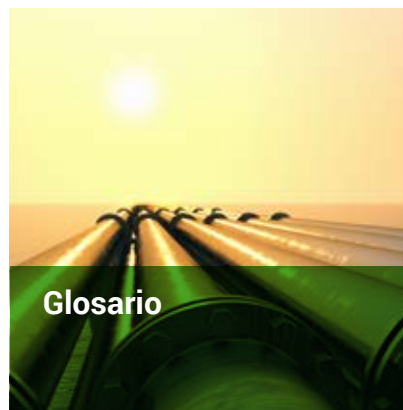


Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

Tipo de Proyecto

Sustitución de combustibles





Glosario

Autoclave: recipiente metálico de paredes gruesas con un cierre hermético, que permite trabajar a alta presión para realizar una reacción industrial, una cocción o una esterilización con vapor de agua.

Biogás: gas producido en los procesos de descomposición de materia orgánica.

Biodiésel: combustible que se obtiene a partir de grasas naturales como aceites vegetales o animales y puede ser sustituto total o parcial del diésel.

Biomasa: energía procedente del aprovechamiento de la materia orgánica generada en algún proceso biológico; el aprovechamiento de la energía de la biomasa se puede hacer por ejemplo por combustión.

BTU: Unidad Térmica Británica. Unidad para medir el calor, un BTU es la energía requerida para elevar la temperatura de una libra de agua un grado Fahrenheit.

Combustibles alternativos: combustibles utilizados para sustituir a los combustibles fósiles o derivados del petróleo, en la mayoría de los casos su uso presenta beneficios ambientales.

Dióxido de carbono (CO₂): es el principal gas de efecto invernadero emitido principalmente a través del uso del transporte, la industria, la producción de energía eléctrica, la agricultura y la deforestación.

Eficiencia energética: es la forma de gestionar y limitar el crecimiento del consumo de energía. Un proceso más eficiente puede producir más bienes o servicios con la misma o menor cantidad de energía. Por ejemplo, una bombilla fluorescente compacta (CFL) utiliza menos energía que una bombilla incandescente para producir la misma cantidad de luz.

Energy International Agency (EIA): Agencia Internacional de Energía.



Glosario

Factor de emisión: promedio de un gran número de mediciones de emisiones de contaminantes atmosféricos que son representativas de un tipo de fuente de emisión, por ejemplo, el factor de emisión del Sistema Interconectado Eléctrico de Colombia es 0,37 kg de CO₂/kWh (EIA, 2012); esto quiere decir que por cada 100 kWh consumidos se emiten 37 kg de CO₂.

Gases de efecto invernadero (GEI): los gases de efecto invernadero son la principal causa del calentamiento global. La mayoría de estas sustancias como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), los óxidos nitrosos (NO_x), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

kWh: El kilovatio-hora, equivalente a mil vatios-hora, el vatio-hora es una unidad utilizada para medir la energía consumida o utilizada en determinado tiempo. Para el caso de esta guía, se hace la diferenciación entre kWh_e y kWh_t para expresar la energía eléctrica y térmica consumida respectivamente.

Período de retorno simple: es la cantidad de tiempo que demora una inversión en pagarse basado en el flujo de caja del proyecto. Por ejemplo, el período de retorno simple de una inversión de 300 USD con ahorros anuales de 100 USD tiene un período de retorno simple de 3 años.

PCI: Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de masa de combustible, sin tener en cuenta la parte correspondiente al calor del vapor de agua generado en la combustión. Este valor es utilizado para hacer cálculos en proyectos de sustitución de combustibles.

Poder calorífico: cantidad de energía por unidad de masa o volumen de combustible que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación. Se diferencia en poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI), el primero considera que el agua que se forma en la combustión sale líquida y en el segundo, se considera que sale como vapor. Teniendo en cuenta que la condición real de la mayoría de equipos de combustión es la segunda, en esta guía se considerará el PCI.

Valor Exante: valor medido antes del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética.

Valor Expost: valor medido después del cambio tecnológico en proyectos de eficiencia energética.

Tabla de conversiones

En la tabla 1 se presentan las unidades utilizadas en este manual que sirven como referencia para las diferentes conversiones de unidades que se encuentran a lo largo del documento.

Tabla 1. Tabla de conversión de unidades.

Potencia	kilowatt (kW)	HP	BTU/h
kilowatt (kW)	1	1.341	3.412,14
HP	0,754	1	2.544.43
BTU/h	0,00293	0,0003928	1

Energía	Kilowatt-hora (kWh)	Jules	GigaJules	PetaJules	BTU
kilowatt-hora (kWh)	1	3.600.000	0,0036	3,6e-9	3.412,14
Jules	0,000000278	1	1e-9	1e-15	0,0009478
GigaJules	277,7	1e+9	1	1e-6	947.817
PetaJules	2,77e+8	1e+15	1e+6	1	9,47e+11



1. Presentación

CAF -banco de desarrollo de América Latina- tiene como misión impulsar el desarrollo sostenible y la integración regional, mediante el financiamiento de proyectos de los sectores público y privado, la provisión de cooperación técnica y otros servicios especializados. Constituido en 1970 y conformado en la actualidad por 19 países 17 de América Latina y el Caribe, junto a España y Portugal y 13 bancos privados, es una de las principales fuentes de financiamiento multilateral y un importante generador de conocimiento para la región.

