000 | 4000 |
| Costo ton CO2 evitada | -112.99 | -40.92 | -103.41 | -98.06 | -92.82 | -47.19 | -65.42 | -13.78 |
| Barreras culturales | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Malo | Excelente | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Seguridad energética | Moderado | Moderado | Excelente | Excelente | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Cap de instrumentación | Excelente | Excelente | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Malo | Moderado | Muy Bueno | Moderado |
| Aumento del bienestar | Moderado | Moderado | Muy Bueno | Mas o Menos Bueno | Muy Bueno | Moderado | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Pob c/acceso a tecnol | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente |
| Barreras tecnológicas | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Moderado | Excelente | Moderado | Moderado | Moderado |
| Impacto s/ otro sector | Malo | Malo | Mas o Menos Bueno | Moderado | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Moderado |
| Requerimientos espaciales | Malísimo | Malo | Malo | Malo | Bueno | Mas o Menos Bueno | Malo | Moderado |
| Imp ambiental negativo | Malísimo | Malísimo | Mas o Menos Malo | Moderado | Mas o Menos Malo | Muy Malo | Muy Malo | Malo |
| Imp ambiental positivo | Moderado | Malo | Mas o Menos Bueno | Mas o Menos Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Vulnerabilidad | Muy Malo | Muy Malo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado |
| Plazo de implementación | 3 | 1 | 4 | 4 | 7 | 2 | 3 | 1 |
| Persistencia a largo plazo | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Mas o Menos Bueno | Excelente | Moderado |

Figura 12. Asignación de valores a los criterios de priorización en el subsector generación de electricidad.

Fuente: Elaboración de los autores.

En el caso de las tecnologías de ciclos combinados y cambio a gas de CTE la vulnerabilidad es elevada (criterio como muy malo) ya que es un riesgo la importación de esas tecnologías para el país y además la dependencia de la importación de gas lo incrementa.

Luego de considerar todos los criterios definidos anteriormente como resultado del análisis multicriterio se muestra en la figura 13 el ordenamiento de las opciones de mitigación evaluadas.

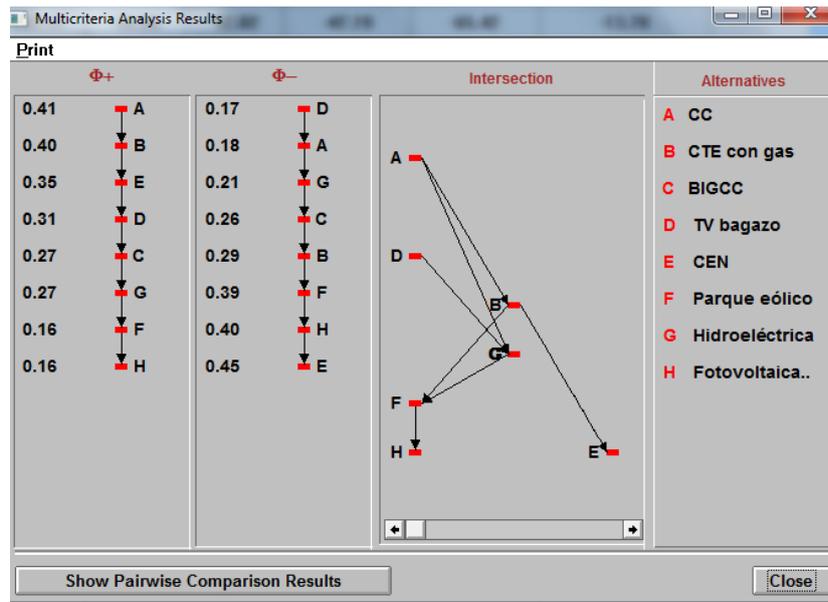


Figura 13. Ordenamiento de las opciones de mitigación en el subsector generación de electricidad.

Fuente: Elaboración de los autores.

Donde:

- A: Ciclo combinado con gas (CC)
- B: Cambio a gas de centrales termoeléctricas (CTE con gas)
- C: Ciclo combinado con gasificación íntegra de biomasa forestal (BIGCC)
- D: Turbina de extracción – condensación con bagazo (TV bagazo)
- E: Central nuclear (CEN)
- F: Parque eólico
- G: Hidroeléctrica
- H: Fotovoltaica conectada a la red (Fotovoltaica)

Por la cantidad de emisiones evitadas anuales (ver tabla 6) la mejor opción tecnológica es la utilización de turbinas de extracción – condensación con bagazo en lugar de una termoeléctrica y la que menos emisiones evita son los parques eólicos en lugar de motores diesel con fuel oil. La tecnología de menor costo de la tCO_{2-eq} evitada es el ciclo combinado con gas en lugar de una termoeléctrica y la de mayor costo de la tCO_{2-eq} evitada es la fotovoltaica conectada a la red. El costo de la tonelada de CO₂ evitada es negativo para todas las opciones (ver figura 12).

Cuando se hace el análisis multicriterio (ver columna “Intersection” en figura 13) la mejor tecnología es el ciclo combinado con gas, seguida del cambio a gas de las centrales termoeléctricas y la hidroeléctrica al mismo nivel de prioridad, la BIGCC y la turbina de extracción – condensación con bagazo al mismo nivel de prioridad, le siguen los parques eólicos y finalmente compiten la fotovoltaica conectada a la red y la central electronuclear al mismo nivel de prioridad.

5. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA- SUBSECTOR AGRICULTURA

5.1 EMISIONES DE GEI EN EL SUBSECTOR AGRICULTURA Y TECNOLOGÍAS EXISTENTES

En la figura 14 se muestra el comportamiento de las emisiones del subsector agricultura dentro del sector de energía, quiere decir de la quema de combustibles en la agricultura. Excepto en el año 1996, las emisiones tienen una tendencia general a decrecer, aunque se espera que a partir del 2004 continúen creciendo debido al incremento de la actividad agrícola que está ocurriendo en los últimos años.

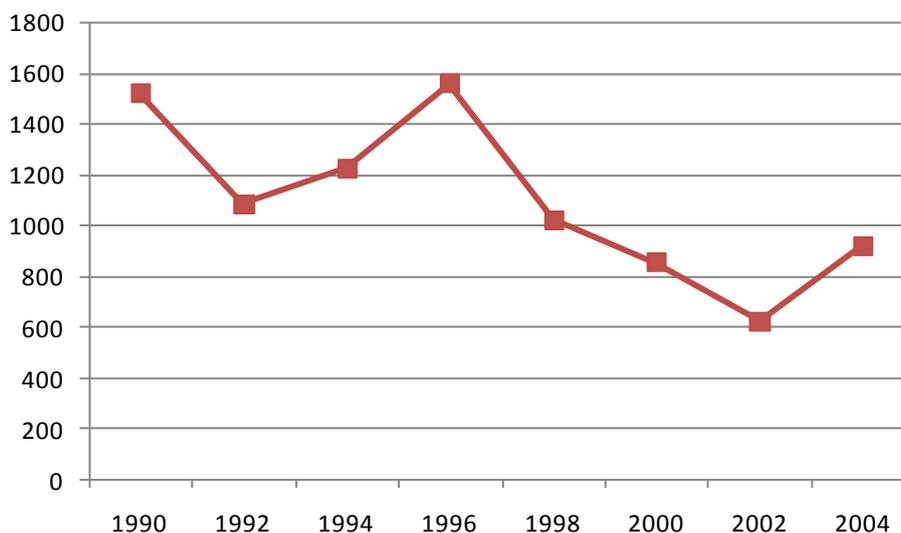


Figura 14. Emisiones de CO₂-eq provenientes del subsector agricultura, Gg.
Fuente: Elaboración de autores a partir de López, 2009.

5.2 VISIÓN GENERAL DE LAS OPCIONES DE MITIGACIÓN EN EL SUBSECTOR AGRICULTURA Y SUS BENEFICIOS

El proceso para seleccionar las tecnologías en este subsector fue similar al descrito en el epígrafe 4.2. Las 3 opciones tecnológicas finalmente evaluadas en el subsector agricultura dentro del sector energía se describen con sus beneficios en la tabla 8.

Tabla 8. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector agricultura

| Opción tecnológica | Gasificación de la cascara de arroz para la producción de calor y electricidad. |
|---|---|
| <p>El procesamiento industria del arroz en Cuba se realiza por medio de una base industrial que cuenta con 10 complejos industriales arroceros (molino y secadero), 29 instalaciones de secado y 13 molinos. Anualmente se procesan más de 500 000 t de arroz húmedo que dan lugar a mas de 50 000 t de cascara de arroz como residuo agroindustrial. La deposición de estos residuales al aire libre constituye hoy un problema de orden ambiental para la industria.</p> <p>La opción tecnológica considerada es la gasificación de la cascara de arroz, el uso del gas producido para la sustitución del diesel utilizado en el secado del arroz y el gas excedente en la producción de electricidad por medio de grupos moto-eléctricos. Como resultado de su implementación se sustituiría totalmente el uso del diesel en el secado, la industria se autoabastecería de electricidad y entregaría a red eléctrica el exceso producido. La capacidad eléctrica a instalar asciende a los 20 MWe.</p> | |
| <p>Beneficios: Esta opción tiene un costo de inversión de 86 millones de \$. Los ingresos netos por la sustitución del diesel y el costo evitado al sistema eléctrico (SEN) por la electricidad generada son del orden de los 18 millones de \$ anuales. Las emisiones anuales evitadas ascienden a los 120 ktCO_{2-eq} a un costo de 150 \$/tCO_{2-eq}</p> | |
| Opción tecnológica | Gasificación de residuos de aserraderos para la producción de electricidad. |
| <p>La industria del procesamiento de la madera es una actividad que por naturaleza produce significativas cantidades de residuos de biomasa. En el caso de Cuba se procesan aproximadamente 200 000 m³ de madera anualmente lo que se estima produce un volumen de residuos en el orden de los 90 000 m³. Debido a que la capacidad productiva de estos aserraderos no permite la instalación de capacidades de generación eléctrica superiores a los 2 MW, se ha escogido como tecnología para su uso en la generación de electricidad, la gasificación de biomasa.</p> <p>Por medio de esta opción es posible instalar cerca de 19 MW de potencia, abastecer la industria y convertirse en un generador neto de electricidad, a la vez que se resuelve el problema medio ambiental asociado a la deposición de estos residuos, se reduce el peligro de incendios.</p> | |
| <p>Beneficios: El costo de inversión para implementar esta opción se estima en 38 millones</p> | |

de \$ y los ingresos por el costo evitado al SEN en la generación de electricidad está en el orden de los 11,5 millones de \$. Las emisiones evitadas ascienden a 69 ktCO_{2-eq} a un costo de 166 \$/tCO_{2-eq}.

Opción tecnológica

Tratamiento anaeróbico de los residuales porcinos para la producción de electricidad.

La producción de cerdo tiene asociado la evacuación de residuos altamente contaminantes, que al descomponerse de manera incontrolada en condiciones anaeróbicas se convierten en importantes fuentes de emisión de gases de efecto invernadero. En el país el sector empresarial procesa anualmente cerca de 500 000 cerdos por lo que el uso del tratamiento anaeróbico de los mismos es una opción tecnológica que a la vez que resuelve el impacto negativo sobre el medio ambiente local, evita emisiones de GEI relativamente importantes y permite generar electricidad para satisfacer las necesidades del sector y vender a la red eléctrica nacional.

Se ha estimado un potencial de instalación de 8 MWe de capacidad de generación de electricidad.

Beneficios: El costo de inversión estimado para implementar esta opción esta en el orden de los 18 millones de \$ y el valor de la generación de electricidad evitada al SEN asciende a 7,5 millones de \$. Se evita la emisión de más de 180 ktCO_{2-eq} anualmente, a un costo de 41,6 \$/tCO_{2-eq}.

5.3 CRITERIOS Y PROCESO DE PRIORIZACIÓN

Los criterios para la priorización de las opciones tecnológica en el subsector agricultura dentro del sector energía se muestran en la tabla 9, muy similares a los utilizados en el subsector de generación de electricidad, aunque se adicionaron nuevos criterios.

En este subsector se mantiene como en todo el estudio la prioridad de la dimensión económica y por ende, un peso superior para los criterios que la evalúan considerando 12 criterios del total de 18 definidos (peso relativo de 0.666).

Tabla 9. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector Agricultura

| Criterio | Descripción/Unidad de medida | Tipo | Dirección |
|---------------------------------|--|--------------|-----------|
| Madurez tecnológica | Grado en que la tecnología es práctica común a nivel internacional o en determinadas regiones o países | Cualitativo | Máximo |
| Costo de inversión | Costo del kWe instalado que incluye el costo capital + los intereses durante la construcción, \$/KWe | Cuantitativo | Mínimo |
| Toneladas de CO _{2-eq} | Cantidad de CO _{2-eq} evitadas, CO _{2-eq} | Cuantitativo | Máximo |

| | | | |
|---|--|--------------|--------|
| evitadas | | | |
| Costo de la tonelada de CO ₂ -eq evitada | Costo anualizado (inversión+O&M+combustibles)/tCO ₂ -eq evitadas, \$/ tCO ₂ -eq evitadas | Cuantitativo | Mínimo |
| Costo evitado al SEN | Costo de la electricidad evitada al sistema eléctrico, millones \$ | Cuantitativo | Máximo |
| Barreras culturales | No aceptación pública de la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Suficiencia nacional (seguridad energética) | Disponibilidad del combustible en fronteras | Cualitativo | Máximo |
| Capacidad de instrumentación | Capacidad técnica y regulatoria para instrumentar la tecnología | Cualitativo | Máximo |
| Aumento del bienestar | Beneficios para la población (generación de empleo y otros) | Cualitativo | Máximo |
| Población con acceso a la tecnología | Población afectada favorablemente (difiere según la tecnología y su ubicación) | Cualitativo | Máximo |
| Barreras tecnológicas | Restricciones en el acceso a la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto sobre otro sector | Interacción favorable con otro sector | Cualitativo | Máximo |
| Requerimientos espaciales | Espacio físico requerido por la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto ambiental negativo | Efecto negativo sobre el medio ambiente | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto ambiental positivo | Efecto positivo sobre el medio ambiente | Cualitativo | Máximo |
| Vulnerabilidad | Se refiere a las incertidumbres y riesgos de la tecnología para el país | Cualitativo | Mínimo |
| Plazo de implementación | Tiempo en que la tecnología está disponible, incluye tiempo de construcción, años | Cuantitativo | Mínimo |
| Persistencia a largo plazo | Vida útil de la tecnología | Cualitativo | Máximo |

5.4 RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN EN SUBSECTOR AGRICULTURA

El análisis detallado de cada una de las opciones tecnológicas anteriores, la consulta con las partes interesadas, el criterio de expertos y del equipo TNA arrojó las cuantificaciones de los criterios para la priorización que aparecen en la figura 15. Las cuantificaciones de los criterios cuantitativos se obtuvieron del grupo de expertos sectorial que trabaja estos temas.

| NAIADE | | | | |
|--------------------------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------|----------------------------|
| File Edit Columns Rows Analysis Show | | | | |
| Matrix type | Impact | Case Study | | |
| | | Energía - Agricultura | | |
| Criterios | Alternativas | Gasificación arroz | Gasificación aserraderos | Tratamiento resid porcinos |
| | Costo de inversión | | 86 | 38 |
| Costo ton CO2 evitada | | 150 | 166 | 41.6 |
| Barreras culturales | | Moderado | Moderado | Muy Malo |
| Seguridad energética | | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Cap de instrumentación | | Muy Bueno | Muy Bueno | Moderado |
| Aumento del bienestar | | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Pob c/ acceso a tecnol | | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Barreras tecnológicas | | Moderado | Moderado | Muy Malo |
| Impacto s/ otro sector | | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo |
| Requerimientos espaciales | | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo |
| Imp ambiental negativo | | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo |
| Imp ambiental positivo | | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo |
| Vulnerabilidad | | Moderado | Moderado | Muy Malo |
| Plazo de implementación | | 2 | 2 | 1 |
| Persistencia a largo plazo | | Moderado | Moderado | Moderado |
| Madurez tecnologica | | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo |
| Emisiones evitadas CO2 eq | | 120 | 69 | 180 |
| Costo evitado al SEN | | 18 | 11.5 | 7.5 |

Figura 15. Asignación de valores a los criterios de priorización del subsector agricultura.
Fuente: Elaboración de los autores.

Como resultado del análisis multicriterio se obtuvo la priorización de las tecnologías en el subsector agricultura que se muestran en la figura 16 (ver columna “Intersection”). La primera prioridad dentro del subsector agricultura fue el tratamiento anaeróbico de los residuos porcinos para la producción de electricidad (C) ya que tiene el menor costo de inversión, menor costo de la tCO₂*-eq evitada y la que más emisiones evita. Sin embargo, es la que menos electricidad evita al sistema eléctrico. La segunda prioridad es la gasificación de la cascara de arroz para la producción de calor (A) y electricidad. La gasificación de los residuos de los aserraderos para la generación de electricidad (B) constituyó la tercera prioridad del subsector.

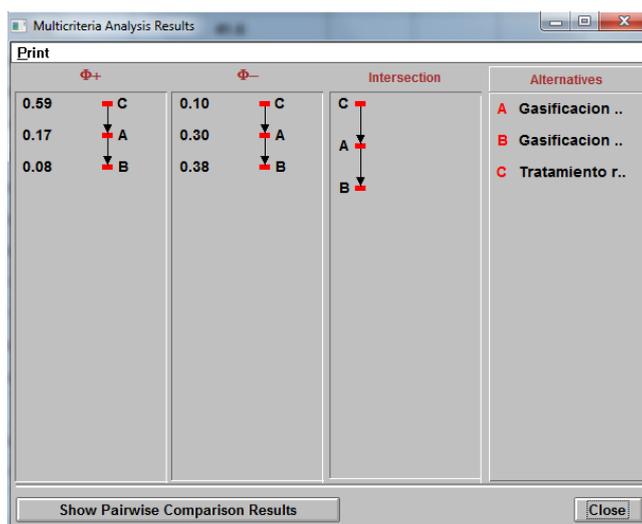


Figura 16. Ordenamiento de las opciones de mitigación del subsector agricultura.
Fuente: Elaboración de los autores.

6. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA- SUBSECTOR TRANSPORTE

6.1 EMISIONES DE GEI EN EL SUBSECTOR TRANSPORTE Y TECNOLOGÍAS EXISTENTES

La estructura del parque automotor cubano se muestra en la tabla 10. Se aprecia que el 50% del mismo está constituido por camiones y autos. También es de señalar que más del 50% del parque automotor utiliza gasolina.

Tabla 10. Estructura del parque automotor cubano. (Año base, 2004)

| Tipo de vehículo | Gasolina | Diesel | Total |
|------------------|---------------|---------------|----------------|
| Autos | 18,49% | 1,86% | 20,35% |
| Camiones | 5,15% | 24,46% | 29,61% |
| Camionetas | 1,27% | 3,19% | 4,47% |
| Cuñas | 0,05% | 2,49% | 2,54% |
| Jeeps | 5,18% | 3,01% | 8,19% |
| Microbús | 0,27% | 1,18% | 1,45% |
| Motos | 11,00% | 0,01% | 11,01% |
| Ómnibus | 2,17% | 4,49% | 6,66% |
| Paneles | 1,60% | 5,06% | 6,66% |
| Semirremolques | 0,00% | 0,00% | 0,00% |
| Triciclos | 8,89% | 0,18% | 9,07% |
| Total | 54,08% | 45,92% | 100,00% |

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Fuentes móviles, año 2004

Para las emisiones procedentes del subsector transporte en el país, al no existir ni mediciones, ni factores de emisión propios, se utilizan los reportados por el IPCC para Europa, ya que la mayor parte del parque de vehículos cubanos procede de esa región. Atendiendo al envejecimiento de los mismos se aplicaron factores de corrección.

De esta forma las emisiones procedentes de fuentes móviles, en el caso particular del CO₂ proceden en el 75,2% de los vehículos automotores de carretera (ver figura 17) y constituyen el 90% de sus emisiones equivalentes (ver figura 18). Le siguen en importancia las emisiones procedentes de los equipos agrícolas, de construcción y el transporte ferroviario (ver figura 17).

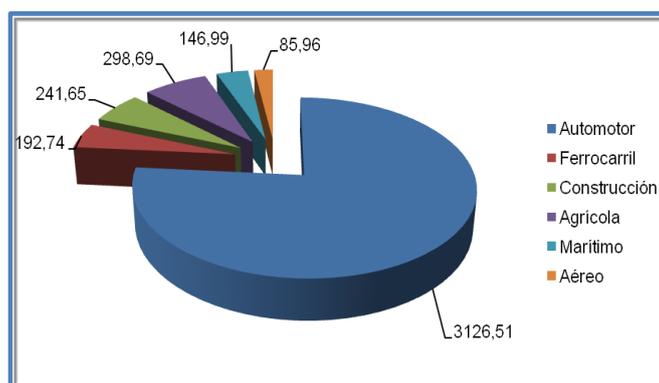


Figura 17. Emisiones totales procedentes de las fuentes móviles. Cuba 2004.

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Fuentes móviles, año 2004

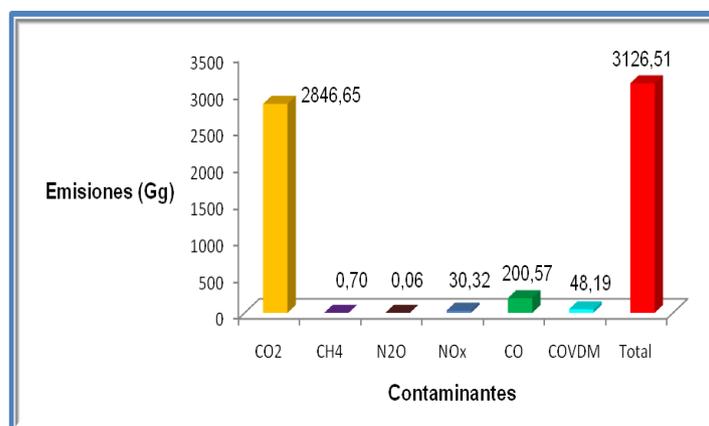


Figura 18. Emisiones de los vehículos automotores de carretera. Cuba 2004.