CAF adelanta el desarrollo del Programa de Eficiencia energética desde la demanda (EE) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF), cuyo objetivo es fomentar una mayor inversión de empresas Latinoamericanas en NV y EE. Para lograrlo contarán con financiamiento de CAF a través de las líneas de crédito que mantiene con IF's, asistencia técnica y fortalecimiento de mercados en NV y de EE.

En este contexto, esta guía, dirigida a las Instituciones Financieras, tiene

como objetivo fortalecer los programas ambientales y sociales de las IF's y mejorar sus capacidades, las de sus clientes y las de sus recursos de outsourcing; para identificar, evaluar y financiar proyectos de EE; asimismo, gestionar los riesgos ambientales y sociales asociados con la financiación este tipo de proyectos.

Incluye aspectos técnicos y de inversión, criterios de elegibilidad de proyectos para ser financiados por las IF's, y los mecanismos de monitoreo, reporte y verificación de los beneficios ambientales generados por las inversiones realizadas.

Esta guía es parte de un conjunto de documentos que comprende los sectores y tecnologías con mayor potencial de fomentar las inversiones en eficiencia energética. En la tabla 2 se presenta el conjunto de documentos elaborados para el Programa de Eficiencia Energética desde la Demanda (EE-D) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF's) de acuerdo con el tipo de proyecto y el sector.

Tabla 2. Manuales por sector y guías por tipo de proyecto

Manuales Por Sector											
Guías Por Tipo De Proyecto	Alimentos y bebidas	Textiles	Cemento	Pulpa y papel	Siderurgia y metal mecánica	Agroindustria	Hoteles y hospitales	Alumbrado público	Grandes superficies	Transporte	
	Motores de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓	✓					
	Cogeneración de energía	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓		
	Sustitución de combustibles	✓	✓	✓	✓		✓			✓	
	Iluminación de alta eficiencia	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		
	Calderas y sistemas de vapor	✓	✓		✓		✓				
	Aire acondicionado						✓		✓		
	Refrigeración	✓							✓		
	Calentamiento de agua con energía solar						✓				
	Hornos			✓		✓					
	Aire comprimido	✓	✓	✓	✓	✓					
	Energía solar fotovoltaica						✓	✓	✓		
Automatización de procesos						✓	✓	✓			

Así por ejemplo, se elaboró la guía de proyectos de sustitución de combustibles, que es aplicable a los sectores de alimentos y bebidas, textiles, cemento, pulpa y papel, transporte, entre otros.



2. Aplicabilidad

Esta guía presenta los aspectos técnicos, financieros y ambientales relacionados con el desarrollo de proyectos de inversión en proyectos de sustitución de combustibles y los beneficios de su implementación con las tecnologías de eficiencia energética que se encuentran disponibles en el mercado.

Se especifican las características principales de las tecnologías que se usan hoy para reducir el consumo energético y/o las emisiones de GEI en los proyectos de sustitución de combustibles, indicando su aplicabilidad de acuerdo con el tipo de instalación. Así mismo, se establecen precios de inversión de referencia para determinar la rentabilidad aproximada de los proyectos, dependiendo del precio de energía en el país donde se desarrolla el proyecto.

Sectores con mayor potencial para desarrollar proyectos de eficiencia energética en sustitución de combustibles:



Alimentos y
bebidas



Agroindustria



Cemento



Hoteles



Hospitales



Textiles



Transporte



Pulpa y papel

¹ Fuente: *Combined Heat and Power, Evaluating the benefits of greater global investment – International Energy Agency, IEA. 2008.*



3. Introducción

El mundo depende en un 97% de los combustibles para la generación eléctrica, el calentamiento y transporte. Los combustibles fósiles incluyendo carbón, crudo y gas fósil suministran el 82% de la energía primaria en el 2011. El carbón contribuye el 40% de las emisiones de CO₂ y alrededor del 70% de las emisiones de las plantas de generación de energía eléctrica. Mientras que el carbón es el principal combustible para la generación de electricidad y calor, los combustibles líquidos son los más utilizados para el transporte contribuyendo con el 93% de la energía utilizada.

En la figura 1 se muestra el consumo de combustible histórico y proyectado por la Agencia Internacional de energía (EIA – Energy International Agency) hasta el año 2040, la cual espera que el crecimiento del consumo de carbón disminuya y sea reemplazado por otro tipo de combustibles como gas natural y fuentes de energía renovable. Mientras que el consumo de combustibles líquidos seguirá en aumento continuando como la principal fuente de energía para el transporte, seguido de la industria, como se puede observar en la figura 2.

Figura 1. Consumo de combustible histórico y proyectado (International Energy Outlook 2016).