Fuente: Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero Fuentes móviles, año 2004

En el año 2000 se estimaba que el 75% de los vehículos ligeros poseían más de 11 años de explotación, el 30% de los vehículos pesados más de 19 años y el 34 % de las locomotoras más de 21 años. En años recientes se ha renovado y/o incrementado el parque automotor sobre todo de vehículos ligeros y pesados, así como de locomotoras, pero no se dispone de

estadísticas, aunque muchos de los vehículos ligeros particulares viejos siguen circulando, aunque la mayoría de ellos han sido remotorizados.

6.2 VISIÓN GENERAL DE LAS OPCIONES DE MITIGACIÓN EN EL SUBSECTOR TRANSPORTE Y SUS BENEFICIOS

El proceso para seleccionar las tecnologías en este subsector fue similar al descrito en el epígrafe 4.2. Las 6 opciones tecnológicas finalmente evaluadas en el subsector transporte dentro del sector energía se describen con sus beneficios en la tabla 11.

Otras opciones fueron consideradas inicialmente como la electrificación de algunas rutas de ómnibus articulados y de algunas vías férreas, pero la inexistencia de evaluaciones detalladas de estas opciones no permitieron su consideración por el momento, pues económicamente la electrificación de vías férreas no se justifica y la de rutas de ómnibus requiere de la evaluación de su factibilidad la cual no se dispone. Por otro lado, ambas opciones aumentan el uso de electricidad y por tanto las emisiones de ese subsector, que de por sí son elevadas y habría que determinar si realmente son opciones de mitigación de GEI.

Tabla 11. Opciones tecnológicas de mitigación en el subsector Transporte

| Opción tecnológica | Reordenamiento del transporte |
|--|-------------------------------|
| <p>La mayoría de las transportaciones internas de abastecimiento de las entidades se realizan con camiones de hasta 10-12 toneladas, con un bajo aprovechamiento de la capacidad de carga y de los recorridos, los cuales no sobrepasan, en muchos casos, el 50%. Por otra parte, cerca del 40% de los viajes no logran los objetivos de la gestión, consumiéndose combustible y moto-recursos en vano. Finalmente, es práctica extendida de utilizar equipos pesados en funciones administrativas.</p> <p>Conceptualmente el reordenamiento del transporte, es un proceso que permite organizar, de la manera más eficiente, la explotación centralizada del transporte con un mayor aprovechamiento de la capacidad de carga en los viajes de ida y retorno, minimizando el consumo específico de combustible y moto-recursos.</p> <p>Se propone como opción de mitigación sustituir los vehículos pesados de gasolina que no hayan sido remotorizados y que se utilicen para efectuar trabajos administrativos por camionetas diesel con un menor consumo específico (8 litros/100km), lo que facilita que se eviten 3.85 tCO₂/unidad.</p> | |
| <p>Beneficios: En el reordenamiento del transporte la sustitución de aproximadamente 6000 vehículos pesados de gasolina por camionetas ligeras de diesel hace que se eviten 24250 tCO_{2-eq} anuales a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$2284.7.</p> | |

| Opción tecnológica | Remotorización |
|---|--|
| <p>Hasta el año 2010, se han remotorizado en el país algo más de 3000 camiones, propiciando un importante ahorro de combustible y la consecuente disminución de las emisiones de tCO_{2-eq}.</p> <p>La sustitución de un motor de gasolina por uno diesel, frecuentemente se realiza por los criterios siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la similitud entre la potencia y el rango de velocidades que desarrolla el motor a cambiar, • el motor diesel proporciona un mejor rendimiento. <p>Para esta medida se adoptaron los siguientes supuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • el 97,5% de los vehículos pesados de gasolina existentes tienen más de 10 años de explotación con un rendimiento de 47,4 litros/100km, • se remotorizarán en un período de 10 años. De ellos, en el primer quinquenio aproximadamente 8000 vehículos y otros 4000 en el segundo, • el costo de la remotorización no supera los 10 mil \$ por unidad y que posea un consumo específico de combustible de 24 litros/100km, • la vida útil del camión remotorizado se considera de 15 años, y • la recuperación de la inversión ocurre en 36 meses. | |
| <p>Beneficios: Con la implementación de esta opción se estima que unas 2.03 tCO_{2-eq}/unidad remotorizada, sean evitadas. Por tanto con la remotorización de 12000 camiones se evitan 24418 tCO_{2-eq} a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$3845.</p> | |
| Opción tecnológica | Utilización de mezcla de alcohol con gasolina como combustible |
| <p>Diversos trabajos de investigación realizados en Cuba sobre el empleo del etanol como combustible indican que los mejores resultados se obtienen con el empleo del alcohol deshidratado, lo que es ciencia reconocida y práctica mundial, destacándose países como Brasil y Colombia en su empleo.</p> <p>Puede ser aplicado puro (100%) en motores diseñados con este fin, o en forma de mezclas, generalmente entre un 5 y un 25%, con los combustibles tradicionales, también se utiliza como aditivo antidetonante en la gasolina.</p> <p>Esta opción en Cuba, supone que el alcohol anhidro en mezcla al 10% en volumen con gasolina pasaría a usarse en todos los tipos de vehículos de gasolina del país con independencia de su envejecimiento.</p> | |
| <p>Beneficios: La evaluación de esta opción indica que la misma representa solo una disminución de 0.01 tCO_{2-eq} evitada/unidad, pero para toda la flota de vehículos que utilizan gasolina sería alrededor de 900 tCO_{2-eq} a un costo de la tCO_{2-eq} evitada de -\$4746.7. También la medida favorece la disminución de los costos, pues reduce la cantidad de combustible fósil empleado.</p> | |
| Opción tecnológica | Paso de transportación de carga a ferrocarril |
| <p>Desde hace algunos años, las autoridades nacionales se han propuesto la recuperación del transporte ferroviario, no solo para el movimiento de carga sino también para mejorar y facilitar la transportación de pasajeros. Lo anterior presupone una disminución</p> | |

| | |
|--|---|
| del uso de transporte automotor de manera importante. Progresivamente durante los próximos años se incrementarán la transportación de cargas por ferrocarril, hasta alcanzar un tráfico de 900 millones de t-km al año. | |
| Beneficios: Esta opción reporta importantes beneficios, tanto por el nivel de actividad, como por su efectividad en la disminución de GEI (14168.8 MMtCO _{2-eq} anualmente). Por cada unidad se evitan 584401 tCO _{2-eq} a un costo de -\$290 la tCO _{2-eq} evitada. | |
| Opción tecnológica | Paso del tráfico de pasajeros de ómnibus a ferrocarril |
| A partir del año 2025, se estima que el tráfico de pasajero a larga distancia crezca y parte de las transportaciones que en la actualidad se realizan por ómnibus pasen al ferrocarril. De este modo se incrementa el tráfico anual en este medio de transporte en alrededor de 1,1 millones de pasajeros-km, lo que requiere de la adquisición de 10 vagones de pasajeros y 1 locomotora por formación. De no realizarse este cambio modal se requiere la adquisición de 30 ómnibus. | |
| Beneficios: El costo de la formación de un tren será de 2,0 millones \$, mientras que el de un ómnibus es de 90 mil \$. Los índices de consumo del tráfico de pasajero por ferrocarril y el ómnibus interurbano es de 3739,3 y 6447,4 litros/millón pasajero-km respectivamente. Teniendo en cuenta los índices de consumo de uno y otro medio, así como la participación del tráfico por ferrocarril en la opción de mitigación, se evitan 0.27 tCO _{2-eq} /millón pasajero-km, a un costo elevado de 3388 \$ la tCO _{2-eq} evitada. | |
| Opción tecnológica | Sustitución del diesel por biodiesel en el transporte automotor de carga y pasajeros |
| La opción supone que a largo plazo (en el año 2050) el 30% del tráfico de pasajeros urbanos, el 70% del interurbano y el 70% del tráfico de carga se realicen utilizando biodiesel. | |
| Beneficios: La introducción del biodiesel en el tráfico de pasajero por ómnibus y de carga por carretera permite la sustitución en el 2050 de 50 mil tep de combustible diesel y la identificación de un potencial de mitigación de emisiones de GEI del orden de los 160 ktCO _{2-eq} . | |

6.3 CRITERIOS Y PROCESO DE PRIORIZACIÓN

Los criterios finalmente acordados para la priorización de las tecnologías en el subsector transporte se muestran en la tabla 12. Ellos fueron el resultado de estudios anteriores en el marco del capítulo de mitigación para la II CN a la CMNUCC, del análisis en el marco de talleres sectoriales y los SENA, como fue descrito en el epígrafe 3.2.1, así como del aporte de expertos del Instituto de Investigaciones del Transporte.

Al igual que en el resto de los subsectores, se mantiene la prioridad en los aspectos económicos con el correspondiente peso del grupo de criterios que los evalúan.

Tabla 12. Criterios para la priorización de las tecnologías en el subsector transporte.

| Criterio | Descripción/Unidad de medida | Tipo | Dirección |
|---|--|--------------|-----------|
| Emisiones de CO ₂ -eq evitadas | Cantidad de emisiones de CO ₂ -eq que la tecnología evita, tCO ₂ -eq evitadas | Cuantitativo | Máximo |
| Costo de la tonelada de CO ₂ -eq evitada | Costo anualizado (inversión+O&M+combustibles)/tCO ₂ -eq evitadas, \$/ tCO ₂ -eq evitadas | Cuantitativo | Mínimo |
| Barreras culturales | No aceptación pública de la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Capacidad de instrumentación | Capacidad técnica y regulatoria para instrumentar la tecnología | Cualitativo | Máximo |
| Barreras tecnológicas | Restricciones en el acceso a la tecnología | Cualitativo | Mínimo |
| Impacto sobre otro sector | Interacción favorable con otro sector | Cualitativo | Máximo |

6.4 RESULTADOS DE LA PRIORIZACIÓN EN SUBSECTOR TRANSPORTE

En la figura 19 se muestran los valores asignados a cada criterio para las diferentes opciones tecnológicas evaluadas y en la figura 20 los resultados de la priorización multicriterio.

| Alternatives | Remotorización | Reordenamiento | Mezcla alcohol | Carga a FFCC | Pasaj a FFCC | Biodiesel |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-----------|
| Costo tCO2 evitado | -3845 | 2284 | -4746 | -290 | 3388 | 189 |
| Emisiones evit CO2 eq | 24418 | 24250 | 900 | 1.1688e+009 | 0.27 | 160 |
| Barreras tecnologicas | Moderado | Moderado | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Aceptacion publica | Muy Malo | Muy Malo | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Capac instrumentacion | Moderado | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Malo |
| Impacto posit s/sectores | Muy Bueno | MUy Bueno | Moderado | Muy Bueno | Moderado | Moderado |

Figura 19. Asignación de valores a los criterios de priorización subsector transporte.

Fuente: Elaboración de los autores

La priorización se muestra al observar la columna “Intersection” en la figura 20 donde las letras corresponden a las siguientes opciones tecnológicas para la mitigación al cambio climático en el subsector transporte dentro del sector energía:

A: Opción de remotorización

B: Reordenamiento del transporte

C: Utilización de mezcla de alcohol con gasolina como combustible

D: Incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga

E: Paso del tráfico de pasajeros de ómnibus a ferrocarril

F: Sustitución del diesel por biodiesel en el transporte automotor de carga y pasajeros

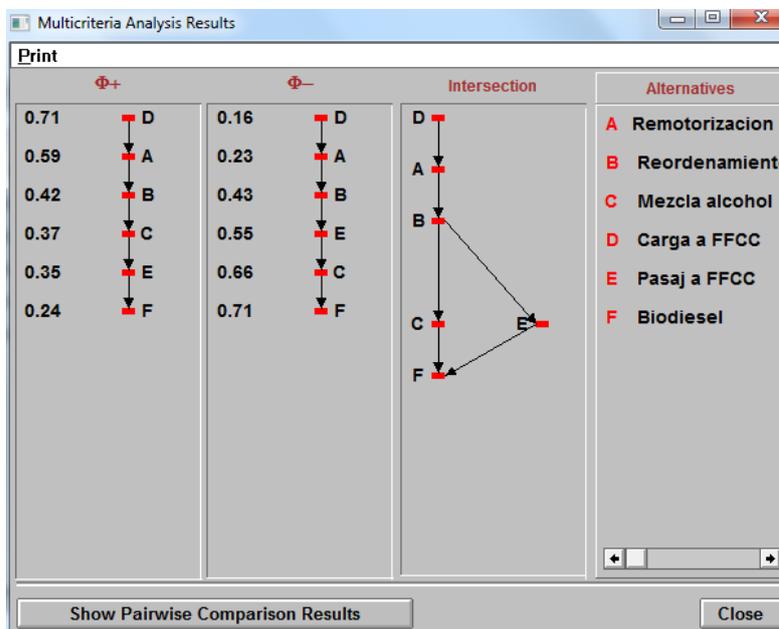


Figura 20. Resultados priorización de las opciones tecnológicas del subsector transporte.

Fuente: Elaboración de los autores

De la priorización multicriterio en el subsector transporte dentro del sector energía resulta que la primera prioridad la tiene la opción de paso de la transportación de carga de camiones a ferrocarril (opción D). En segunda prioridad sería la remotorización (opción A), en tercera prioridad el reordenamiento (opción B), en cuarta prioridad al mismo nivel, el uso de mezclas gasolina-alcohol (opción C) y el cambio de pasajeros de ómnibus a ferrocarril (opción F) y en quinta prioridad el uso de biodiesel (Opción F).

7. PRIORIZACIÓN DE TECNOLOGÍAS PARA EL SECTOR ENERGÍA-TODOS LOS SUBSECTORES

Finalmente para obtener una priorización de todas las tecnologías evaluadas individualmente en cada subsector del sector energía, se aplicó de nuevo el análisis multicriterial a las tecnologías de forma conjunta.

7.1 CRITERIOS Y PROCESO DE PRIORIZACIÓN

Para obtener una priorización de todas las tecnologías evaluadas en los diferentes subsectores la principal dificultad radica en que en cada subsector no se utilizaron los mismos criterios, ya que son tecnologías completamente diferentes y para su priorización los expertos sectoriales recomendaron utilizar diferentes criterios. El análisis multicriterio no sería el adecuado si se comparan tecnologías mediante diferentes criterios.

Para poder realizar el análisis y resolver parcialmente esta situación y lograr al menos una priorización completa de todas las tecnologías aunque de forma estimada, se consultó nuevamente a los expertos de cada sector y de conjunto con el equipo TNA se acordó estimar para cada tecnología, todos los criterios cualitativos que no habían sido evaluados con anterioridad y cuyos resultados aparecen en la figura 21. En el caso del criterio cuantitativo de costo evitado al SEN, que se utilizó solo en las tecnologías del subsector agricultura dentro del sector energía, se asumió que para el resto de las tecnologías este criterio era cero.

Para el análisis del conjunto de las 17 tecnologías se mantuvo la priorización de la dimensión económica, como se realizó a lo largo de todo el estudio, asignándosele 12 criterios para su evaluación del total de 18 utilizados, 3 se asignaron a la dimensión social y 3 a la ambiental. De igual forma, el peso relativo de los criterios en la dimensión económica fue 0.666 y para la social y la ambiental fue 0.166 en cada una.

| Alternativas | CC | CTE con gas | BIGCC | TV bagazo | CEN | Parque eólico | Hidroeléctrica | Fotovoltaica en red | Gasificación arroz | Gasificación aserraderos | Tratamiento resid porcinos | Remotorización | Reordenamiento | Mezcla alcohol | Carga a FFCC | Pasaj a FFCC | Biodiesel |
|----------------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|----------------|----------------|----------------|--------------|--------------|-----------|
| Costo de inversión | 802 | 300 | 2000 | 1725 | 3700 | 2000 | 3000 | 4000 | 86 | 38 | 18 | 1.27623e+007 | 4.02395e+006 | 0 | 4.09907e+001 | 2.6055e+009 | 1 |
| Costo ton CO2 evitado | -112.99 | -40.92 | -103.41 | -90.06 | -92.82 | -47.19 | -65.42 | -13.78 | 150 | 166 | 41.6 | -3045 | 2284 | -4746 | -290 | 3.4e+009 | 189 |
| Barreras culturales | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Mafísimo | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Moderado | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Seguridad energética | Moderado | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Muy Malo | Moderado | Muy Bueno | Muy Bueno | Moderado |
| Cap de instrumentación | Excelente | Excelente | Mafísimo | Excelente | Mafísimo | Moderado | Excelente | Moderado | Excelente | Excelente | Moderado | Moderado | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Bueno | Muy Malo |
| Aumento del bienestar | Moderado | Moderado | Excelente | Moderado | Excelente | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Muy Malo | Muy Malo | Moderado | Muy Malo | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Pub qcesso a tecnol | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Moderado | Excelente | Muy Malo | Muy Malo | Moderado | Moderado | Muy Bueno | Muy Bueno |
| Barreras tecnológicas | Moderado | Mafísimo | Excelente | Moderado | Excelente | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Muy Malo | Moderado | Moderado | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Impacto s/ otro sector | Mafísimo | Mafísimo | Moderado | Mafísimo | Moderado | Mafísimo | Mafísimo | Mafísimo | Excelente | Excelente | Excelente | Muy Bueno | Muy Bueno | Moderado | Muy Bueno | Moderado | Moderado |
| Requerimientos espaciales | Mafísimo | Mafísimo | Mafísimo | Mafísimo | Moderado | Excelente | Mafísimo | Moderado | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo | Bueno | Muy Bueno | Muy Bueno | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Imp ambiental negativo | Mafísimo | Mafísimo | Moderado | Moderado | Moderado | Mafísimo | Mafísimo | Mafísimo | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Excelente |
| Imp ambiental positivo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente |
| Vulnerabilidad | Mafísimo | Mafísimo | Moderado | Moderado | Mafísimo | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Muy Malo | Muy Malo | Muy Malo | Excelente | Moderado | Moderado | Muy Bueno |
| Plazo de implementación | 3 | 1 | 4 | 4 | 7 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 1 | 10 | 10 | 5 | 4 | 4 | 5 |
| Persistencia a largo plazo | Excelente | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Excelente | Moderado | Moderado | Moderado | Moderado | Bueno | Moderado | Moderado | Excelente | Excelente | Moderado |
| Madurez tecnológica | Excelente | Excelente | Mafísimo | Moderado | Excelente | Excelente | Excelente | Moderado | Muy Malo | Muy Malo | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente | Excelente |
| Emissiones evitadas CO2 eq | 452 | 407 | 553 | 993 | 790 | 143 | 252 | 261 | 120 | 69 | 180 | 24418 | 24250 | 900 | 1.1680e+009 | 0 | 160 |
| Costo evitado al SEN | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 11.5 | 7.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Figura 21. Asignación de valores a los criterios de priorización para todas las opciones tecnológicas evaluadas.

Fuente: Elaboración de los autores

Como resultado del análisis multicriterial para el conjunto de tecnologías se obtuvo la priorización que aparece en la figura 22. Las prioridades se muestran en la columna “Intersection” de la figura 22 y son:

Primera prioridad: Tratamiento anaeróbico de residuos porcinos (K),

Segunda prioridad: Gasificación cáscara de arroz (I),

Tercera prioridad: Gasificación residuos aserraderos (J),

Cuarta prioridad: Ciclo combinado (A) y Cambio a gas de CTE (B) al mismo nivel,

Quinta prioridad: Turbina de vapor con bagazo (D) e hidroeléctrica (G) al mismo nivel,

Sexta prioridad: Paso de transportación de carga de camión a ferrocarril (O) y Central nuclear (E) al mismo nivel,

Séptima prioridad: BIGCC (C) y fotovoltaica conectada a la red (H),

Octava prioridad: Remotorización (L),

Novena prioridad: Uso de mezcla de alcohol con gasolina (N) y Paso de transportación de pasajeros de ómnibus a ferrocarril (P) al mismo nivel,

Décima prioridad: Reordenamiento (M) y parque eólico (F) al mismo nivel,

Oncena prioridad: Uso de biodiesel en la transportación de carga y pasajeros (Q).

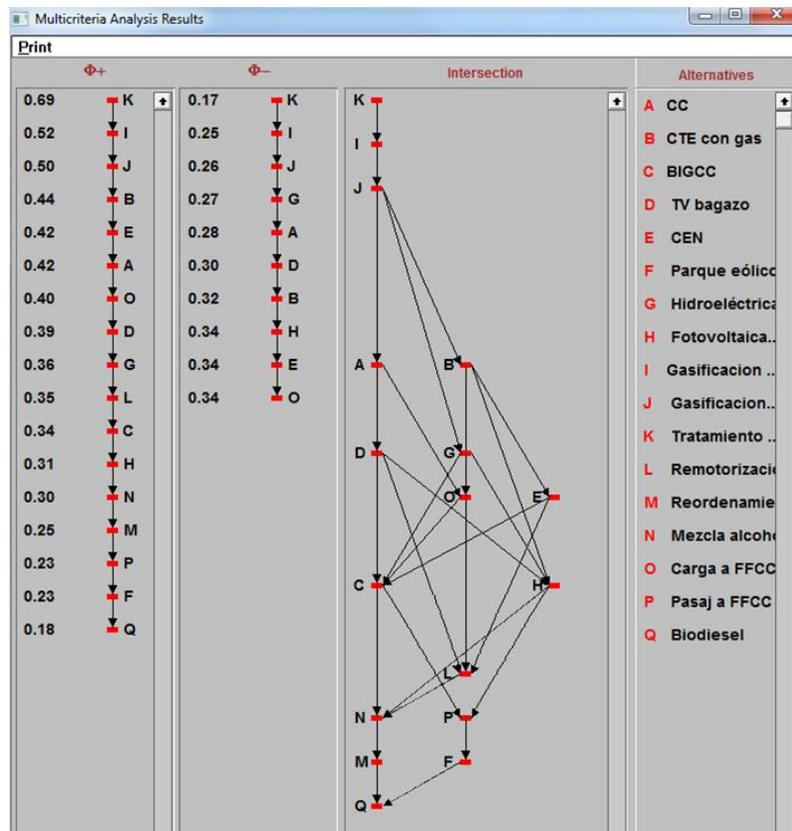


Figura 22. Resultados priorización de todas las opciones tecnológicas evaluadas.

Fuente: Elaboración de los autores

8. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SECTOR ENERGÍA

Para las evaluaciones se partió de la priorización de las tecnologías realizada anteriormente en los 3 subsectores analizados dentro del sector energía: generación de electricidad, agricultura y transporte. Además, se tuvo en cuenta el criterio de expertos en el marco del

II Taller Nacional de desarrollo de capacidades en el análisis de barreras, desarrollo de entornos habilitantes y planes de acción en tecnología (TAP por sus siglas en inglés), así como de un taller sectorial realizado con expertos de los 3 subsectores evaluados. También una consideración importante que se tuvo en cuenta, fue la de evaluar aquellas tecnologías en las que más se ha trabajado en el país con el objetivo de que fueran las que se incluyeran en el TAP y se elaboraran para ellas las ideas de proyectos.

Por lo anterior fue seleccionada una tecnología por subsector.

8.1. BARRERAS COMUNES O TRANSVERSALES

El análisis de barreras para la transferencia y difusión que se realizó para cada una de las tres tecnologías priorizadas y que aparece más adelante en el informe, arrojó que muchas barreras son comunes a las tres tecnologías y por ello se describen en este acápite. Las barreras se agrupan en **categorías** (aparecen en negritas) y barreras propiamente o elementos de barreras (aparecen en viñetas) dentro de cada categoría.

Económicas y financieras:

- Insuficientes recursos financieros
- Acceso limitado a créditos
- Falta de incentivos financieros para desarrollar capacidades en la industria nacional
- Ausencia de la consideración de las externalidades ambientales en la toma de decisiones
- La electricidad y el transporte son subsidiados
- La dualidad de monedas dificulta los análisis financieros para la toma de decisiones

Fallos/imperfecciones en el mercado:

- Acceso restringido a la tecnología por el bloqueo económico y comercial de EE. UU.
- Situación de mercado inestable que dificulta las adquisiciones de equipos, componentes y materias primas
- Número limitado de suministradores de las tecnologías
- La competencia no está suficientemente desarrollada o no existe

Políticas, legales y reguladoras:

- Marco legal y normativo insuficiente
- Sector energía altamente controlado por monopolio público gubernamental
- Ingreso restringido del sector privado
- Ausencia de una política energética formalizada

Fallos en la red:

- Coordinación insuficiente entre ministerio relevantes, industrias, instituciones de investigación y universidades

Capacidad institucional y organizativa:

- Falta de organismos normativos en el sector energético

- Capacidad limitada de la industria nacional para la producción de partes y componentes, equipos, etc.
- Insuficientes bases de datos específicas actualizadas

Aptitudes humanas:

- Insuficiente experiencia en la preparación de proyectos, en la realización de estudios de factibilidad, en las labores de operación y mantenimiento de nuevas tecnologías

Técnicas:

- Disponibilidad limitada de piezas de repuesto
- Necesidad de importar piezas de repuesto
- Insuficientes instalaciones de pruebas y certificación

A continuación se describen estas categorías y barreras.

8.1.1. Barreras económicas y financieras

El país atraviesa desde el 2008 por una crisis financiera doméstica (crisis de deuda, bancaria y cambiaria), que ha tenido implicaciones negativas sobre el crédito, los flujos de inversión extranjera, las operaciones de comercio exterior y en la confianza internacional en los bancos cubanos (Vidal, P.; Pérez, O.; 2012).

A ello se le suma el acceso limitado a créditos y a los flujos de financiamiento internacionales que son el resultado de la implementación de acciones punitivas por parte del Gobierno de los Estados Unidos de América (EE.UU.) en el ámbito económico financiero que adquiere un carácter extraterritorial, enfocado a la desarticulación total del sistema socioeconómico del país. Este bloqueo económico y comercial tiene también implicaciones en el acceso propiamente a las tecnologías y piezas de repuesto ya que las mismas solo pueden tener un ínfimo porcentaje de componentes de EE. UU., lo cual limita la cantidad de suministradores de las tecnologías, se encarecen los costos así como los de transacciones ya que no pueden pasar por bancos o filiales de EE.UU. Esto influye en que el proceso de transferencia de la tecnología se dilate, lo cual hace incurrir en costos adicionales. El bloqueo además, no permite al país conectarse a los canales de fibra óptica que pasan alrededor de Cuba por lo que el acceso a información y bases de datos se ve limitado y es más costoso ya que internet es vía satélite. El bloqueo es considerado una barrera de borde.

A las limitaciones de carácter financiero y de acceso a créditos competitivos se le suma las inconsistencias en el funcionamiento del propio sistema macroeconómico cubano, en buena medida consecuencia de las presiones externas, que ha mantenido las inercias de una estructura adoptada para hacer frente a la crisis de los años 90, pero que ya hace tiempo da señales claras de obsolescencia.

Cuba posee poca habilidad para atraer inversión extranjera directa y financiamiento para tecnologías debido a los riesgos asociados con Cuba y reflejados en la clasificación de crédito muy baja que tiene y en el historial de crédito de Cuba (UN, 2006; EE. UU., 2007).

Sin embargo, un paso importante para impulsar el desarrollo del país está en proceso con la implementación de los lineamientos de la nueva política económica y social (PCC, 2011).

La falta de incentivos financieros para desarrollar capacidades en la industria nacional se debe en gran medida a la falta de competitividad, a la descapitalización que ha tenido la industria nacional especialmente durante la crisis de los años 90 y la inadecuada política que se ha seguido con la misma, lo cual se debe recuperar con el programa de incremento de la producción nacional y la sustitución de importaciones.

La ausencia de la consideración de las externalidades ambientales en la toma de decisiones, no favorece la transferencia y difusión de tecnologías menos contaminantes y las decisiones se adoptan mayoritariamente por el menor costo o por la existencia de financiamiento, aún cuando sea más costosa la tecnología.

El subsidio a la electricidad y el transporte constituye una barrera para la transferencia y difusión de tecnologías energéticas o que sustituyan combustible fósil, tampoco favorecen el ahorro de energía por cobrar tarifas por debajo del costo de producción o transportación.

En Cuba existen 2 monedas, el Peso Cubano (CUP) y el Peso Convertible (CUC) que poseen tasas de cambio fijadas pero distintas para las operaciones estatales y las privadas, que unido a los tipos de interés no competitivo, a la escasez de fuentes de financiamiento, hacen que desde la macroeconomía no se envíen señales claras sobre precios relativos fundamentales al sector productivo y a los inversionistas, a la vez que dificulta el cálculo o estimación de los costos económicos a los diferentes niveles de la actividad productiva del país. De igual forma la existencia de dualidad monetaria conspira contra la determinación transparente de precios y costos de los diferentes servicios vinculada a la comercialización de los equipos y tiene enormes costos para el sector empresarial. El sobrevaluado tipo de cambio de 1 peso cubano por 1 peso convertible en el sector empresarial distorsiona la medición económica cuando en la población el cambio es 1 peso convertible por 24 pesos cubanos (Vidal, P.; Pérez, O.; 2012)

8.1.2. Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

Las tecnologías y los componentes requeridos para la transferencia y difusión de las tecnologías priorizadas no están disponibles en el país y será necesario importarlas. Debido al bloqueo de EE. UU. contra Cuba, las tecnologías y bienes de origen estadounidense, así como los producidos a partir de componentes originados en EE. UU. o con tecnología estadounidense, no pueden bajo la ley estadounidense ser transferidos a Cuba, lo que restringe el número de suministradores a la vez que reduce las opciones tecnológicas, además de retrasar las inversiones e incrementar los costos (CDM, 2006). Además, el bloqueo restringe y limita la competencia, la inversión extranjera, el acceso a créditos, etc.

8.1.3. Barreras políticas, legales y reguladoras

Desde el punto de vista regulatorio y legal, existen importantes vacíos como es el caso de la aprobación e implementación del marco regulatorio y legal moderno para el sector de la energía, que ordene toda la actividad en el ámbito de la energía, desde las tarifas y subsidios, normas técnicas y de calidad de la energía, la producción, transmisión y distribución, hasta las normas y parámetros del equipamiento de uso final tanto para los productores nacionales de equipos como para los importadores, y que abarque de forma general todas las fuentes energéticas.

A todo ello se suma que el sector energía es controlado por el monopolio público gubernamental, lo que limita la competencia y la participación del sector privado.

8.1.4. Barreras relacionadas con fallos en la red

La inexistencia de un ente regulador de la energía también hace que la coordinación sea insuficiente entre ministerios, instituciones relevantes, industrias, centros de investigación y universidades. La insuficiente coordinación hace que se desaprovechen recursos financieros, el capital humano calificado y con experiencia existente en el país, las infraestructuras existentes no se modernizan y en casos poseen equipamiento y laboratorios con tecnologías obsoletas.

8.1.5. Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

Hasta noviembre de 2012 no existía el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) y todavía no existe un ente u órgano regulador de la energía en el país, ni una política energética formalmente escrita y publicada.

Por otra parte es limitada la capacidad de la industria nacional para la producción de partes, componentes y equipos energéticos, lo que no permite reducir los elevados costos de inversión de la mayoría de las tecnologías energéticas. Durante la crisis de los años 90 y los años posteriores se perdieron capacidades en la industria nacional (por ejemplo, producción de picoturbinas hidráulicas, molinos de viento, hornos y calderas, etc.).

La escasez de bases de datos necesarias o el limitado nivel de desagregación de dichas bases de datos en aquellos casos en que se dispongan, constituye una barrera para la difusión y transferencia de tecnologías. Esta barrera está directamente relacionada con la barrera del bloqueo de EE. UU. contra Cuba ya que el acceso a internet para la actualización y búsqueda de información es muy lento, lo cual dificulta el disponer de la misma para apoyar la toma de decisiones.

8.1.6. Barreras relacionadas con las aptitudes humanas

Es insuficiente la experiencia en la preparación y formulación de proyectos, en la realización de estudios de factibilidad, viabilidad técnico-económica y en las labores de operación y mantenimiento de nuevas tecnologías.

Por otro lado no se dispone de instituciones certificadas y registradas internacionalmente para la capacitación de personal de operación y mantenimiento.

8.1.7. Barreras técnicas

Las principales barreras técnicas son que las tecnologías y componentes principales requeridos para las alternativas evaluadas no están disponibles en Cuba y las fuentes de suministros externas están restringidas debido al bloqueo. También ocurre con las piezas de repuesto y de sustitución. Esto restringe las opciones tecnológicas y conlleva a retrasos en la implementación de las tecnologías y al aumento de los costos.

También son insuficientes las instalaciones de pruebas y certificación de equipamiento o que no cuentan con el equipamiento requerido.

8.2. MEDIDAS IDENTIFICADAS

8.2.1. Medidas económicas y financieras

La barrera relacionada con los insuficientes recursos y liquidez financiera puede minimizarse mediante la formación de una empresa mixta, donde la parte extranjera ponga el financiamiento y la tecnología. Con la empresa mixta puede también incrementarse el acceso a créditos, pues la parte extranjera pudiera lograr ese acceso, aunque siempre existirá el riesgo de la influencia del bloqueo económico y comercial impuesto por EE.UU. al país.

En el caso de las opciones tecnológicas vinculadas a la generación de electricidad las partes nacionales pondrían el combustible y el mercado de la electricidad que se genere, pagando con ello la inversión extranjera. Sin embargo, persiste en ese caso también cierto riesgo por el bloqueo de EE. UU. que persigue las transferencias de nuevas tecnologías al país.

En la empresa mixta el inversor extranjero recupera el financiamiento con la venta de la electricidad en CUC a los precios acordados en el contrato y en el caso de las opciones del subsector transporte con la transportación de carga, pues parte se realizará en CUC.

Por su parte la Ley 77/1995 (Ley de la Inversión Extranjera) "...tiene por objeto promover e incentivar la inversión extranjera en el territorio de la República de Cuba, para llevar a cabo actividades lucrativas que contribuyan al fortalecimiento de la capacidad económica y al desarrollo sostenible del país, sobre la base del respeto a la soberanía e independencia nacionales y de la protección y uso racional de los recursos naturales; y establecer, a tales efectos, las regulaciones legales principales bajo las cuales debe realizarse aquella. Las

normas que contiene esta Ley comprende, entre otros aspectos, las garantías que se conceden a los inversionistas, los sectores de la economía nacional que pueden recibir inversiones extranjeras (entre los que se encuentra el sector energético), las formas que pueden adoptar éstas, los distintos tipos de aportes, el procedimiento para su autorización, los regímenes bancario, impositivo especial, y laboral para esas inversiones, y las normas relativas a la protección del medio ambiente y al uso racional de los recursos naturales”.

Se recomienda la creación de un Fondo Financiero Revolvente en CUC especializado en el financiamiento de tecnologías energéticas y la eficiencia energética. El mismo debe incentivar y facilitar el desarrollo de capacidades en la industria nacional. Este fondo puede crearse, por ejemplo, a partir de la venta de los Certificados de Emisiones Reducidas (CER) de los proyectos MDL vigentes.

Incluir en la legislación vigente la consideración de las externalidades ambientales en la licencia ambiental de nuevas inversiones en el sector energético.

Eliminar paulatinamente los subsidios a la electricidad y el transporte.

Implementar lo establecido en los lineamientos de la nueva política económica y social en lo referido a eliminar la doble moneda. Los principales lineamientos sobre la política energética se muestran en el Anexo 2 y los relacionados con el transporte en el epígrafe 16.3.5.

En el caso específico del incremento de la transportación de carga por ferrocarril es necesario la adquisición no solo de la tecnología propiamente sino crear la infraestructura necesaria por lo que habrá que buscar espacios, mercados e inversionistas que permitan el acceso a créditos blandos y/o adquirir aquellas opciones tecnológicas más baratas o de acuerdos bancarios y comerciales preferenciales (con bajas tasas de interés).

8.2.2. Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

El Gobierno de Cuba hace esfuerzos a nivel internacional para eliminar el bloqueo. Por ejemplo, cada año en Naciones Unidas se somete a votación una resolución en contra del bloqueo, la cual se aprueba año tras año por una abrumadora mayoría de países. Sin embargo, el Gobierno de EE. UU. hace caso omiso a la misma y continúa y refuerza las acciones punitivas contra el país.

Para minimizar los efectos del bloqueo el país hace alianzas con importantes socios comerciales y constituye empresas mixtas como Energas con Sherrit Utilities Inc. y las empresas cubanas UNE y CUPET. Así y todo para la adquisición de los ciclos combinados de Energas costó trabajo y hubo dilaciones tanto en el primero que comenzó a operar en el 2003 como para el que debe iniciar en el 2013.

8.2.3. Medidas relacionadas con políticas, legales y reguladoras

Con la reciente creación del Ministerio de Energía y Minas se espera se superen los vacíos existentes en el marco regulatorio relacionado con la energía tales como: nueva ley

eléctrica, ley de energías renovables y la eficiencia energética, tarifas eléctricas (tanto de venta de la electricidad como de compra a los distintos generadores) y de combustibles, revisión y/o eliminación de los subsidios, normas técnicas, calidad de la energía, completamiento de las normas de eficiencia de los equipos de uso final tanto de producción nacional como importados, etc.

Deberá elaborarse y formalizarse la política energética del país.

También deberá crearse un ente u órgano regulador de la energía.

8.2.4. Medidas relacionadas con fallos en la red

Con las medidas propuestas en el punto anterior deben eliminarse las barreras relacionadas con la coordinación institucional.

8.2.5. Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

También la barrera de ausencia de organismos normativos se soluciona con las medidas señaladas en el punto 8.2.3.

Para incrementar y/o rescatar las capacidades de la industria nacional además de aprovechar la creación del Fondo Financiero Revolvente propuesto anteriormente, se deben implementar los aspectos de política industrial de los lineamientos de desarrollo económico y social del país, las alianzas estratégicas con socios extranjeros para producciones cooperadas, etc.

Elaborar e implementar una política para disponer de la información y bases de datos necesarios para la toma de decisiones.

8.2.6. Medidas relacionadas con las aptitudes humanas

Elaborar programa de capacitación en la formulación de proyectos, la realización de estudios de viabilidad técnico-económica y en la operación y mantenimiento de tecnologías, e implementarlo.

Certificar y registrar institución para la capacitación de personal de operación y mantenimiento.

8.2.7. Medidas relacionadas con las barreras técnicas

Para eliminar las barreras técnicas es necesario incluir en la contratación de la transferencia de las tecnologías el aseguramiento de repuestos e insumos durante la vida útil de las tecnologías.

Por otra parte el país debe contar con los laboratorios de prueba y certificación necesarios.

9. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD

Con la participación de directivos y especialistas del Ministerio de la Industria Básica (MINBAS), la Unión Eléctrica (UNE), la Empresa de Ingeniería para la Electricidad (INEL) y el equipo técnico del TNA se realizó el análisis de barreras, así como de las medidas y/o acciones para eliminar y/o minimizar las barreras, el entorno habilitante y el mapeo de mercado.

Primeramente se analizó el entorno habilitante con las políticas existentes, las leyes, regulaciones, la institucionalidad, que influyen directamente en el mercado. Posteriormente se realizó el análisis de los participantes directos (actores) y los enlaces (interrelaciones) en la cadena de mercado, entre los que se encuentran los reguladores del mercado, los generadores, transmisores y distribuidores, hasta los consumidores finales. Finalmente se analizaron los proveedores de servicios entre los que se encuentran los financistas, proveedores de tecnología, servicios de ingeniería, constructores, entrenadores, capacitadores, etc. El mapa completo de mercado para esta tecnología se muestra en la figura 23.

Siguiendo el razonamiento y el procedimiento descrito anteriormente fue seleccionada la tecnología de ciclo combinado con gas, que fue la primera prioridad del subsector y fue la cuarta prioridad entre todas las tecnologías evaluadas en los 3 subsectores de análisis (generación de electricidad, transporte y agricultura).

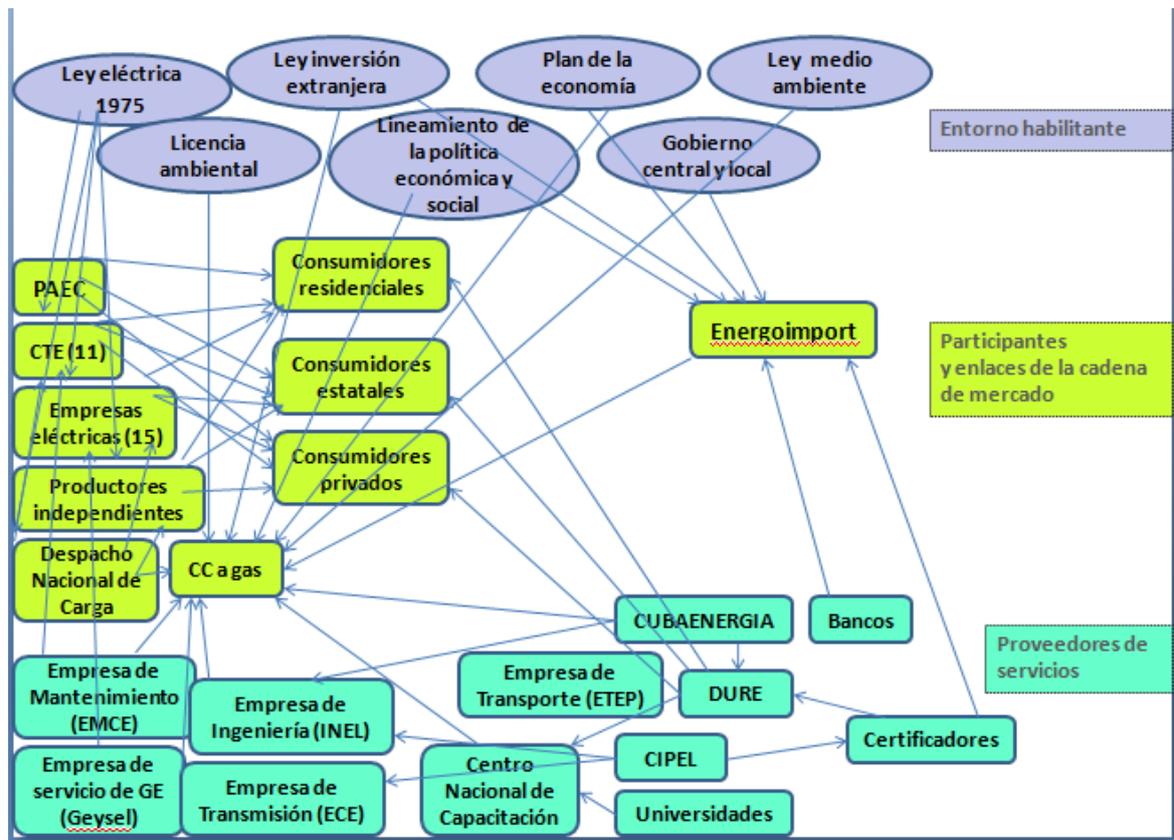


Figura 23. Mapa de mercado para la tecnología de ciclo combinado con gas.

9.1. METAS PRELIMINARES PARA LA TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE CICLO COMBINADO CON GAS

La tecnología de ciclo combinado con gas incrementa la eficiencia de la generación eléctrica del país ya que alcanzan una eficiencia casi 10% superior al de una central termoeléctrica convencional que son las que predominan en el país, su costo de inversión es relativamente bajo comparado con otras tecnologías de generación eléctrica convencionales, ha sido probada y funciona exitosamente en el país (aunque con gas acompañante del petróleo al que se le realiza un proceso de desulfurización profunda), disponiéndose de capacidades y experiencia de explotación y mantenimiento de la misma. Colateralmente esta tecnología reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con la línea base del sistema eléctrico cubano.

A partir de la disponibilidad de gas natural proyectada de la planta de regasificación de Gas Natural Licuado del Petróleo (GNL) importado se podrían instalar 6 ciclos combinados con gas de 180 MW. Ello permitirá evitar la emisión de 1,41 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera anualmente con respecto a similar generación de electricidad en centrales termoeléctricas convencionales.

9.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA CICLO COMBINADO CON GAS

Una central de ciclo combinado con gas natural es una planta de producción de energía eléctrica que combina dos procesos o ciclos para obtener el máximo rendimiento: el ciclo de Brayton, en el que los gases de combustión accionan directamente una turbina de gas, y el ciclo Rankine, en el que se aprovecha la energía residual de los gases de escape de la turbina de gas para generar vapor en una caldera, que accionará a su vez una turbina de vapor. Ambas máquinas (turbina de gas y de vapor) accionan un alternador donde se transforma la energía mecánica en eléctrica. La combinación de estos dos procesos permite que este tipo de centrales tenga una eficiencia energética muy superior que en el caso de Cuba es de 43%.

Los ciclos combinados comenzaron a utilizarse en Cuba en la generación de electricidad en el año 2003 cuando se incorporó una turbina de vapor a las turbinas de gas de la empresa mixta ENERGAS en Varadero. En el 2011 se encontraban instalados en ENERGAS un total de 455 MW, de los cuales 180 MW corresponden a un ciclo combinado (3 turbinas de gas de 35 MW y 1 turbina de vapor de 75 MW) en Varadero (ONEI, 2012).

El proyecto de conversión del ciclo simple a ciclo combinado de ENERGAS en Varadero constituye el proyecto del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) 0198 que inició en el 2007 y se extiende al 2028 y evitará en 21 años de operación, emisiones por un valor de 7 186 935 de Certificado de Emisiones Reducidas (CER) (Navarro, 2011). Actualmente se encuentran además instalados 175 MW en 5 turbinas de gas de 35 MW las cuales formarán junto a una turbina de vapor el próximo ciclo combinado a instalarse en el 2013 con una capacidad total de 325 MW, que también se está proponiendo como proyecto MDL.

El ciclo combinado propuesto utilizará gas natural procedente de la regasificación de gas natural licuado (GNL) importado o gas natural (de encontrarse) de la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México, 3 turbinas de gas de 35 MW y una turbina de vapor de 75 MW que totalizan 180 MW y posee una eficiencia 10% mayor al de una termoeléctrica convencional y costos de O&M menores. El costo de inversión asciende a 803 \$/kWe (CFE, 2010). Es una tecnología similar al instalado en Varadero.

9.3. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL CICLO COMBINADO CON GAS

Acorde al procedimiento referido en el acápite 2 se identificaron para el ciclo combinado con gas las siguientes barreras específicas:

Económicas y financieras:

- Insuficiente liquidez financiera
- Es difícil y costoso exportar utilidades

Políticas, legales y reguladoras:

- Ley eléctrica obsoleta, que limita inversión extranjera e incrementa su riesgo
- Ausencia de tarifas específicas de compra de la electricidad a los diferentes productores

Otras

- Disponibilidad del recurso

A continuación se describen cada una de estas barreras específicas.

9.3.1. Barreras económicas y financieras

Además de las barreras comunes o transversales descritas en el punto 8.1 que son para todo el sector energía, para el ciclo combinado con gas específicamente existe la barrera de falta de liquidez financiera por parte de la UNE para enfrentar la inversión, debido a múltiples factores como que la electricidad es subsidiada, que se consume y solo después es que se paga, que se paga en pesos cubanos por parte de la mayoría de los consumidores y en su generación se gastan importantes cantidades de pesos convertibles, como por ejemplo, para la compra del combustible, pero no está disponible la información relativa a la cuantía del subsidio.

Por otra parte el acceso limitado de Cuba a moneda extranjera y la variabilidad en sus fuentes generadoras internas con frecuencia resulta en retrasos e incumplimientos en el pago del financiamiento y pagos por bienes y servicios, lo cual hace que sea difícil y costoso exportar las utilidades de la empresa mixta.

9.3.2. Barreras políticas, legales y reguladoras

La Ley Eléctrica No. 1287/75 vigente actualmente es obsoleta y no contempla los cambios ocurridos en el sistema eléctrico cubano. Este marco legal y normativo insuficiente limita la inversión extranjera e incrementa su riesgo.

Por otro lado, la legislación vigente no reconoce a los productores independientes, no existen tarifas específicas para la compra de electricidad a los productores independientes, no existe un ente u órgano regulador de la energía que se encargue de ello. Actualmente se hace por acuerdo.

9.3.3. Barreras relacionadas con la disponibilidad del recurso

El gas natural en Cuba se produce en asociación con el crudo, aunque se asegura que hay reservas suficientes de gas para operar los ciclos combinados actuales durante la vida de los proyectos. Sin embargo, los cálculos de las reservas pudieran ser imprecisos y las prioridades nacionales pueden cambiar haciendo reducir la cantidad de gas que se emplee en la generación de electricidad. Esto pudiera afectar la cantidad de gas procedente de la planta regasificación de GNL para los nuevos CC al emplear parte en los CC ya instalados.

9.4. MEDIDAS IDENTIFICADAS

9.4.1. Medidas económicas y financieras

La creación de una empresa mixta similar a Energas podría eliminar la barrera de liquidez financiera, aportando el financiamiento y la tecnología. En el contrato de creación de la empresa mixta debe quedar bien fijado el esquema y detalles del pago del financiamiento y de las utilidades, así como las penalidades por cualquier retraso en los pagos.

9.4.2. Medidas sobre políticas, legales y reguladoras

Actualizar la ley eléctrica y promulgar regulaciones relativas a su implementación, así como se recomienda disponer de una legislación específica para las FRE. Las regulaciones deberán cubrir los vacíos existentes en cuanto a las tarifas, subsidios, incentivos, productores independientes, etc.

Deberá difundirse en un mayor grado el Premio al Medio Ambiente, para que se logre una mayor competencia para su obtención y deberá implementarse un mecanismo o sello emblemático de la actividad.

9.4.3. Medidas sobre la disponibilidad del recurso

Se elimina esta barrera con el contrato declarando que CUPET tiene que garantizar la cantidad de gas pactada para la actividad del proyecto.

10. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR AGRICULTURA

En este subsector se le prestó especial atención a las tecnologías vinculadas con el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales. Este enfoque estuvo basado en el hecho de que la deposición de los agro-residuos constituye un importante problema ambiental sin resolver a pesar de los costos en que se incurren con este fin actualmente. La producción de energía utilizando como fuente estos residuos a la vez que contribuye a resolver el problema ambiental, reduce los costos de la producción agroindustrial asociada. Con el fin de realizar el análisis de barreras y de las medidas y/o acciones para minimizar o eliminar barreras, el entorno habilitante y el mapeo de mercado se trabajó con directivos y especialistas vinculados a la actividad productiva asociada a los residuos escogidos. Estos fueron del grupo empresarial GRUPOR (Grupo porcino), para el análisis de los residuos de la producción porcina; GEAM (Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña) para el análisis del uso de los residuos de aserraderos y del Grupo de Granos para considerar el aprovechamiento de la cáscara de arroz. En estos análisis participaron además, representantes de la dirección de energía del Ministerio de la Agricultura (MINAG) y el equipo técnico del TNA.

Se realizó el análisis del entorno habilitante, en particular de las políticas, leyes y regulaciones en el campo de la energía y del sistema institucional asociado en particular al aprovechamiento energético de los residuos agroindustriales como parte del entorno habilitante. Además se consideraron los actores y sus interrelaciones en la cadena tecnológica que va desde la producción del agro-residuo, su aprovechamiento energético y la comercialización del portador energético asociado. Se analizaron en la cadena de mercado finalmente los proveedores de servicios, entre los que se encuentran los financistas, proveedores de tecnología, servicios de ingeniería, constructores, entrenadores, capacitadores, etc. El mapa completo de mercado para esta tecnología se muestra en la figura 24.

Siguiendo el razonamiento y el procedimiento descrito anteriormente fue seleccionada la tecnología gasificación de los residuos de aserraderos para la producción de electricidad. Esta resulto la tercera prioridad del subsector y fue la tercera prioridad entre todas las tecnologías evaluadas en los 3 subsectores de análisis.

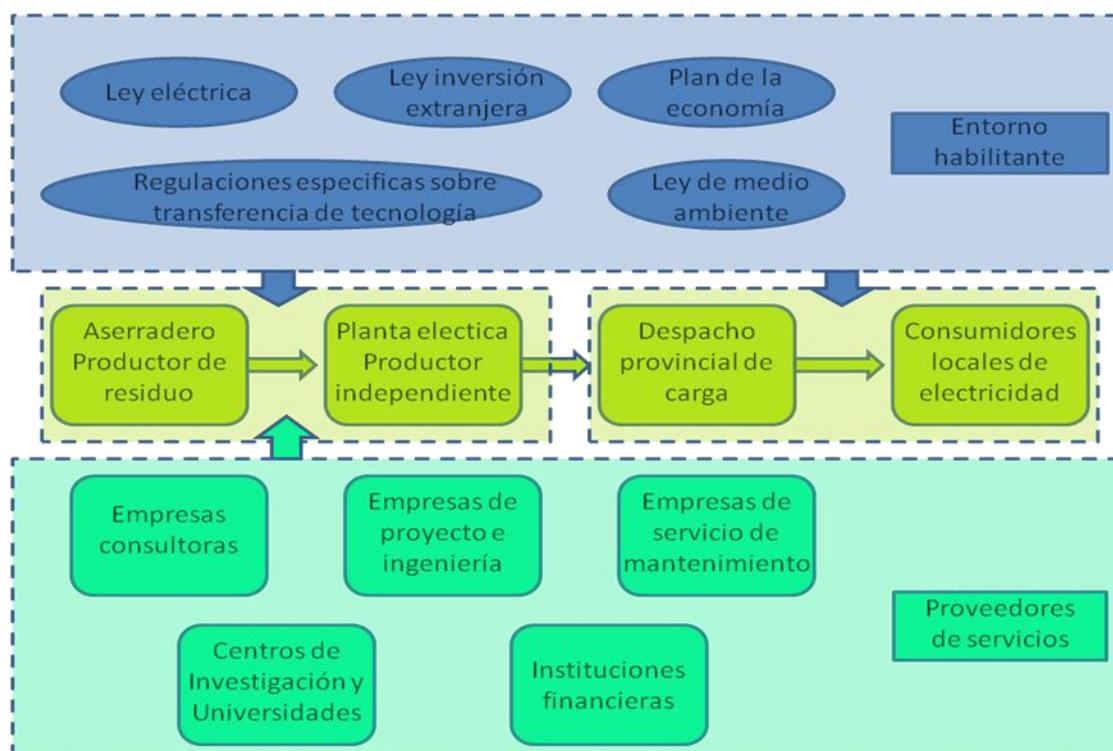


Figura 24. Mapa de mercado para la tecnología de gasificación de residuos de los aserraderos.

10.1. METAS PRELIMINARES PARA LA TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADERO

Las empresas forestales pertenecientes al GEAM tienen un total de 78 instalaciones para el aserrado de la madera. Las capacidades de producción de madera aserrada de estos aserraderos oscila entre los 400 y los 18 000 m³ anuales. La capacidad total de producción

está en el orden de los 200 000 m³ anuales y se estima volúmenes de producción de residuos de aserradero en esta misma magnitud. En estas condiciones es posible instalar plantas eléctricas para la generación de electricidad utilizando la biomasa como combustible con potencias entre los 40 kW y los 1800 kW, para una potencia total estimada de 23,6 MW.

En estas condiciones es factible plantearse un programa de transferencia de tecnología para alcanzar en un plazo de 5 años instalar el 80% de la capacidad de generación estimada para el sector, alcanzando una alta integración de la industria nacional en la fabricación de los gasificadores y un sistema institucional que garantice la sostenibilidad de la operación y mantenimiento de las plantas instaladas.

10.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADERO

La gasificación de la biomasa es un proceso de conversión termoquímica en el cual a partir de materiales lignocelulósicos se produce un gas combustible. El poder calórico de este gas está entre 4 y 6 MJ/m³

La tecnología la componen (figura 25) tres partes básicas a saber:

- El reactor o gasificador, donde se realiza el proceso de obtención del gas (gasificación). Este es un equipo que generalmente trabaja a presión atmosférica, con una zona de alta temperatura (800 – 850°C).
- Se introduce la biomasa generalmente por su parte superior y se extrae por la inferior la ceniza resultado de su procesamiento, El otro producto es un gas combustible que contiene sustancias que dificultan su uso directo.
- Sistema de limpieza del gas obtenido, donde se le eliminan impurezas tales como las cenizas que se arrastran y los alquitranes o gases condensables contenidos en el mismo. Este sistema varía en diferentes suministradores sobre todo en lo relativo a la separación de los alquitranes. Esta frecuentemente se realiza por medio del lavado con agua del gas o su filtrado por superficies absorbentes. En el caso de las cenizas o partículas sólidas que arrastra el gas estas se elimina con un ciclón al inicio del sistema de limpieza y filtros convencionales de tela o papel al final del mismo. La complejidad de este sistema dependerá de la calidad del gas requerido por el usuario final: las menores exigencias la tiene el quemado directo, luego los motores de combustión interna y finalmente las turbinas de gas.
- El bloque de uso final:
 - Para la generación de electricidad se utiliza un motor de combustión interna conectado a un generador de electricidad. Este motor puede ser de gas o diesel. En este último caso se requiere una mezcla de gas con no más de un 25% del diesel requerido para operar el motor. Los motores diesel comerciales no requieren de adaptaciones para ser operados con esta mezcla. En el caso de los motores de gas

existen algunos fabricantes que los producen para gas de propiedades similares a este y los producidos para gas convencional requieren de una adaptación.

- Para el uso directo puede darse en un quemador, un horno o una caldera de vapor. En todos los casos se selecciona, ajusta o prepara el quemador teniendo en cuenta el poder calórico del gas producido.

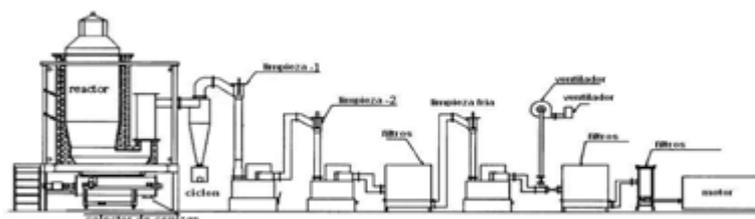


Figura 25. Esquema tecnológico de la gasificación de biomasa

10.3. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA LA GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADERO

Acorde al procedimiento referido en el punto 1, se identificaron un conjunto de barreras para alcanzar la meta descrita en el epígrafe 3.1 relacionada con la transferencia de la tecnología de la gasificación de los residuos de aserraderos para la producción de electricidad.

Las barreras específicas identificadas, además de las comunes o transversales, se describen en el 10.3.1 – 10.3.8 y se enumeran a continuación:

Económicas y financieras:

- No existen mecanismos de financiamiento a los cuales las empresas puedan acceder para financiar inversiones dirigidas al aprovechamiento energético de los residuales.
- Las inversiones dirigidas al aprovechamiento energético de los residuales no se presupuesta en el plan económico del sistema empresarial como un rubro independiente.

Políticas, legales y reguladoras:

- Procedimientos de aprobación de las inversiones complejos y engorrosos, con criterios de aprobación de las mismas no establecidos formalmente.
- El aprovechamiento energético de los residuos agroindustriales no es parte de la misión del sistema empresarial por lo que la motivación para esta transferencia de tecnologías es externa al sistema empresarial y poco sistemática.
- Poca flexibilidad en temas de estimulación para asegurar fuerza de trabajo en condiciones locales.

- Falta de tarifa eléctrica aprobada para la venta de electricidad.

Fallos en la red:

- Poco conocimiento mutuo entre los actores relevantes sobre las capacidades, intereses y características de cada uno.
- Dificultades en el acceso a servicios de terceros para la ejecución del proceso de transferencia de tecnología.

Capacidad institucional y organizativa:

- Es débil la capacidad institucional para formular un programa de desarrollo dirigido al aprovechamiento energético de los residuos.
- Falta de capacidad institucional especializada en el montaje y puesta en marcha de instalaciones energéticas para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su posterior operación y mantenimiento.

Aptitudes humanas:

- Insuficiente personal capacitado y con experiencia en la preparación de proyectos, en la realización de estudios de factibilidad, en las labores de operación y mantenimiento de las tecnologías para el aprovechamiento energético de los agro-residuos.

Técnicas:

- Insuficiente capacidad nacional de ingeniería e investigación-desarrollo para la asimilación de esta tecnología.
- Falta de personal entrenado en operación de instalaciones energéticas.
- Dificultades para la adquisición de piezas de repuesto importadas y baja capacidad de producción nacional.

Relacionadas con la información:

- Información no precisa ni actualizada sobre la disponibilidad y potencialidad de los residuos agroindustriales para su uso como fuente de energía.
- Dificultades para acceder a experiencias internacionales en este campo.
- Poca información disponible sobre costo de la tecnología.

A continuación se describen cada una de estas barreras.

10.3.1. Barreras económicas y financieras

La asimilación de la tecnología escogida está asociada en la mayoría de los casos a un número relativamente grande de inversiones de pequeña magnitud. Estas características dificultan el acceso al financiamiento al ser apreciadas como de mayor riesgo y poseer mayores costos de transacción.

Los mecanismos que se usan para financiar las inversiones en este campo son los comunes para el resto de las inversiones en el sector. Por este motivo los mismos no toman en cuenta las especificidades antes mencionadas y no consideran incentivos para que se

aprecie este mercado disperso y de relativo riesgo para el desarrollo de productos tecnológicos dirigidos al mismo por parte de la industria nacional.

El negocio base del sector es la producción de madera aserrada, mientras que la generación y venta de energía a partir de los residuos no está incluida en esta categoría. Esto trae como consecuencia que en la elaboración de los planes de inversión del sector el nivel corporativo no ha identificado una línea de inversiones con reflejo en el plan económico que estimule y apoye la elaboración de propuestas de inversión en esta línea por las empresas.

La objetividad de la evaluación de los costos y de los beneficios económicos calculados en los análisis de factibilidad técnicos económicos presenta limitaciones.

10.3.2. Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

El mercado que se considera está relacionado fundamentalmente con los proveedores de la tecnología y de servicios para su operación y manteniendo y el mercado para la comercialización de portadores energéticos, en particular de la electricidad. La tecnología de la gasificación de la biomasa ha alcanzado su mayor desarrollo comercial en países de Asia como la India y China, sin embargo, los grupos generadores de electricidad que utilizan generalmente son producidos por multinacionales, controlados por empresas norteamericanas. Las particularidades del mercado asiático y el bloqueo de EE.UU., dificulta de manera significativa la selección de suministradores con el menor riesgo comercial posible.

A su vez el hecho que las tarifas eléctricas no reflejen los costos de generación país, dificulta que la empresa generadora de los residuos esté interesada en convertirse en un generador independiente de electricidad para participar en este mercado.

10.3.3. Barreras políticas, legales y reguladoras

Las regulaciones actuales para la aprobación de inversiones se caracterizan por ser engorrosas y requerir de un largo proceso de aprobación de las propuestas. Así mismo la operación de las empresas se caracteriza por su poca flexibilidad en cuanto a la apertura de nuevas líneas de producto y la adaptación del proceso de gestión empresarial a los nuevos procesos asociados a los nuevos productos. Estos factores, entre otros, desestimulan al sector empresarial asociado a los residuos agroindustriales a entrar en un campo de negocio ajeno en buena medida a su actividad tradicional.

La incorporación de la producción y venta de electricidad como un nuevo producto por empresas enfocadas en la producción agroindustrial requiere además de las condiciones económicas financieras adecuadas, de un entorno que estimule y facilite este proceso.

Aunque se avanza en la creación de este entorno, la situación actual es que el mismo es insuficiente para favorecer esta transferencia de tecnología.

10.3.4. Barreras relacionadas con fallos en la red

La formulación de un programa de transferencia de tecnología es una condicionante para el éxito de este proceso de transferencia de tecnología. Sin embargo, la elaboración de un programa de las características del requerido para alcanzar la meta descrita requiere de un trabajo coordinado entre ministerios como el de Agricultura, Energía y Minas, Economía y Planificación y de Industria; de las instituciones de investigación y universidades especializadas en la actividad productiva generadora de los residuos agro-industriales y en su aprovechamiento energético así como con empresas de ingeniería y proyecto. Un esfuerzo de este tipo requiere de un liderazgo y prioridad política que aún no están definidos.

Las empresas asociadas a la producción de residuos agroindustriales para asimilar esta tecnología requieren de servicios de terceros. La situación actual es que el vínculo de estas empresas con los potenciales suministradores de servicios es débil y se dificulta por la falta de confianza mutua.

10.3.5. Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

Al ser la explotación energética de los agro-residuos una nueva actividad para los sectores productivos asociados al mismo, las instituciones especializadas del sector con capacidad para contribuir a este proceso de transferencia de tecnología por sí mismos o en alianza con terceros son escasos y generalmente con poca experiencia y conocimientos en este campo. También sucede que las acciones que se toman desde el sector y las que se ejecutan bajo indicaciones externas, no siempre se implementan con el dinamismo y efectividad requerida.

La novedad de esta tecnología en el país trae asociado que sean escasas las instituciones con capacidad de brindar servicios de terceros durante el proceso de transferencia de tecnología y para la producción nacional de equipos, partes y piezas.

10.3.6. Barreras relacionadas con las aptitudes humanas

En los procesos de adquisición, implementación y explotación de las tecnologías para el aprovechamiento energético de los agro-residuos participan especialistas de disímiles campos. Sin embargo, la formación técnica recibida por la mayoría de ellos, su experiencia profesional y su visión sobre posibles desarrollos productivos generalmente ha estado muy alejada de la valorización de los agro-residuos como fuente de energía. Esto trae como consecuencia que las etapas iniciales de este proceso de transferencia de tecnología transcurra con ritmos lentos de ejecución, no siempre de la manera más apropiada y con incomprendimientos y falta de apoyo y motivación por parte de algunos de los técnicos y especialistas que participan en el mismo.

10.3.7. Barreras técnicas

Las barreras técnicas identificadas están relacionadas con una limitada capacidad técnica para alcanzar la meta formulada para esta tecnología en los campos de la ingeniería, investigación desarrollo, certificación y prueba y operación exitosa de las instalaciones. Este hecho da lugar a que los ritmos temporales que se alcancen en esta transferencia de

tecnología sean lentos y su efectividad limitada. Así mismo pone en duda la sostenibilidad de su explotación. Este último factor también está afectado con las dificultades para asegurar las piezas de repuesto requeridas para un mantenimiento eficiente de las instalaciones.

10.3.8. Barreras relacionadas con la información

La información precisa y actualizada sobre la disponibilidad y potencialidad de los residuos agroindustriales es la base del diseño de las soluciones tecnológicas para su uso energético. La calidad y fiabilidad de las mismas son un componente importante de la credibilidad de una propuesta de programa de transferencia de tecnología. Esta credibilidad, asociada a la apreciación de riesgo tecnológico, económico y financiero por parte de los tomadores de decisión a todos los niveles, dependerá igualmente del acceso a experiencias prácticas internacionales en este campo y a los datos sobre indicadores económicos productivos de la tecnología para ser utilizados como base de la fundamentación de la asimilación de la misma.

10.4. MEDIDAS IDENTIFICADAS

10.4.1. Medidas económicas y financieras

La implementación de esquemas de financiamiento que consideren las particularidades de este tipo de transferencia de tecnología es una de las medidas básicas a tomar. Este esquema se caracterizaría por poseer fondos financieros relativamente pequeños y con capacidad para atender numerosas solicitudes de financiamiento de pequeña escala de mediano riesgo y con aceptables indicadores económicos financieros.

La formulación de un programa de transferencia de la tecnología para alcanzar las metas planteadas contribuiría a reducir las barreras para el acceso a fuentes de financiamiento. Este programa, que definiría las inversiones a realizar, los plazos de ejecución, el financiamiento requerido, las acciones a realizar para crear las necesarias capacidades nacionales, sería un factor que reduciría la apreciación de riesgo y aumentaría la credibilidad en las intenciones inversionistas.

Adicionalmente, la creación de un entorno económico que contribuya a una valoración objetiva de los costos y beneficios resulta imprescindible. Si bien en el mismo predominan medidas de la macroeconomía, como es la eliminación en el futuro de la dualidad monetaria, hay otras como son la utilización de valores oficiales de los costos país en la generación de electricidad en los estudios de factibilidad técnico económica, el establecimiento de normas para la consideración de externalidades y la incorporación de estímulos económicos a las empresas productoras para que incorporen en sus planes de producción y venta, productos energéticos a partir del aprovechamiento de los residuos agroindustriales.

10.4.2. Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

El aseguramiento del acceso a la tecnología está relacionado en este caso con la formulación de alianzas estratégicas con suministradores con calidad conocida, sobre la base de un programa de transferencia de tecnología dirigido a la asimilación al menos parcial de la producción nacional del equipamiento tecnológico con la motivación adicional de facilitar el acceso al mercado regional.

10.4.3. Medidas sobre políticas, legales y reguladoras

La superación de las barreras políticas, legales y reguladoras está condicionada a la formalización de una política energética que refleje las prioridades establecidas en el país en este campo y favorezca la participación activa de actores no tradicionales en el sector energético como los asociados al aprovechamiento energético de residuos agroindustriales.

Esta política requiere de un sistema de normas legales que actualicen las hoy existentes y que respalden la figura del productor independiente de electricidad a partir de su definición jurídica, sus derechos y obligaciones y normas legales para su operación. Finalmente se requiere además la actualización y adecuación del marco regulatorio a un escenario de generación descentralizada de electricidad, con la incorporación de numerosos y relativamente pequeños productores independientes de electricidad, una participación activa de las tecnologías de fuentes renovables de energía y relaciones comerciales claramente establecidas y duraderas.

10.4.4. Medidas relacionadas con fallos en la red

Las medidas dirigidas a superar las barreras identificadas en este caso, constituyen un sistema de acciones que en su conjunto potenciarían la formulación e implementación exitosa de tecnologías para el aprovechamiento de los agros residuos. Entre estas medidas se encuentra la definición y fortalecimiento del liderazgo apropiado de este proceso; la implementación de mecanismos e incentivos que estimule el establecimiento de vínculos estables y duraderos entre los principales actores de este proceso, dará lugar al fortalecimiento de los vínculos e interrelaciones; la identificación de roles y el fortalecimiento de las capacidades para asumirlos; la identificación de complementariedades y sobre esta base la creación de alianzas serian el factor común de estas. Acciones similares facilitarían el fortalecimiento de capacidades de terceros para la oferta de servicios en apoyo al proceso de transferencia de tecnología y de relaciones contractuales con los mismos con una visión de mediano plazo. Un papel relevante en la implementación de estas medidas lo tienen los organismos de la administración central del estado.

10.4.5. Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

Las medidas dirigidas a superar las barreras identificadas en este caso, son básicamente: la creación de la capacidad institucional requerida a nivel de grupo empresarial, por ejemplo en el contexto de las direcciones de desarrollo, que coordine la formulación de un

programa de desarrollo dirigido al aprovechamiento energético de los residuos; fortalecer la capacidad institucional propia o de terceros para los servicios especializados requeridos y en particular para el montaje y puesta en marcha de las instalaciones energéticas y su posterior en operación y mantenimiento, como resultado de la creación de pequeñas empresas o cooperativas especializadas en este sector o desarrollar unidades empresariales dedicadas a esta temática en las empresas de ingeniería y servicios técnicos existentes.

10.4.6. Medidas relacionadas con las aptitudes humanas

El establecimiento de un sistema de capacitación y formación de los técnicos, especialistas y directivos involucrados en el programa de transferencia de tecnología es una acción que contribuiría de manera significativa a desarrollar las aptitudes humanas requeridas para su implementación exitosa. Este sistema estaría enfocado en complementar la formación del personal y en su especialización de acuerdo a las necesidades. Se concentraría en los conocimientos y habilidades específicos para las transferencias de tecnología en el campo del aprovechamiento energético de los residuos agroindustriales. Las vías y métodos para lograrlo irían desde el entrenamiento en el puesto de trabajo hasta la realización de diplomados.

10.4.7. Medidas relacionadas con las barreras técnicas

La eliminación de las barreras técnicas identificadas se logra a través de acciones dirigidas al fortalecimiento de la capacidad tecnológica de instituciones nacionales de ingeniería e investigación-desarrollo y de servicios técnicos en el campo de la certificación, operación y mantenimiento que tienen un papel relevante en la asimilación de esta tecnología y en el aseguramiento de la producción de las piezas y partes de repuesto necesarias para la sostenibilidad de la explotación de las instalaciones.

10.4.8. Medidas relacionadas con la información

El perfeccionamiento de los métodos de evaluación de la disponibilidad y potencialidad de los residuos agroindustriales para su uso energético, contribuirá a incrementar la precisión en el diseño técnico productivo de un programa de transferencia de tecnología y por tanto de la confianza en el mismo por parte de los tomadores de decisión.

El incremento de las posibilidades de acceso a experiencias internacionales en este campo y los indicadores técnico económico alcanzados en su operación contribuye igualmente a mejorar la calidad de la fundamentación y diseño del proceso de transferencia de tecnología. Una vía para alcanzar este resultado es el establecimiento de un observatorio sobre tecnologías y experiencias para el aprovechamiento energético de los residuos agroindustriales, incluyendo sus indicadores técnico económicos.

11. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL SUBSECTOR TRANSPORTE

En el subsector transporte se seleccionó la implementación de la tecnología para el incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga, aunque esta tecnología fue la primera prioridad dentro del subsector y la sexta prioridad dentro de todas las tecnologías de los 3 subsectores. Sobre esta base se desarrolló el análisis de barreras y se diseñaron medidas que propicien el marco adecuado para la superación de estas.

En primer lugar se examinó el entorno habilitante con las políticas existentes, las leyes, regulaciones, la institucionalidad, que influyen directamente en el mercado. Posteriormente se realizó el estudio de los participantes directos y los enlaces en la cadena de mercado, para finalmente analizar los proveedores de servicios. El mapa completo de mercado para esta tecnología se muestra en la figura 26.

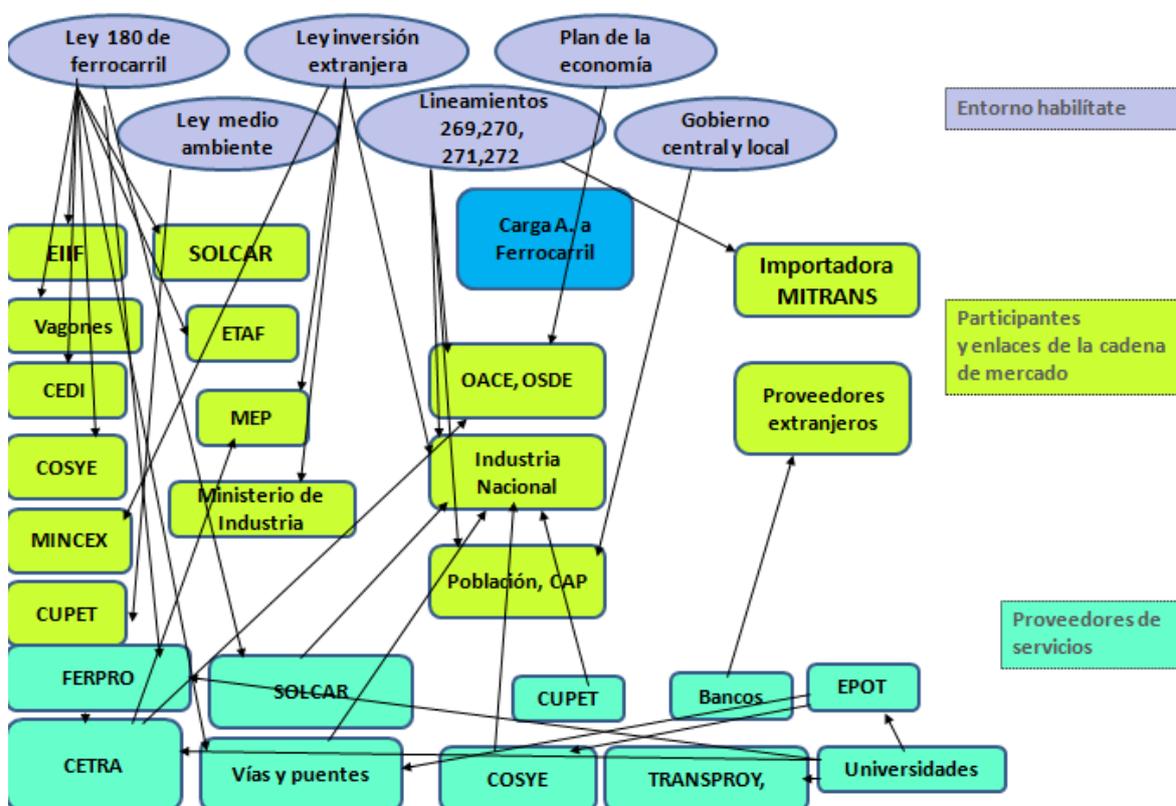


Figura 26. Mapa de mercado para la tecnología de incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga.

11.1. METAS PRELIMINARES PARA LA TRANSFERENCIA Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE INCREMENTO DEL USO DEL FERROCARRIL EN LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA

Tomando en consideración las actuales y futuras circunstancias, determinados supuestos que se han asumido, la infraestructura disponible así como las capacidades tecnológicas, financieras e intelectuales de que se disponen y, la voluntad política de los encargados de

la toma de decisiones tanto a nivel de país como del subsector, se observan potencialidades aplicables y tangibles en la esfera del transporte que contribuyen a disminuir las emisiones de GEI y con ello favorecer la mitigación al cambio climático.

Consecuente con lo anterior, el Ministerio del Transporte (MITRANS) viene trabajando en un grupo de medidas como la recuperación del transporte ferroviario, que comprende no solo la adquisición y rescate de nuevos medios de tracción y vagones, sino también de toda la infraestructura necesaria para su correcto funcionamiento.

Lo anterior presupone una disminución del uso de transporte automotor en el movimiento de cargas, de manera tal que, progresivamente durante un quinquenio, se trasladen por ferrocarril hasta alcanzar un tráfico de 900 MM t-km al año lo que reporta importantes beneficios, tanto por el nivel de actividad, como por su efectividad en la disminución de GEI (1,2 millones de tCO₂ anual) dado el decrecimiento del consumo total de combustible utilizado (aproximadamente 15,2 millones GJ/ton-km-año) y sus costos asociados.

11.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA TECNOLOGÍA DE INCREMENTO DEL USO DEL FERROCARRIL EN LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA

El movimiento de mercancías por ferrocarril no constituye una actividad novedosa ni es empleada por primera vez en el país. Mayoritariamente la transportación de carga por ferrocarril se realiza actualmente con locomotoras diesel, excepto en la transportación de la caña de azúcar que también se utiliza el carbón. La medida está encaminada a incrementar el uso de este en la transportación de cargas, pasando un volumen significativo de las que hoy se trasiegan por el modo automotor, hasta alcanzar un tráfico aproximado de 900 millones de ton-km al año.

De esta manera, no solo se logra disminuir el consumo específico de combustible de 0,0053 litros/ton-km a 0,0027 litros/ton-km, sino también el total de emisiones de gases de efecto invernadero, la ocurrencia de accidentes y el empleo de moto recursos. Por otra parte, incrementa la seguridad de las cargas durante el proceso de transportación.

11.3. ANÁLISIS DE BARRERAS PARA EL INCREMENTO DEL USO DEL FERROCARRIL EN LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA

Acorde al procedimiento descrito anteriormente, se identificaron las siguientes barreras:

11.3.1. Barreras relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

- Mercado restringido para la adquisición de la tecnología.

La Unión de Ferrocarriles de Cuba, (UFC) como institución de gobierno, es la encargada de realizar las inversiones en el subsector a partir del análisis de costo-beneficio.

Sin embargo, el mercado para la adquisición y el acceso a la tecnología están restringidos por el bloqueo económico y comercial de EE. UU., lo que implica que no siempre la importación de la misma se realice al menor precio con el mayor beneficio, que se tenga que adquirir en países lejanos y/o a través de terceros.

11.3.2. Barreras relacionadas con fallos en la red

- Insuficiente coordinación entre instituciones involucradas

Esta es una barrera transversal y se explicó anteriormente, pero tiene sus especificidades como son que se requiere de un trabajo coordinado entre los Ministerios con mayor incidencia para alcanzar la meta descrita, entre estos: el Ministerio del Transporte, el de Energía y Minas, Economía y Planificación, el de Comercio Exterior y la Inversión Extranjera y de Industria; de las instituciones de investigación y universidades con especialidades afines, así como con empresas de ingeniería y proyecto. Un esfuerzo de este tipo requiere de una unión y correcta interpretación del objetivo final que aún no está bien armonizado por todos los implicados.

La situación actual es que el vínculo entre todos los participantes, no siempre fluye de la manera deseada.

11.3.3. Barreras relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

- Insuficientes las capacidades tecnológicas y de infraestructura.

Esta también es una barrera común o transversal a todo el sector energía, pero es muy específica para el subsector transporte en cuando a la infraestructura que se requiere para la transferencia y difusión de propiamente la tecnología.

- Ausencia de factores de emisión propios.

La falta de factores de emisión propios para la actividad, por no existir equipos de medición, aumenta el nivel de incertidumbre y disminuye la calidad de los resultados relacionados con el inventario de gases de efecto invernadero para este tipo de fuente.

11.3.4. Barreras relacionadas con las aptitudes humanas

- Insuficiente capacidades intelectuales.

Es insuficiente el personal capacitado tanto en las labores de dirección como de operación y mantenimiento de esta tecnología.

11.4. MEDIDAS IDENTIFICADAS

A continuación se describen las medidas identificadas.

11.4.1. Medidas relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado

La UFC trabaja en la búsqueda de nuevos entornos de mercado y consolidación de aquellos que permiten disminuir los costos.

11.4.2. Medidas relacionadas con fallos en la red

Se trabaja en el establecimiento y consolidación de una adecuada estrategia y coordinación entre todas las instituciones implicadas con la adquisición, ejecución, puesta a punto y funcionamiento de la opción de mitigación.

La implementación de los lineamientos del nuevo modelo económico del país, contribuyen al logro de esta medida.

11.4.3. Medidas relacionadas con la capacidad institucional y organizativa

Creación y rescatar capacidades nacionales especialmente en cuanto la infraestructura necesaria para esta tecnología como viales, terminales y de reparación y mantenimiento de la tecnología.

Referente a la determinación de las emisiones, se debe incentivar a las instituciones encargadas de ello, a obtener factores de emisión propios para la actividad con el objetivo de reducir el nivel de incertidumbre relacionado con el uso de factores de emisión recomendados.

11.4.4. Medidas relacionadas con las aptitudes humanas

Desarrollar, ampliar y establecer un sistema integrado de capacitación y formación de los obreros, técnicos, especialistas y directivos involucrados, que garantice la ejecución con calidad de las obras de infraestructura, la correcta explotación y manejo de la tecnología, el sentido de pertenencia y un adecuado clima organizacional y de trabajo, contribuirá de manera significativa a perfeccionar las aptitudes humanas requeridas para la implementación exitosa de la tecnología.

Este sistema estaría enfocado en complementar la formación del personal y en su especialización de acuerdo a las necesidades. Las vías y métodos para lograrlo irían desde el entrenamiento en el puesto de trabajo hasta la realización de diplomados y otros estudios superiores con el concurso de las instituciones correspondientes.

12. VÍNCULOS ENTRE LAS BARRERAS IDENTIFICADAS

Entre las barreras identificadas existen en algunos casos marcados vínculos y gran parte de las barreras identificadas son comunes para las tecnologías priorizadas en los 3 subsectores ya que se refieren más bien a barreras de todo el sector energía como es la relativa a las restricciones impuestas al país por el bloqueo económico y comercial de EE. UU. que es una condición de borde que determina barreras económicas y financieras, produce fallos/imperfecciones en el mercado y barreras técnicas.

Entre las barreras comunes a las 3 tecnologías priorizadas se encuentran las relacionadas con la falta de recursos financieros, elevados costos de inversión para el caso de la tecnología de ciclo combinado y a la del incremento de la transportación de carga por ferrocarril, insuficiente capacidad de la industria nacional para la producción de partes y componentes de estas tecnologías, así como la insuficiente capacitación del personal tanto para la operación de esas tecnologías como para su mantenimiento, la falta de piezas de repuesto, insuficientes suministradores de tecnología, etc.

La principal medida para minimizar barreras comunes es la creación de empresas mixtas, donde el inversor extranjero asegure el financiamiento, la tecnología y elimine barreras técnicas. Por otra parte es necesario incrementar las capacidades de la industria nacional, implementar un programa de capacitación del personal en la operación y mantenimiento de las nuevas tecnologías.

El insuficiente marco regulatorio también es una importante barrera para las difusión y transferencia de las 3 tecnologías priorizadas. La creación recientemente del Ministerio de Energía y Minas es un paso muy importante en la eliminación de barreras comunes y jugará un rol importante en la definición e implementación de una política energética y en el completamiento del marco regulatorio de energía.

13. ENTORNO HABILITANTE PARA SUPERAR LAS BARRERAS EN EL SECTOR ENERGÍA

La creación del Ministerio de Energía y Minas en noviembre del 2012 ha sido un importante paso en el entorno habilitante del sector energía.

Para superar las barreras relativas al sector energía será necesario implementar aceleradamente los lineamientos de la política económica y social del país (PCC, 2011), lo que debe conllevar a un acelerado crecimiento económico aparejado con el estrechamiento de vínculos económico – comerciales con importantes socios como Venezuela (y el ALBA en su conjunto), China, Brasil, Irán, Vietnam, Rusia, etc. lo que unido a facilidades crediticias permitirá disponer de los recursos financieros necesarios para la implementación y difusión de las tecnologías propuestas, que a su vez redundarán en beneficios económicos para el país y contribuirán al incremento de la eficiencia energética de la economía, a la par que se reducirán emisiones de GEI.

Otra importante acción deberá estar encaminada al completamiento del marco regulatorio que incluye una nueva ley eléctrica, una ley para incentivar la utilización de las fuentes renovables de energía y para impulsar el uso racional de la energía y la eficiencia energética, incrementar la cultura del ahorro de energía en la población y especialmente en el sector estatal.

También deberá implementarse la estrategia propuesta en los lineamientos de la política económica y social del país en cuanto a potenciar la industria nacional, aumentar y hacer más eficiente la transportación de carga y pasajeros.

14. PLAN DE ACCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA EL SECTOR ENERGÍA

14.1. ACCIONES PARA EL NIVEL SECTORIAL

El sector energía es clave para el desarrollo económico y social del país. Sin embargo, la producción y uso de energía tiene un impacto significativo en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) constituyendo en el 2004 el 71% de las emisiones brutas del país (excluyendo las remociones por cambio de uso de la tierra y silvicultura) (López, 2009).

Por otro lado, se prevé que continúe creciendo la demanda de energía para garantizar el desarrollo económico y social y por tanto las emisiones de GEI, aún cuando se utilicen gran parte de los potenciales de energías renovables evaluados en la actualidad en el país y se incremente la eficiencia energética (Pérez, 2012).

En los lineamientos de la política económica y social del país aparecen los relacionados con la política energética (PCC, 2011). No obstante, el marco regulatorio de energía es incompleto e insuficiente, la ley eléctrica es obsoleta (Gaceta Oficial, 1975) y no existe una legislación dedicada a las energías renovables y la eficiencia energética, aunque existen programas y se hacen acciones importantes para su introducción.

En el país las tecnologías energéticas en su gran mayoría son obsoletas excepto las turbinas de gas, los ciclos combinados, motores diesel y parte del parque automotor.

Como se aprecia más adelante, se proponen algunas acciones iguales o similares en los 3 Planes de Acción para las tecnologías priorizadas, pero difieren en el alcance y especificidad de cada una.

14.2. PLAN DE ACCIÓN PARA LA TECNOLOGÍA DE CICLO COMBINADO CON GAS

Esta tecnología fue descrita anteriormente y en la hoja de Excel de la tecnología.

Con esta tecnología la meta es incrementar la eficiencia en la generación de electricidad (se reduce el uso de combustible por electricidad generada) y reducir las emisiones de GEI.

El plan de acción propuesto para esta tecnología se muestra en la Tabla 13.

Un reto importante es encontrar al inversionista extranjero que busque o tenga el financiamiento, asegure la tecnología y el soporte técnico al proyecto, incluida la capacitación del personal necesario y que garantice el suministro de repuestos durante la vida útil de la instalación.

Sin embargo, una ventaja es que ya existe un socio extranjero que hizo esto en el país y que pese a todos los riesgos, demostró que es posible y viable la transferencia y difusión de

esta tecnología, que constituyo el primer proyecto MDL del país y obtuvo el Premio al Medio Ambiente en el 2001.

Tabla 13. Plan de acción de la tecnología de ciclo combinado con gas

| No | Actividad | Plazo | | | Partes involucradas | Indicadores | Prioridad | Fuente de financiamiento |
|---|--|-------|---------|-------|--------------------------------------|---|-----------|--------------------------|
| | | Corto | Mediano | Largo | | | | |
| <i>Económicas y financieras</i> | | | | | | | | |
| A1 | Conciliación y creación de empresa mixta | x | | | MINEM, UNE, INEL, CUPET, CUBAENERGÍA | Número de empresas creadas | Alta | Internacional |
| A2 | Búsqueda de créditos | x | x | | BCC, Empresa mixta, UNE | Créditos concedidos | Alta | Nacional e Internacional |
| A3 | Creación Fondo Financiero Revolvente en CUC | x | x | x | BCC | Proyectos financiados por el fondo | Alta | Nacional |
| A4 | Estudio de posibles acciones de mitigación (NAMA* u otros) | x | | | MINEM, CUBAENERGÍA | Acciones de mitigación identificadas | Media | Nacional |
| <i>Fallos/imperfecciones en el mercado</i> | | | | | | | | |
| A5 | Creación ente regulador de la energía | x | | | Consejo de Ministros | Ley o Decreto-ley | Alta | Nacional |
| A6 | Creación de las regulaciones correspondientes | x | x | | MINEM u órgano apropiado | Nomas, regulaciones | Alta | Nacional |
| <i>Políticas, legales y reguladoras</i> | | | | | | | | |
| | IDEM a A5 y A6 | | | | | | | |
| A7 | Publicitar más el Premio al Medio Ambiente | x | x | x | CITMA | Premios a tecnologías energéticas otorgados | Media | Nacional |
| A8 | Creación sello al medio ambiente | x | x | x | CITMA | Sellos otorgados | Media | Nacional |
| A9 | Actualización de ley eléctrica | x | | | MINEM u órgano apropiado | Publicación de ley | Alta | Nacional |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|---|---|--------------------------|--|-------|--------------------------|
| A10 | Creación de ley de energías renovables y de eficiencia energética | x | | | MINEM u órgano apropiado | Publicación de ley | Alta | |
| Fallos en la red | | | | | | | | |
| | IDEM a A5 y A6 para lograr vínculo entre instituciones | x | | | Órgano apropiado | Acciones conjuntas realizadas | Media | Nacional e Internacional |
| Capacidad institucional y organizativa | | | | | | | | |
| | IDEM a A5 y A6 para lograr vínculo entre instituciones | x | | | Órgano apropiado | Acciones conjuntas realizadas | Media | Nacional e Internacional |
| A11 | Determinación de factores de emisión propios de las diferentes tecnologías | x | x | x | MINEM, CUBAENERGÍA | Factores de emisión medidos de las tecnologías | Media | Nacional e Internacional |
| Aptitudes humanas | | | | | | | | |
| A12 | Elaboración e implementación de un programa integrado de formación y capacitación de los recursos humanos | x | x | | MES-MINEM | Recursos humanos capacitados | Alta | Nacional |
| Técnicas | | | | | | | | |
| A13 | Incluir en la contratación de la transferencia de la tecnología el aseguramiento de insumos y piezas de repuesto durante la vida útil de la tecnología | x | x | | MINEM, UNE, Energoimport | Contratos firmados | Alta | Nacional |
| Otras | | | | | | | | |
| A15 | Por contrato CUPET garantiza suficiente gas para implementar las tecnologías | x | x | x | CUPET, Empresa mixta | Contratos firmados | Alta | Nacional |

* Acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA por sus siglas en inglés)

14.3. PLAN DE ACCIÓN PARA LA TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADERO

La industria del procesamiento de la madera es una actividad que por naturaleza produce significativas cantidades de residuos de biomasa. En el caso de Cuba se procesan aproximadamente 200 000 m³ de madera anualmente lo que se estima produce un volumen de residuos en el orden de los 90 000 m³. Debido a que la capacidad productiva de estos aserraderos no permite la instalación de capacidades de generación eléctrica superiores a los 2 MW, se ha escogido como tecnología para su uso en la generación de electricidad, la gasificación de biomasa

Por medio de esta opción es posible instalar cerca de 19 MW de potencia, abastecer la industria y convertirse en un generador neto de electricidad, a la vez que se resuelve el problema medio ambiental asociado a la deposición de estos residuos, se reduce el peligro de incendios.

Las principales barreras, además de las transversales al sector de energía, son la falta de mecanismos de financiamiento al que las empresas puedan acceder, están inversiones no se presupuestan en el plan de la economía de forma desagregada, procedimientos de aprobación de inversiones complejos y engorrosos, el aprovechamiento energético de los residuos no se encuentra en la misión del sistema empresarial, débil capacidad institucional para formular un programa de transferencia de tecnología especializada para el montaje, operación y mantenimiento de la tecnología y falta de información especializada sobre las potencialidades del recurso y sobre costos de las tecnologías.

El plan de acción propuesto para esta tecnología aparece en la tabla 14.

Tabla 14. Plan de acción para el aprovechamiento de los residuos de los aserraderos

| No | Actividad | Plazo | | | Partes involucradas | Indicadores | Prioridad | Fuente de financiamiento |
|---|--|-------|---------|-------|--------------------------|--------------------------------------|-----------|--------------------------|
| | | Corto | Mediano | Largo | | | | |
| <i>Económicas y financieras</i> | | | | | | | | |
| A1 | Formulación de programa de transferencia de tecnología para la implementación de la tecnología de gasificación de los residuos de aserradero en la generación de electricidad y realización de estudio de factibilidad técnico económico | x | | | GEAM, CUBAENERGÍA | Programa elaborado | Alta | Nacional |
| A2 | Creación Fondo Financiero Revolvente en CUC | x | x | x | BCC | Proyectos financiados por el fondo | Alta | Nacional, Internacional |
| A3 | Estudio de posibles acciones de mitigación (NAMA* u otros) | x | | | MINAG, GEAM, CUBAENERGÍA | Acciones de mitigación identificadas | Media | Nacional, Internacional |
| <i>Fallos/imperfecciones en el mercado</i> | | | | | | | | |
| A4 | Negociación con suministradores tecnológicos su participación en programa de transferencia de tecnología. | x | | | GEAM, CUBAENERGÍA | Acuerdo con suministrador | Alta | Nacional, Internacional |
| A5 | Creación de las regulaciones sobre tarifa eléctrica para generadores independientes | x | x | | MINEM u órgano apropiado | Nomas, regulaciones | Alta | Nacional |
| <i>Políticas, legales y reguladoras</i> | | | | | | | | |
| | Igual A5 | x | x | | | | | |
| A6 | Aprobación de una política energética que establezca metas, plazos y recursos para el desarrollo de las fuentes renovables de energía | x | x | | MINEM u órgano apropiado | Nomas, regulaciones | Alta | Nacional |
| A7 | Aprobación de un marco legal y normativo de los aspectos técnicos, contractuales y comerciales para productores independientes de electricidad | x | x | | MINEM u órgano apropiado | Publicación de normativas | Alta | Nacional |

| Fallos en la red | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--------------------------|-------------------------------|-------|--------------------------|
| A8 | Identificación e implementación por el GEAM de la capacidad institucional requerida para coordinar la implementación del programa sobre la base de una estrecha coordinación con el resto de los actores. | x | | | GEAM, CUBAENERGÍA | Acciones conjuntas realizadas | Media | Nacional e Internacional |
| Capacidad institucional y organizativa | | | | | | | | |
| | IDEM a A9 | x | | | GEAM, CUBAENERGÍA | Acciones conjuntas realizadas | Media | Nacional e Internacional |
| A9 | Identificar e implementar las acciones requeridas para satisfacer las necesidades de capacidad institucional propia o tercerizada para los servicios especializados requeridos y en particular para el montaje y puesta en marcha de las instalaciones energéticas y su posterior en operación y mantenimiento. | x | x | x | GEAM,UNE, CUBAENERGÍA | Capacidad fortalecida | Media | Nacional e Internacional |
| Aptitudes humanas | | | | | | | | |
| A10 | Elaboración e implementación de un programa integrado de formación y capacitación de los recursos humanos | x | x | | MES-GEAM- CUBAENERGÍA | Recursos humanos capacitados | Alta | Nacional |
| Técnicas | | | | | | | | |
| A11 | Incluir en la contratación de la transferencia de la tecnología el aseguramiento de insumos y piezas de repuesto durante la vida útil de la tecnología | x | x | x | GEAM | Contratos firmados | Alta | Nacional |

* Acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA por sus siglas en inglés)

14.4. PLAN DE ACCIÓN PARA LA TECNOLOGÍA DE INCREMENTO DEL USO DEL FERROCARRIL EN LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA

Cuba fue el primer país de América Latina y el Caribe y el séptimo en el mundo que puso en explotación, el 19 de noviembre de 1837, una línea férrea desde La Habana hasta Bejucal, con una longitud de 29 km.

La recuperación del transporte ferroviario no solo tiene en cuenta la reparación y adquisición de medios de tracción y arrastre, sino también el mejoramiento del estado actual de la infraestructura (carreteras de acceso, vías férreas y servicios conexos), la actualización de documentos regulatorios y la preparación del capital humano.

La tecnología planteada consiste en propiciar y potenciar un mayor empleo del ferrocarril en el traslado de mercancías con la consiguiente disminución del uso del transporte automotor (camiones), lo que permite hacer más eficiente y seguro el proceso de transportación de carga, disminuir el consumo de portadores energéticos y reportar menor emisión de gases de efecto invernadero.

La principal barrera está en que Cuba tiene muy limitado el acceso a los flujos de financiamiento internacionales, y que el mercado para la adquisición y el acceso a la tecnología, están restringidos debido al bloqueo económico, financiero y comercial impuesto por el Gobierno de los Estados Unidos de América, que por demás, tiene un carácter extraterritorial, lo que implica que no siempre la importación de la misma se realice al menor precio con el mayor beneficio, que se tenga que adquirir en países lejanos y/o a través de terceros.

El plan de acción propuesto para esta tecnología se muestra en la Tabla 15.

Tabla 15. Plan de acción para la tecnología de incremento del uso de ferrocarril en la transportación de carga

| No | Actividad | Plazo | | | Partes involucradas | Indicadores | Prioridad | Fuente de financiamiento |
|---|--|-------|---------|-------|---|--|-----------|--------------------------|
| | | Corto | Mediano | Largo | | | | |
| Económicas y financieras | | | | | | | | |
| A1 | Búsqueda de créditos blandos o de acuerdos bancarios y comerciales preferenciales | x | x | | UFC, BCC, MITRANS | Créditos concedidos | Alta | Internacional |
| A2 | Adquirir opciones tecnológicas más rentables | x | x | | UFC, BCC, MITRANS | Adquisición de la tecnología | Alta | Nacional e Internacional |
| A3 | Estudio de posibles acciones de mitigación (NAMA* u otros) | x | x | | MITRANS, CETRA, CEDI, UFC, | Acciones de mitigación identificadas | Media | Nacional |
| Fallos/imperfecciones en el mercado | | | | | | | | |
| A4 | Búsqueda de nuevos entornos de mercado y consolidación de aquellos que permiten disminuir los costos | x | x | | UFC, BCC, MITRANS, MINCEX | Inversión menos costosa | Alta | Nacional e Internacional |
| Políticas, legales y reguladoras | | | | | | | | |
| A5 | Actualización de las regulaciones correspondientes | x | | | UFC, CETRA, MITRANS, CEDI | Documentos regulatorios actualizados | Alta | Nacional |
| Fallos en la red | | | | | | | | |
| A6 | Coordinación entre todas las instituciones implicadas con la tecnología | x | x | | UFC, MITRANS, CEDI, MEP, MINEM, MINCEX, CETRA | Vinculo armonizado entre todas las instituciones implicadas. Acciones conjuntas realizadas | Media | Nacional |
| Capacidad institucional y organizativa | | | | | | | | |
| A7 | Revitalizar la industria nacional y procesos productivos | x | x | x | UFC, MITRANS, MEP, Ministerio de Industria | Incremento de las capacidades de producción nacional de equipos, partes y piezas | Alta | Nacional e Internacional |
| A8 | Determinación de factores de emisión propios para este tipo de fuente | x | x | x | CETRA, MITRANS | Factores de emisión | Media | Nacional e Internacional |
| Aptitudes humanas | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|--|----------------------------|---|------|--------------------------|
| A9 | Elaboración e implementación de un programa integrado de formación y capacitación del capital humano | x | x | | MES-MITRANS, CETRA, FERPRO | Recursos humanos capacitados | Alta | Nacional |
| Técnicas | | | | | | | | |
| A10 | Incluir en la contratación de la tecnología el aseguramiento de insumos y piezas de repuesto durante la vida útil de la misma | x | | | UFC, BCC, MITRANS, MINCEX | Contratos firmados con las cláusulas correspondientes | Alta | Nacional e Internacional |
| A11 | Incluir en la contratación el mantenimiento sistemático de toda la infraestructura necesaria | x | x | | UFC, BCC, MITRANS, MINCEX | Contratos firmados con las cláusulas correspondientes | Alta | Nacional e Internacional |

* Acciones nacionales apropiadas de mitigación (NAMA por sus siglas en inglés)

15. TEMAS TRANSVERSALES

En las acciones habilitantes de la categoría de barreras económicas y financieras son temas transversales para las 3 tecnologías en los 3 subsectores la necesidad de realizar estudios de posibles acciones de mitigación (NAMA* u otros) y la necesidad de disponer de inversión extranjera directa.

Por su parte, en las acciones habilitantes relacionadas con fallos/imperfecciones en el mercado, políticas, legales y regulatorias son transversales el completamiento del marco regulatorio y la elaboración de una política energética.

En fallos en la red y capacidad institucional y organizativa son transversales la interacción entre las instituciones y la creación y/o revitalización de la industria nacional.

Es común la necesidad de acciones de capacitación del personal de operación y mantenimiento de las nuevas tecnologías.

Finalmente es transversal la necesidad de garantizar las piezas de repuesto de las nuevas tecnologías durante su vida útil.

16. IDEAS DE PROYECTO SECTOR ENERGÍA

16.1. IDEA DE PROYECTO CICLO COMBINADO CON GAS

16.1.1. Introducción y antecedentes

Una central de ciclo combinado de gas natural es una planta de producción de energía eléctrica que combina dos procesos o ciclos para obtener el máximo rendimiento: el ciclo de Brayton, en el que los gases de combustión accionan directamente una turbina de gas, y el ciclo Rankine, en el que se aprovecha la energía residual de los gases de escape de la turbina de gas para generar vapor en una caldera, que accionará a su vez una turbina de vapor. Ambas máquinas (turbina de gas y de vapor) accionan un alternador donde se transforma la energía mecánica en eléctrica. La combinación de estos dos procesos permite que este tipo de centrales tenga una eficiencia energética muy superior, que en el caso de Cuba es de 43%, que es al menos 10% mayor al de una termoeléctrica convencional, posee costos de Operación y Mantenimiento (O&M) menores y el costo de inversión es el más bajo de todas las tecnologías convencionales. Además, tiene un factor de emisión de CO₂ 38% menor al de una central termoeléctrica con fuel oil.

16.1.2. Objetivos

- Elaborar estudio de pre y factibilidad técnico-económica de la instalación del CC
- Creación de empresa mixta
- Instalación del CC
- Estudio de posibles acciones de mitigación [Acciones Nacionales Apropriadas de Mitigación (NAMA por sus siglas en inglés) u otros]

16.1.3. Productos y resultados

- Sistema eléctrico más eficiente
- Incremento de la disponibilidad
- Generación eléctrica menos contaminante
- Sustituir generación más costosa con fuel oíl o crudo

16.1.4. Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades

El proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país ya que suministrará electricidad para el desarrollo socio-económico aprovechando un recurso propio o importado, de no encontrarse nuevos yacimientos de gas natural en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Golfo de México, reduce las emisiones de CO₂ y SO₂ respecto a línea base utilizando centrales termoeléctricas con fuel oíl o crudo, además aumenta la disponibilidad del sistema eléctrico, ofrece oportunidades para la capacitación y la transferencia de tecnología ya que creará empleos y se capacitará debidamente al personal local en la implementación, operación y mantenimiento de la tecnología. La transferencia de habilidades y conocimientos se extiende a otras industrias locales que deberán relacionarse con el proyecto como empresas de ingeniería, proyectos, construcción y montaje, etc., que deberán certificarse también por las normas y estándares del país inversor.

También el proyecto fomentará la inversión extranjera directa ya que demuestra que Cuba puede superar las barreras y movilizar tecnología moderna y recursos locales con el fin de avanzar en el desarrollo económico sostenible.

El proyecto también mejora el nivel de vida de la población al reducir la importación de recursos fósiles y poder destinar parte de ese dinero para mejorar la educación y la salud. También al reducir las emisiones de GEI se reducen los daños a la salud de la población local.

Por otra parte el proyecto responde a uno de los lineamientos de la política energética del país “...prestar prioritaria atención a la instalación de los ciclos combinados...”.

16.1.5. Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos

El proyecto se puede replicar al menos 8 veces en dependencia de la disponibilidad de gas natural, tanto a partir de la regasificación del GNL importado o de las reservas en la Zona Económica Exclusiva del Golfo de México. Los proyectos se pudieran

implementar entre el 2016 y 2038, para cubrir todo el crecimiento de la demanda de electricidad proyectada.

El proyecto tiene como antecedentes y vínculos con el CC de Energas Varadero de 180 MW y el CC de Energas Boca de Jaruco de 325 MW.

Un CC como el propuesto evitaría anualmente unas 400 mil tCO₂-eq anualmente con respecto a una central termoeléctrica de igual capacidad utilizando fuel oíl.

16.1.6. Actividades del proyecto y calendario

Tabla 16. Actividades y su duración

| Actividad | Duración | Etapa |
|--|-----------------|--------------|
| Recopilar información y conciliar con IPF su ubicación | 8 meses | 1er año |
| Elaboración de proyecto | 6 meses | |
| Creación empresa mixta | 6 meses | |
| Entrenamiento del personal | 8 meses | 2do año |
| Contratación de servicios ingeniería, construcción, etc. | 3 meses | |
| Contratación y suministro de tecnología y equipos | 6 meses | |
| Construcción y montaje | 12 meses | 3er Año |
| Construcción y montaje | 12 meses | |
| Elaboración de propuesta de opción de mitigación | 6 meses | |
| Puesta en marcha e inicio operación | 6 meses | |
| Monitoreo | 6 meses | |

16.1.7. Presupuesto

El costo total de un CC de 180 MW (inversión + construcción + intereses) es de 198 millones de pesos convertibles.

Tiempo total de construcción es de 3 años.

16.1.8. Posibles complicaciones y desafíos

El principal desafío es encontrar al inversor extranjero.

16.1.9. Responsabilidades y coordinación

Si la empresa mixta fuera Energas, las responsabilidades serían:

CUPET (Unión Cubapetróleo) es la entidad petrolera estatal de Cuba y es propiedad del Gobierno de Cuba. CUPET suministra gas natural sucio o agrío a la empresa mixta sin costo.

UNE (Unión Eléctrica) es la empresa eléctrica nacional de Cuba y es propiedad del Gobierno de Cuba. UNE comprará la electricidad a la empresa mixta a precios fijos bajo contratos a largo plazo. Con ello Sherrit Utilities Inc. recupera la inversión.

Sherritt Utilities Inc. Es una compañía privada y una filial 100% de Sherritt International Corporation. Sherritt proporcionará el 100% del financiamiento y la especialización técnica para el proyecto.

Otro tipo de empresa mixta debería funcionar con similar esquema.

16.2. IDEA DE PROYECTO GASIFICACIÓN DE RESIDUOS DE ASERRADEROS

16.2.1. Introducción y antecedentes

La industria del procesamiento de la madera es una actividad que por naturaleza produce significativas cantidades de residuos de biomasa. En el caso de Cuba se procesan más de 200 000 m³ de madera anualmente lo que se estima produce un volumen de residuos en el orden de los 90 000 m³. Debido a que la capacidad productiva de estos aserraderos no permite la instalación de capacidades de generación eléctrica superiores a los 2 MW, se ha escogido como tecnología para su uso en la generación de electricidad, la gasificación de biomasa.

16.2.2. Objetivos

El objetivo de la idea de proyecto es fundamentar un programa inversionista dirigido al aprovechamiento de los residuos de los aserraderos del Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM) para la producción de electricidad instalando una capacidad de generación distribuida en el orden de los 20 MW en estas instalaciones industriales. Adicionalmente propiciara la realización de acciones demostrativas a nivel comercial de plantas de generación de electricidad.

16.2.3. Productos y resultados

La industria de la madera cubana en el marco del GEAM cuenta con 78 aserraderos con una capacidad anual de producir 231 000 m³ de madera aserrada. El índice de aprovechamiento industrial de la madera como media se estima en un 50%, por lo que se producen significativos volúmenes de residuos agroindustriales cuya deposición final hoy constituye en la mayoría de los casos un serio problema ambiental con grandes riesgos de incendio y gastos de maquinaria, personal, combustibles adicionales en su disposición.

Los principales resultados que se esperan son:

- d. La instalación de alrededor de 20 MW de potencia eléctrica, contribuyendo la venta de electricidad al sistema eléctrico nacional a la rentabilidad económica de la industria.
- e. Eliminación de los impactos ambientales negativos de los aserraderos de madera del GEAM por la deposición de los residuos de manera no controlada.

El aseguramiento de la sostenibilidad energética de la industria en cuanto al uso de electricidad y contribuir a la reducción de importaciones de combustibles convencionales por el país.

16.2.4. Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades

El proyecto permitirá contribuir al logro de la política de aprovechamiento de los residuos con fines energéticos además de contribuir a la diversificación de la matriz energética del país, contribuir a la sostenibilidad de la producción maderera y la conservación del medio ambiente.

16.2.5. Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos

Esta propuesta se basa en resultados obtenidos en estudios previos realizados sobre el potencial energético de los residuos de la industria, la viabilidad técnico económica de su uso como combustible, y las oportunidades de formulación de programas inversionistas en este campo.

El proyecto está dirigido a la fundamentación técnico económica de un proceso inversionista para la generación de electricidad distribuida utilizando como combustible los residuos de los aserraderos y la demostración a nivel comercial de su viabilidad técnico económica.

El mismo incluye acciones desde la cuantificación a corto y mediano plazo de la disponibilidad de residuo por unidad productora, hasta la formulación de un programa inversionista para el sector y la demostración práctica de sus bases.

Vinculado a este proyecto está la planta de generación de electricidad de 40 kW conectada a la red eléctrica basada en la gasificación de los residuos de esta industria, que ya esta operativa en un aserradero del GEAM. Además de la inversión de una planta de 500 kW por gasificación de biomasa forestal. Simultáneamente se avanza en la realización de estudios de factibilidad puntuales de inversiones en este campo.

16.2.6. Actividades del proyecto y calendario

En la tabla 17 se muestran las actividades del proyecto y su duración.

Tabla 17. Actividades del proyecto y duración.

| Actividad | Duración | Etapa |
|--|-----------------|--------------|
| Diagnostico del potencial del uso de los residuos del sector para la producción de electricidad | 6 meses | 1er año |
| Formulación de un programa de desarrollo para la generación de electricidad en la industria a partir de sus residuos | 4 meses | |
| Fundamentación técnico económica de planta demostrativa comercial | 4 meses | |
| Selección de suministradores tecnológicos - contratación de | 4 meses | 2do año |

| | | |
|--|----------|---------|
| suministros | | |
| Suministro, construcción y montaje y puesta en marcha. | 8 meses | |
| Acciones de capacitación del personal que participa en la implementación del programa | 6 meses | |
| Acciones de fortalecimiento institucional para la implementación del programa y el aseguramiento de la operación y mantenimiento de las plantas eléctricas y el suministro de biomasa. | 8 meses | |
| Monitoreo y evaluación de indicadores productivos de la operación de la planta demostrativa. | 10 meses | 3er Año |
| Actualización del programa de desarrollo. | 2 meses | |
| Inicio de acciones para despliegue del programa | 4 meses | |

16.2.7. Presupuesto

- Elaboración del programa e implementación de las acciones de creación de capacidades: 150 000 CUC.
- Inversiones para la construcción y puesta en marcha de planta demostrativa de 100 kW y aseguramiento del suministro de biomasa: 450 000 CUC.
- Monitoreo y evaluación de la operación de la planta: 50 000 CUC.

Presupuesto total: 650 000 CUC

16.2.8. Posibles complicaciones y desafíos

Los aspectos más sensibles para la ejecución del proyecto están en el área de negociación del financiamiento y de las condiciones y garantías de pago del mismo. La selección apropiada de la solución tecnológica es un aspecto de riesgo. La falta de experiencia en este campo en el sector forestal y la aún incipiente sensibilización con el mismo pudiera en algunos casos dificultar la ejecución del proyecto.

16.2.9. Responsabilidades y coordinación

La coordinación de este proyecto estará a cargo del GEAM.

Entre los participantes relevantes están la UNE como monopolio de la distribución y comercialización de la electricidad y los Ministerios de Energía y Minas y de la Agricultura. CUBAENERGIA participará en el proyecto aportando los elementos técnicos y los estudios de factibilidad que se requieran.

16.3. IDEA DE PROYECTO INCREMENTO DE LA TRANSPORTACIÓN DE CARGA POR FERROCARRIL. REHABILITACIÓN DE LA LÍNEA SUR

16.3.1. *Introducción y antecedentes*

En la actualidad el suministro de recursos para mantener en condiciones aceptables el estado técnico de las vías férreas es insuficiente, dado el limitado nivel presupuestario para tal actividad, lo que ha obligado a destinar los escasos materiales disponibles hacia las principales líneas del país (Línea Central) y limitar las condiciones de explotación de otras.

Ante esta situación y dada la necesidad de transportar las cargas que se originarán en el Puerto de Mariel hacia el este del país, con la condición que no atraviesen por el nudo ferroviario de La Habana e interfiera el ya cogestionado transporte público urbano de la capital, se desarrolla el presente proyecto sobre la utilización de la Línea Sur en las transportaciones de carga con origen en el Puerto del Mariel.

En el estudio se analizarán la incidencia en las transportaciones de las cargas y de pasajeros por la Línea Sur en cuanto a:

- Estado técnico que presentan la vía y las obras de fábrica,
- Seguridad en la circulación de los trenes,
- Inversiones a desarrollar en el tramo (mejoramiento de estaciones, aumento de la longitud de las carrileras de cruces, etc.).

16.3.2. *Antecedentes*

La Línea Sur hasta el enlace con el Ramal Montalvo tiene una longitud de 147,8 km. Esta vía en sus primeros 28,0 km (Habana-Bejucal) fue el primer tramo ferroviario construido en el país, cuya inauguración ocurrió el 19 de noviembre de 1837.

Esta línea se caracteriza por un perfil plano en todo su recorrido, apropiado para este medio de transporte, atravesando en su trayecto importantes poblados que tuvieron su crecimiento gracias al desarrollo ferroviario vinculado con la industria azucarera en toda esta zona.

Con el desarrollo de la Línea Central (principal línea ferroviaria del país) y dada las limitaciones económicas que presentaba el país, esta vía vio limitada la circulación de trenes y por consiguiente su desarrollo y no es hasta la actualidad, que dadas las perspectivas de desarrollo que tendrá el puerto del Mariel en la manipulación de cargas y la necesidad de que estas mercancías se trasladen por fuera del nudo ferroviario de la capital, es que se propone rehabilitar la mencionada línea fundamentalmente en el tramo Rincón (km 23,3)-Enlace Ramal Montalvo (km

147,8), para de ahí circular por el ramal del mismo nombre de 18,9 km de longitud hasta el patio ferroviario de Jovellanos, donde se conecta con la Línea Central hasta las regiones central y oriental del país.

16.3.3. Objetivos

- Mejorar la infraestructura ferroviaria en la Línea Sur (Tramo Estación Rincón-Enlace Ramal Montalvo) y del Ramal Montalvo.
- Elaborar estudio de pre y factibilidad técnico-económica relacionado con las inversiones a acometer en el tramo.
- Incrementar las transportaciones de carga por ferrocarril.
- Mejorar los niveles de seguridad en el tramo.

16.3.4. Productos y resultados

- Ahorro de combustible en la tracción de los trenes (trazado llano).
- Desvinculación del tránsito de las cargas del centro de la capital.

16.3.5. Relación con el desarrollo sostenible del país y sus prioridades

El proyecto contribuye al desarrollo sostenible del país, ya que garantizará las transportaciones de carga fundamentalmente hacia el este del país de una forma más económica, primero por utilizarse el ferrocarril, medio de transporte más eficiente en las transportaciones de cargas masivas a largas distancias y segundo por utilizarse una vía completamente llana, lo que supone un sustancial ahorro de combustible en la tracción de los trenes.

Con el proyecto se mejora la calidad de vida de las poblaciones asentadas a lo largo de la vía, que durante años vieron mermadas sus posibilidades de desarrollo por la falta de transporte. Este proyecto además contribuirá al incremento del número de empleos en la zona.

Por otra parte el proyecto responde a los lineamientos de la política del transporte del país como son:

Lineamiento-270: Relacionado con garantizar la utilización de los esquemas y medios más eficientes para cada tipo de transportación a través del perfeccionamiento de cargas del país aprovechando las ventajas comparativas del ferrocarril.

Lineamiento-271: Las inversiones se pagarán con el rendimiento de estas, relacionadas con el desarrollo del ferrocarril y de la infraestructura portuaria y su equipamiento se financiará, fundamentalmente con los ahorros de portadores energéticos y reducción de gastos.

Lineamiento-272: Impulsar el programa de recuperación y desarrollo del ferrocarril dentro del proceso inversionista del país, priorizando el mejoramiento y

mantenimiento de la vía y la gestión de las operaciones, para elevar la velocidad de marcha de los trenes, la seguridad, la disciplina ferroviaria y disminuir los tiempos de transportación de la carga y los pasajeros. Todo ello se ejecutará según el plan y las posibilidades reales.

16.3.6. Alcance del proyecto y vínculo con otros proyectos

El proyecto presenta un alcance nacional, ya que permitirá las transportaciones de volúmenes considerables de carga contenedorizada y general prevista en el periodo 2014-2016. Este proyecto tiene vínculo con los estudios que se desarrollan para la transportación interurbana de pasajeros por ferrocarril, el desarrollo del Puerto del Mariel y las transportaciones de áridos destinadas para obras del ferrocarril y construcciones en la capital.

16.3.7. Actividades del proyecto y calendario

- Mejorar la superestructura de la vía y las obras de fábrica (Año 1).
- Elaborar tareas de inversión para el mejoramiento de la infraestructura ferroviaria (Año 1).
- Elaboración de proyectos (Años 2 y 3).
- Construcción de obras ferroviarias (Año 2 y 3).

16.3.8. Presupuesto

El presupuesto total del proyecto (rehabilitación de la línea) es de aproximadamente 25,0 Mpesos/km, considerando la mayor ejecución de las obras en reparaciones ligeras y de 12,0 Mpesos en la reparación de cada puente como promedio, a esto hay que incluirle adicionalmente el monto de las inversiones en infraestructura como alargamiento de las carrileras de cruce y mejoramiento de las estaciones.

16.3.9. Posibles complicaciones y desafíos

El principal desafío es disponer del financiamiento necesario para rehabilitar la línea en el periodo establecido.

16.3.10. Responsabilidades y coordinación

La responsabilidad del proyecto será:

CEDI (Centro Nacional de Infraestructura Ferroviaria). Entidad estatal encargada de la administración del presupuesto para la rehabilitación de la vía.

UFC (Unión de Ferrocarriles de Cuba). Entidad estatal propietaria del patrimonio de la red ferroviaria del país.

El CEDI proporcionara el financiamiento y la UFC es la encargada de suministrar el servicio a través de sus empresas de construcción y mantenimiento de vías férreas y obras de fábricas, planta de traviesas, soldadura de carriles, etc.

17. CONCLUSIONES

La prioridad en la transferencia y difusión de tecnologías la tiene el sector de energía por su peso determinante en las emisiones de GEI del país.

La reciente creación del Ministerio de Energía y Minas constituye un importante paso para superar vacíos existentes en el marco regulatorio, así como en la elaboración y formalización de una política energética en el país.

Las principales barreras en el sector energético son las restricciones impuestas por el bloqueo económico y comercial de EE. UU. a Cuba, que dificulta la transferencia y difusión de tecnologías de punta, además de que limita el acceso a créditos y financiamiento, reduce las opciones tecnológicas disponibles y suministradores tanto de tecnologías como de piezas de repuesto. Constituyen también barreras la insuficiente capacidad de la industria nacional, la falta de experiencia en el montaje, operación y mantenimiento de nuevas tecnologías.

Las barreras económicas y financieras pueden minimizarse con la creación de empresas mixtas donde la parte extranjera pone el financiamiento, la tecnología y todo el apoyo técnico requerido.

Los planes de acción de las tecnologías incluyen las actividades necesarias para remover o minimizar las barreras.

Las ideas de proyectos son consistentes con las prioridades del país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amarales, M., Villarroel, J.M., Cardoso, X., 2012. Formulación de estrategias de mitigación para el sector transporte de la República de Cuba, CETRA.
- CDM, 2006. Energas Varadero Conversion from Open Cycle to Combined Cycle Project. CDM-PDD Version 6, December 18, 2006. <http://cdm.unfccc.int/Projects/DB/DNV-CUK1170423186.13/view>
- CFE, 2010. Costos y parámetros de referencia para la formulación de proyectos de inversión en el sector eléctrico. Generación 2010. Comisión Federal de Electricidad. México.
- EE. UU., 2007. Departamento de Estado. Nota de antecedentes: Cuba; mayo de 2007.
- Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ley 1287/1975. Ley Eléctrica (<http://www.gacetaoficial.cu/>).
- Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ley 77/1995. Ley de la Inversión Extranjera (<http://www.gacetaoficial.cu/>).
- Gaceta Oficial de la República de Cuba, Ley 81/1997. Ley de Medio Ambiente (<http://www.gacetaoficial.cu/>).
- IAEA, 2008. Cuba: A Country Profile on Sustainable Energy Development. ISBN 978-92-0-101708-6, Vienna.
- IEA, 2007. Biomass for power generation and CHP. IEA Energy Technology Essentials ETE03. Paris.
- IEA, 2010. Energy Technology Perspectives. Scenarios & Strategies to 2050. Paris.
- INSMET, 2001. Primera Comunicación Nacional a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. ISBN: 959-02-0333-7. CUBAENERGIA, 2001.
- López, C., 2011. Escenarios combinados de gestión ambiental-mitigación para la proyección de las emisiones de metano derivadas de los desechos sólidos municipales en Cuba. Comunicación personal.
- López, C., Fernández, P.V., Manso, R.W., León, A., Guevara, A.V., González, C., Mesa, S., Martínez, E., Rodríguez, N., Dávalos, J., García, M.E., Biart, R., López, I., Pérez, D., Ricardo, H., Pire, S.F., Ameneiros, J.M., Mercadet, A. and Álvarez, A. 2005. Determinación de Emisiones y Absorciones de Gases de Invernadero en Cuba Durante el Año 2002. CITMA/AMA/Instituto de Meteorología, Habana, Cuba.
- López, C., P. V. Fernández, R. W. Manso, A. Valdés, A. León, A. V. Guevara, C. González, M. E. García, G. Legaña, T. M. González, J. Dávalos, I. López, D. Pérez, H. Ricardo, S. F. Pire, J. M. Ameneiros, A. Mercadet, A. Álvarez (2009): “Emisiones

y Remociones de Gases de Invernadero en Cuba. Reporte Actualizado para el Período 1990-2004”, CITMA/AMA/Instituto de Meteorología. La Habana, 338 pp. 2009.

Meneses, et. al., 2009. Final Report on Research Contract Number: 13729 “Case study to assess options and mechanisms for GHG mitigation in Cuba”.

Munda, G., 1997. Teoría de Evaluación Multicriterio: Una breve perspectiva general. Bellaterra. España.

Navarro, 2011. Proyecto MDL Energías. IX Seminario nacional de energía en apoyo a la toma de decisiones, La Habana, Cuba. [www.cubanergia.cu/SeminarioNacionaldeEnergía/IX Seminario Nacional de Energía](http://www.cubanergia.cu/SeminarioNacionaldeEnergía/IX_Seminario_Nacional_de_Energía).

ONE, 2010. Anuario Estadístico de Cuba, 2009. ONE.

ONE, 2011. Anuario Estadístico de Cuba, 2010. ONE.

ONEI, 2012. Anuario Estadístico de Cuba 2011. Edición 2012.

OTMDL, 2011. Oficina Técnica del MDL. Comunicación personal.

PCC, 2011. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución aprobados el 18 de abril del 2011 en el VI Congreso del PCC”. La Habana, Cuba.

Perez, et. Al., 2012. Evaluación de opciones de mitigación de gases de efecto invernadero en el sector energético cubano. CUBAENERGIA, ISBN 978-959-7136-88-0, 48 pp.

Presa, J. M., 2011. Las fuentes renovables de energía en Cuba. Conferencia Internacional de Energías Renovables, Eficiencia y Educación Energética CIER 2011. La Habana. Cuba.

UN, 2006. Naciones Unidas; Conferencia sobre Comercio y Desarrollo; Reporte de Inversiones Mundiales de 2005 – Hojas de datos del país: Cuba, septiembre 2006.

UNDP, 2010. Manual para realizar una Evaluación de necesidades en materia de tecnológicas para el cambio climático. New York, EE UU.

Vidal, P.; Pérez, O.; 2012. Miradas a la economía cubana: el proceso de actualización. ISBN 978-959-303-054-0. Editorial Caminos. La Habana, Cuba.

ANEXO 1. METODOLOGIA DEL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Análisis multicriterio (AMC) se entiende por el examen y la evaluación de un tema de una manera multidimensional, utilizando un conjunto diverso de indicadores y variedad de unidades de medición. Este tipo de análisis soporta, en muchos casos, los procesos de toma de decisiones los cuales han sido analizados y modelados matemáticamente para dotar a las personas encargadas de tomar decisiones, de herramientas que les permitan contar con una mejor visualización de los factores que intervienen en los procesos, así como de las preferencias existentes. Además involucran la necesidad de evaluar opciones y elegir, de entre todas las alternativas, aquella que mejor se adecue a los objetivos perseguidos.

Para estos análisis son empleados con frecuencia modelos de preferencias y entre los más conocidos podemos encontrar: Proceso Analítico Jerárquico (Saaty, 1971); Método Electre III (Roy, 1978); Método Promethee (Brans and Vinke, 1985); Método MacBeth (Bana e Costa y Vansnick); Método Naiade (Munda, 1995), entre otros.

Sin embargo, estos procesos presentan dificultades e incertidumbres que hay que tener en cuenta al tomar las decisiones tales como, inexactitud de los datos, complejidad en el análisis de las alternativas, subjetividad inherente a la definición de prioridades. Además se basan en estimaciones “a priori” y cuando es demasiado compleja se recurre al uso de indicadores así como la consideración de ambigüedad en los datos, que la realidad no admita descripción numérica, predicciones futuras, desarrollo de tecnologías y otras.

En el caso del proceso de toma de decisiones relacionado con el desarrollo sostenible, se involucra la interrelación de tres sistemas: económico, social y medioambiental. Esta interrelación produce conflicto de intereses que hace de cualquier proceso de decisión, una tarea compleja que requiere de métodos sistemáticos. Específicamente en relación al cambio climático las acciones para mitigar o adaptarse a sus efectos están asociadas a disímiles variables como población, crecimiento económico, desarrollo tecnológico, competitividad y otras, por lo que es difícil cuantificar el efecto del cambio climático al existir muchos factores inciertos. En este sentido, los métodos de análisis multicriterial tienen gran ventaja, ya que permiten considerar un amplio número de datos, relaciones y variables, presentes en estos problemas de decisión.

Las componentes para el desarrollo de una evaluación multicriterio se enumeran a continuación:

- ✓ definición del problema y objetivos
- ✓ conformación del grupo de expertos que participan en la evaluación
- ✓ definición del conjunto de criterios de evaluación
- ✓ generación de opciones (identificando las alternativas viables y aceptables para alcanzar los objetivos)
- ✓ identificación del sistema de preferencias y método de agregación (mediante la asignación de pesos que resalta la importancia relativa de los diferentes criterios o

mediante procedimientos interactivos, que consideran tanto a actores como decisores)

- ✓ evaluación de alternativas, según cada uno de los criterios establecidos
- ✓ presentación de recomendaciones para la implementación y el seguimiento del funcionamiento de las alternativas priorizadas, contrastado con los objetivos.

Método NAIADE

El método de agregación multicriterio discreto NAIADE (Enfoque Novedoso de Evaluación y Decisión sobre Ambientes Imprecisos) desarrollado por G. Munda (1995), se basa en algunos aspectos del axioma de comparabilidad parcial y su objetivo es realizar un ordenamiento de las alternativas utilizando la técnica de las comparaciones pareadas.

Puede evaluar simultáneamente dos matrices (matriz de impacto y de equidad). La primera puede incluir medidas estocásticas, deterministas o difusas para la caracterización de una alternativa $A(p)$ por medio de diferentes criterios $C(n)$; la segunda permite recoger la evaluación de cada alternativa por parte de todos los actores claves involucrados en el proceso de decisión.

La matriz de impacto (o evaluación) puede incluir medidas certeras, estocásticas, difusas o expresiones lingüísticas del desempeño de una alternativa con respecto al criterio de evaluación, por tanto, éste método es muy flexible para aplicaciones del mundo real. Pueden existir varias alternativas en el análisis multicriterio, generalmente el número de alternativas es finito pero pueden ser infinitas posibilidades de elección. Los criterios de evaluación pueden ser de tipo cuantitativos o cualitativos y en todos los casos expresaran una dirección de maximización o minimización de la opción evaluada.

El método del NAIADE proporciona la siguiente información:

- ✓ clasificación de las alternativas según un conjunto de criterios de evaluación previamente definidos (solución técnica de compromiso).
- ✓ proporciona indicios sobre la distancia de las posiciones de los diferentes grupos de interés (posibilidades de la convergencia de intereses o formaciones de coalición).
- ✓ clasificación de las alternativas según los impactos o preferencias de actores (solución de compromiso social).

El proceso de evaluación de este método se estructura en cuatro pasos principales:

1. Construcción de la matriz de impactos (criterios vs alternativas). Para construir la matriz de impactos es necesario contar con valores asociados a cada criterio respecto a cada alternativa. Estos valores pueden ser números puros o definiciones cuantitativas afectadas por diferentes niveles de incertidumbre, ya sea escogiendo una función de densidad probabilística en el caso en que la incertidumbre pueda ser del tipo estocástico, o escogiendo la forma de la función de pertenencia en el caso de que la incertidumbre deba ser tratada con conceptos de la matemática difusa.

2. Comparaciones pareadas de las alternativas utilizando relaciones de preferencia.

La comparación de los valores de cada par de alternativas con respecto a los criterios es realizada mediante el concepto de distancia semántica. La comparación se basa en relaciones de preferencia definidas mediante 6 funciones que permiten expresar un índice de credibilidad de las frases descriptivas de las relaciones de preferencia entre dos alternativas. Estas frases son: *es mucho mejor* (\gg), *mejor* (\gt), *aproximadamente igual* (\cong), *igual* ($=$), *peor* (\lt) y *mucho peor* (\ll). El índice de credibilidad está comprendido entre 0 y 1 e incrementa monótonicamente dentro de este rango.

Para el cálculo de estos índices es necesario fijar los llamados “punto de cruce” para cada criterio y cada relación de preferencia (C), los cuales se interpretan como el valor de distancia a partir del cual la relación de preferencia en cuestión comienza a ser creíble, desde el punto de vista matemático se expresa como el valor de distancia donde el índice de credibilidad se hace igual a 0,5. Los mismos deben cumplir la siguiente condición:

$$C_{=} < C_{\cong} < C_{\gt} < C_{\gg}$$

3. Agregación de todos los criterios. Se realiza a través de un proceso de agregación de los índices de credibilidad, para aquellos criterios donde ellos son mayor que un valor predeterminado α , se calcula un índice de intensidad de preferencia de una alternativa con respecto a otra, $\mu^*(a,b)$.

$$\mu^*(a,b) = \frac{\sum_{m=1}^M \max(\mu_*(a,b)_m - \alpha, 0)}{\sum_{m=1}^M |\mu_*(a,b)_m - \alpha|}$$

donde, $\mu^*(a,b)$ cumple las siguientes características:

- ✓ $0 \leq \mu^*(a,b) \leq 1$
- ✓ $\mu^*(a,b) = 0$, si ninguno de los $\mu_*(a,b)$ es mayor que α , α se usa para expresar el requerimiento mínimo en los índices de credibilidad.
- ✓ $\mu^*(a,b) = 1$, si $\mu_*(a,b) \geq \alpha$, para todo m y $\mu^*(a,b) > \alpha$, para al menos un criterio.

Generalmente se asumen las relaciones de preferencia y solo se considera el caso de

$$\alpha \cong 0,5$$

Se calcula además un índice que expresa la variabilidad de los índices de credibilidad que están por encima del valor α y alrededor de los valores de cruce, denominado entropía ($H^*(a,b)$).

La información dada por el índice de intensidad de preferencia, $\mu^*(a,b)$ y la correspondiente entropía, $H^*(a,b)$, posibilita la construcción de un operador de verdad τ , el cual permite asignar a cada par de alternativa una evaluación lingüística global, que indica el grado de verdad de afirmaciones como (según la mayoría de los criterios),

“*a* es mejor que *b*” o

“*a* y *b* son indiferentes” o

“*a* es peor que *b*”.

4. Ordenamiento de las alternativas. Para lograr este ordenamiento final se definen dos ordenamientos independientes. El primero $\Phi+$, basado en las relaciones de preferencias \gg y $>$, cuyos valores van de 0 a 1, donde el 1 indica que *a* es mejor que el resto de las alternativas. El segundo $\Phi-$, se basa en las relaciones de preferencias \ll y $<$, sus valores también van de 0 a 1 los cuales indican cuanto *a* es peor que el resto de las alternativas.

Finalmente se obtiene el ordenamiento por la intersección de los ordenamientos antes definidos.

La diferencia de posiciones de las alternativas entre $\Phi+$ y $\Phi-$ significa que algunas alternativas son “mejor y mucho mejor” que el resto, pero a su vez, otras son “menos peor” que las anteriores. Esto conlleva a que, en muchos casos, las alternativas no puedan ubicarse linealmente en el ranking una debajo de otra.

Características del estudio TNA

La evaluación técnica del impacto de las actuaciones en el sector Energía se realizó mediante la construcción de una matriz multicriterio en la que se representan las distintas alternativas y los valores de los distintos criterios para cada de ellas. A lo largo de todo el estudio se maximizó el peso de la dimensión económica sobre la social y la ambiental, definiendo en todos los casos un mayor número de criterios para ésta. Es importante destacar que en función de la priorización de una dimensión u otra, la ordenación final de alternativas puede ser una u otra.

Se propusieron y evaluaron un total de 17 tecnologías o alternativas consideradas posibles de materializarse a corto y mediano plazos para el sector, las que fueron identificadas en los distintos talleres nacionales y sectoriales realizados y las consultas con grupos de expertos. Ver cuadro 1. De estas, 8 tecnologías corresponden al subsector generación de electricidad, 6 al subsector transporte y 3 al subsector agricultura.

Cuadro 1. Alternativas definidas para el análisis multicriterio.

| |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Cambio a gas natural de termoeléctricas existentes</i>✓ <i>Incorporación de ciclos combinados con gas natural</i>✓ <i>Utilización de turbinas de extracción-condensación con bagazo</i>✓ <i>Ciclos combinados con gasificación integrada utilizando biomasa forestal</i>✓ <i>Hidroeléctricas</i>✓ <i>Parques eólicos</i>✓ <i>Solar fotovoltaica conectada a la red</i>✓ <i>Reactor nuclear</i>✓ <i>Gasificación de residuos de aserraderos para la producción de electricidad.</i>✓ <i>Tratamiento anaeróbico de los residuales porcinos para la producción de electricidad.</i>✓ <i>Gasificación de la cascara de arroz para la producción de calor y electricidad.</i>✓ <i>Reordenamiento del transporte</i>✓ <i>Remotorización</i>✓ <i>Utilización de mezcla de alcohol con gasolina como combustible</i>✓ <i>Paso de transportación de carga a ferrocarril</i>✓ <i>Paso del tráfico de pasajeros de ómnibus a ferrocarril</i>✓ <i>Sustitución del diesel por biodiesel en el transporte automotor de carga y pasajeros</i> |
|---|

Del total de los 18 criterios empleados no todos fueron evaluados en los diferentes subsectores. Estos fueron agrupados en 3 categorías: criterios económicos, criterios ambientales y criterios socioculturales, según aparecen en el cuadro 2.

Cuadro 2. Criterios de evaluación para el análisis multicriterio.

| |
|---|
| <p><i>Económicos</i></p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Madurez de la tecnología</i>✓ <i>Costo de inversión</i>✓ <i>Costo de la tonelada de CO₂ evitada</i>✓ <i>Costo evitado al SEN/económico</i>✓ <i>Requerimientos espaciales</i>✓ <i>Plazo de implementación</i>✓ <i>Suficiencia nacional (seguridad energética)</i>✓ <i>Capacidad de instrumentación</i>✓ <i>Impacto sobre otro sector</i>✓ <i>Barreras tecnológicas</i>✓ <i>Vulnerabilidad</i>✓ <i>Persistencia a largo plazo</i> <p><i>Ambientales</i></p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Cantidad de toneladas de CO₂ evitadas</i>✓ <i>Impacto ambiental negativo/ambiental</i>✓ <i>Impacto ambiental positivo/ambiental</i> <p><i>Sociocultural</i></p> <ul style="list-style-type: none">✓ <i>Barreras culturales</i>✓ <i>Aumento de bienestar</i>✓ <i>Población con acceso a la tecnología</i> |
|---|

Los criterios que son de tipo cuantitativo, pueden asumir valores en todo el campo de los números reales. Para los criterios cualitativos se asume un escalamiento

cuantitativo con valores que van desde Excelente, Muy Bueno, Bueno, Más o Menos Bueno, Moderado, Más o Menos Malo, Muy Malo hasta Malísimo.

Para la construcción de la matriz de impactos y la valoración de las opciones se consideraron las posibilidades técnicas de las diferentes tecnologías y las prioridades para su implementación así como, valoraciones de expertos con relación a las bondades, beneficios y dificultades de éstas.

Como resultado de la evaluación para el subsector generación de electricidad, el orden de priorización que se obtuvo fue: Ciclos combinados con gas natural (CC), primer lugar, Cambio a gas natural de centrales termoeléctricas existentes (CTE con gas) e Hidroeléctricas, segundo lugar, Utilización de turbinas de extracción-condensación con bagazo (TV bagazo), tercer lugar, Ciclos combinados con gasificación integrada utilizando biomasa forestal (BIGCC), cuarto lugar, Parques eólicos, quinto lugar y Reactor nuclear (CEN) y Solar fotovoltaica conectada a la red (Fotovoltaica), sexto lugar.

En el caso del subsector transporte el orden de priorización obtenido fue: Incremento del uso del ferrocarril en la transportación de carga, primer lugar, Remotorización, segundo lugar, Reordenamiento del transporte, tercer lugar, Uso de mezcla de alcohol con gasolina y Paso de transportación de pasajeros a ferrocarril, cuarto lugar y Utilización de biodiesel, quinto lugar.

Para el subsector agricultura el orden de priorización que se alcanzó fue: Gasificación de la cascara de arroz para la producción de calor y electricidad, primer lugar, Gasificación de residuos de aserraderos para la producción de electricidad, segundo lugar y Tratamiento anaeróbico de los residuales porcinos para la producción de electricidad, tercer lugar.

Posteriormente se procedió a la valoración del sector Energía en su conjunto obteniéndose el ordenamiento final que se relaciona a continuación:

Primera prioridad: Tratamiento anaeróbico de residuos porcinos,

Segunda prioridad: Gasificación cáscara de arroz,

Tercera prioridad: Gasificación residuos aserraderos,

Cuarta prioridad: Ciclo combinado y Cambio a gas de CTE al mismo nivel,

Quinta prioridad: Turbina de vapor con bagazo e hidroeléctrica al mismo nivel,

Sexta prioridad: Paso de transportación de carga de camión a ferrocarril y Central nuclear al mismo nivel,

Séptima prioridad: BIGCC y Solar fotovoltaica conectada a la red,

Octava prioridad: Remotorización,

Novena prioridad: Uso de mezcla de alcohol con gasolina y Paso de transportación de pasajeros de ómnibus a ferrocarril al mismo nivel,

Décima prioridad: Reordenamiento y parque eólico al mismo nivel,

Oncena prioridad: Uso de biodiesel en la transportación de carga y pasajeros.

Finalmente el resultado del proceso de evaluación multicriterio no ha servido para concluir cuál es la mejor alternativa, no existe una mejor alternativa que maximice todas las dimensiones sino una ordenación de las alternativas que nos ayuda a establecer una solución de compromiso entre los criterios atribuidos a la dimensión económica, social y ambiental, en este caso para la mitigación de GEI en el sector de Energía. Cada una de las alternativas priorizadas conlleva implicaciones de tipo económico, político e institucional y el respaldo técnico que las hace sólidas frente a otras posibles soluciones.

ANEXO 2. PRINCIPALES LINEAMIENTOS RELACIONADOS CON LA POLÍTICA ENERGÉTICA

222. Elevar la producción nacional de crudo y **gas acompañante**, desarrollando los yacimientos conocidos y acelerando los estudios geológicos encaminados a poder contar con nuevos yacimientos, incluidos los trabajos de exploración en la Zona Económica Exclusiva (ZEE) del Golfo de México.

223. Elevar la capacidad de refinación de crudo, alcanzando volúmenes que permitan reducir la importación de productos derivados.

224. Elevar significativamente la eficiencia en la generación eléctrica, dedicando la atención y recursos necesarios al mantenimiento de las plantas en operación, y lograr altos índices de disponibilidad en las plantas térmicas y en las instalaciones de generación con grupos electrógenos.

225. Concluir el programa de instalación de los grupos electrógenos de fuel oil y **prestar prioritaria atención a la instalación de los ciclos combinados** de Jaruco, Calicito y Santa Cruz del Norte.

226. Mantener una política activa en el acomodo de la carga eléctrica, que evite o disminuya la demanda máxima y reduzca su impacto sobre las capacidades de generación.

227. Proseguir el programa de rehabilitación de redes eléctricas y de eliminación de zonas de bajo voltaje, logrando los ahorros planificados por disminución de las pérdidas en la distribución y transmisión de energía eléctrica.

228. Fomentar la cogeneración y trigeneración en todas las actividades con posibilidades.

En particular, **se elevará la generación de electricidad por la agroindustria** azucarera a partir del aprovechamiento del bagazo y **residuos** agrícolas cañeros y **forestales**, creándose condiciones para cogenerar en etapa inactiva, tanto en refinación como en destilación.

229. Potenciar el aprovechamiento de las distintas fuentes renovables de energía: se utilizará el biogás, la energía eólica, hidráulica y otras; priorizando aquellas que tengan el mayor efecto económico a corto plazo.

230. Se priorizará alcanzar el potencial de ahorro identificado en el sector estatal y se trabajará hasta lograr la captación de las reservas de eficiencia del sector residencial; incluye la revisión de las tarifas vigentes para que cumpla su papel de regulador de la demanda. En las nuevas modalidades productivas –sea por cuenta propia o en cooperativa– se aplicará una tarifa eléctrica sin subsidios.

231. Prestar especial atención a la **eficiencia energética en el sector del transporte**.

232. Concebir las nuevas inversiones con soluciones para el uso eficiente de la energía, instrumentando adecuadamente los procedimientos de supervisión.

233. Perfeccionar el trabajo de planificación y control del uso de los portadores energéticos, ampliando el espectro y la calidad de los indicadores de eficiencia e índices de consumo establecidos.

234. Proyectar el sistema educativo y los medios de difusión masiva en función de profundizar en la calidad e integralidad de la política enfocada al ahorro y al uso eficiente y sustentable de la energía.

ANEXO 3. LISTADO DE LAS PARTES INVOLUCRADAS.

| Institución | Personas de contacto |
|---|--|
| Agencia de Medio Ambiente | Venus Delgado |
| “ | Sonia Orué |
| Centro de Investigación y Desarrollo del Transporte (CETRA) | Marta Amarales |
| “ | Rafael Biart |
| “ | José M. Villarroel, J'Dpto |
| Centro de Gestión de Información y Desarrollo de la Energía (CUBAENERGÍA) | Wenceslao Carrera |
| “ | Iván Relova |
| “ | David Pérez |
| “ | Alfredo Curbelo |
| “ | Ileana López |
| “ | Belkis Soler |
| “ | Yoel Suarez |
| “ | Oscar Jiménez |
| “ | Enrique Landa |
| “ | Ariel Rodríguez |
| “ | Alina Martínez |
| “ | Lisandra Núñez |
| “ | Manuel Álvarez, Dtor |
| Centro de Medio Ambiente (CEMA) | José Somoza |
| “ | Yusimí Betancourt |
| Grupo Empresarial de Agricultura de Montaña (GEAM) | Celso Carpio |
| “ | Nicolás Sánchez |
| “ | Hernaldo Pérez |
| Grupo Porcino (GRUPOR) | Roberto Sosa |
| “ | Yasser Díaz |
| “ | Agustín González Marañón |
| Grupo Empresarial de Grano | Eugenio Racet |
| Empresa de Ingeniería para la Electricidad (INEL) | Leandro Matos, Dtor UBE Desarrollo perspectivo |
| “ | María de los A. Padrón |
| “ | Guillermo Leiva |
| Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC) | Daniel Rodríguez |
| “ | Zarabi González |

| | |
|---|------------------------------------|
| “ | Bárbara Garea, Rectora |
| Instituto de Ingeniería e Investigaciones Agrícolas (IIAagri) | Greco Cid |
| Ministerio de la Agricultura (MINAG) | Juan Garzón |
| “ | Raúl Damas |
| Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) | Yamila Navarro |
| Ministerio del Transporte (MITRANS) | Raymer Díaz, Dtor Automotor |
| Oficina Nacional de Estadísticas e Información (ONEI) | Mercedes González, Dtor Industrias |
| “ | Tomás González |
| Unión de Ferrocarriles de Cuba (UFC) | Fátima Palacios |
| “ | Ramón Oquendo, Dtor |
| “ | Laura Crespo |
| Unión de Camiones (UDECAM) | Juan J. Recio |
| “ | Juan Díaz |
| Unión Eléctrica (UNE) | Jorge L. Isaac |
| “ | Ramsés Montes |
| “ | Oscar Hernández |

COMITÉ NACIONAL TNA

- MSc. América Santos, Vice Ministra del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente; CITMA
- Lic. Orlando Rey Santos, Director Nacional de Medio Ambiente, CITMA
- Dr. Vito Quebedo, Director Nacional de la Ciencia Tecnología e Innovación, CITMA
- Lic. Enrique Moret Hernandez, Director Nacional Cooperación Internacional, CITMA
- Dra. Gisela Alonso, Presidenta de la Agencia de Medio Ambiente, CITMA
- MSc. José Fidel Santana Núñez, Presidente de la Agencia de Energía Nuclear y Tecnologías de Avanzada. CITMA
- Pedro L. Pedroso Cuesta, Director Dirección de Asuntos Multilaterales, MIREX
- Katia Alonso, Directora de Inversiones, MINCEX
- Dra. Elaine Valton, Especialista principal de la Ciencia Tecnología e Innovación, CITMA
- Dr. Vladimir Guevara, Coordinador nacional del proyecto de la segunda comunicación para el cambio climático, INSMET, CITMA
- Dr. Luis Paz Castro, Coordinador de estudios de la segunda comunicación, INSMET, CITMA
- Dr. Iván Relova Delgado, Coordinador TNA-CUBAENERGIA, CITMA
- Dr. Wenceslao Carrera Doral, Experto principal TNA-CUBAENERGIA, CITMA
- Dr. David Pérez Martín, Experto principal del grupo de Mitigación-CUBAENERGIA, CITMA
- Dra. Barbara I. Garea, Experto principal del grupo de Adaptación- InSTEC, MES
- MSc. Sonia Orúe, Experto principal del grupo de Adaptación- AMA, CITMA

COMITÉ TÉCNICO TNA MITIGACIÓN

- Dr. David Pérez, Consultor Mitigación, CUBAENERGIA
- Dr. Alfredo Curbelo, Consultor subsector agricultura, CUBAENERGIA
- Dr. Wenceslao Carrera Doral, Especialista de la OTMDL-CUBAENERGIA, CITMA
- MSc. Marta Amarales, Consultor subsector transporte, CETRA
- MSc. Ileana López, experta subsector generación de electricidad, CUBAENERGIA
- MSc. Belkis Soler, experta subsector generación de electricidad, CUBAENERGIA
- Dr. Oscar Jimenez, experto subsector agricultura, CUBAENERGIA
- Lic. Yoel Suarez, experto subsector agricultura, CUBAENERGIA
- Dr. Jose M. Villarroel, experto subsector transporte, CETRA
- Lic. Rafael Biart, experto subsector transporte, CETRA
- Dr. José Somosa, Centro de Estudios de Medio Ambiente, Universidad de la Habana, MES
- Msc. Yusimí Betancourt, Centro de Estudios de Medio Ambiente, Universidad de la Habana, MES
- Dr. Celso Carpio, Grupo Empresarial de Montaña, MINAG
- Dr. Roberto Sosa, Grupo Porcino, MINAG
- Eugenio Racet, Grupo Empresarial de Granos, MINAG
- Leandro Matos, Empresa de Ingeniería de Electricidad, MINEM
- Guillermo Leiva, Empresa de Ingeniería de Electricidad, MINEM
- MSc. Yamila Navarro, Dirección de Tecnología e Inversiones, MINEM
- MSc. Raúl Damas, Dirección energética, MINAG
- Raymer Díaz, Dirección de automotor, MITRANS.