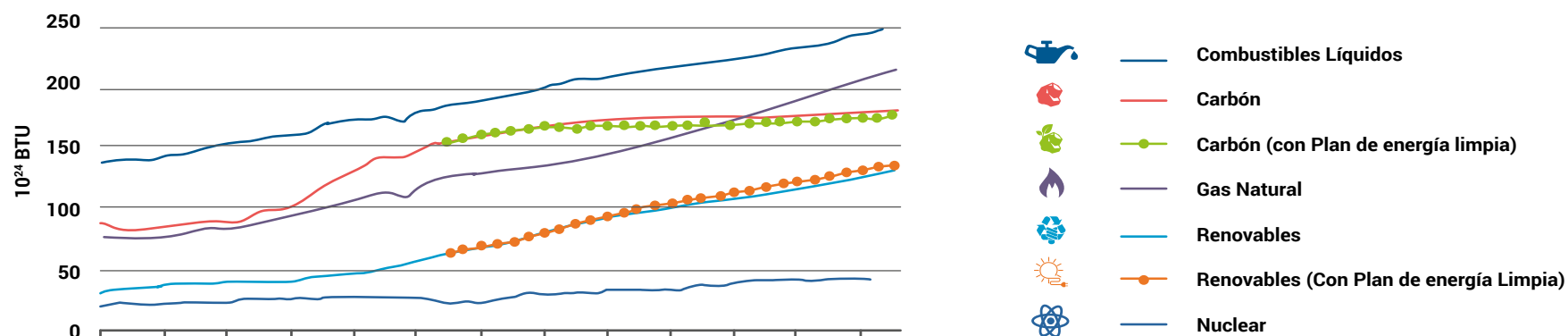
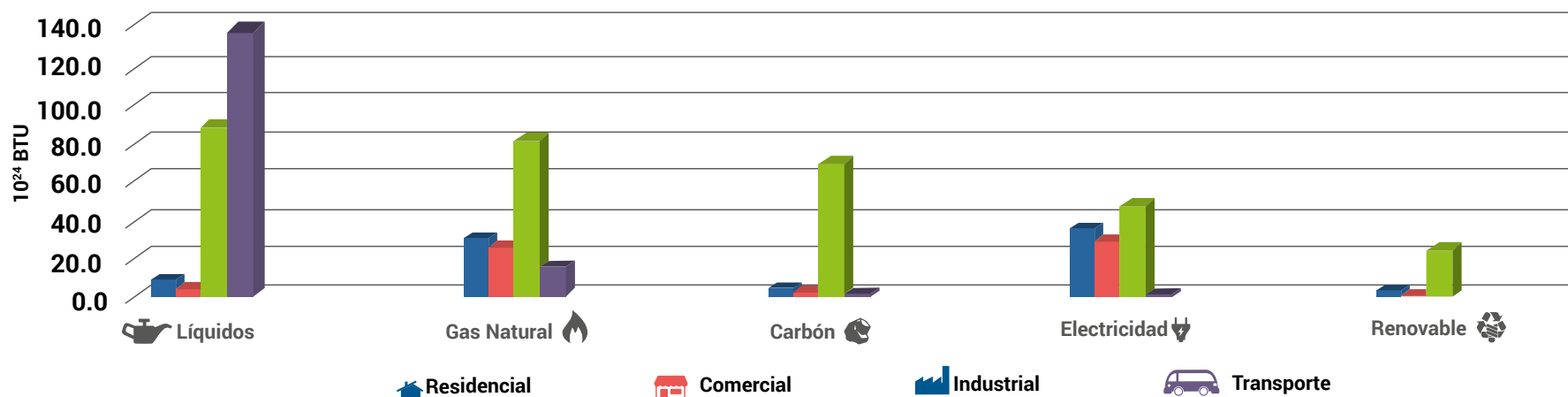




Figura 2. Consumo de combustible proyectado por usuario final en el año 2040 (International Energy Outlook 2016).



Para los usuarios residenciales y comerciales, la mayor fuente de energía es la electricidad siendo utilizada para iluminación, aire acondicionado y calentamiento de agua. Para el calentamiento de agua, la electricidad usualmente es reemplazada por gas natural, el cual tiene un menor costo y mayor eficiencia.

Como se puede observar, la tendencia mundial es a la sustitución de combustibles contaminantes como el carbón por alternativas más limpias como gas natural. Para el caso de combustibles de origen fósil se tiene como alternativa la sustitución por biomasa, biogás y otras alternativas renovables, siendo la industria y el transporte los mayores beneficiarios de esta sustitución.



4. Descripción de la tecnología

La sustitución de una fuente de energía tiene por objetivo emplear una fuente de energía más económica y/o de naturaleza ambiental menos contaminante. Combinado el desarrollo de tecnologías de mayor eficiencia, la sustitución de combustibles es una manera de reducir el consumo de energía y los costos para los usuarios finales, al tiempo que reduce las emisiones de GEI.

Para esta guía se analizarán los siguientes casos:

- Sustitución de carbón por gas natural o GLP (Gas licuado de petróleo) en el sector industrial.
- Sustitución de combustibles líquidos por gas natural en el sector transporte.
- Sustitución de combustibles como carbón y gas natural por biomásas residuales.
- Sustitución de gas natural por biogás.

4.1. Sustitución de carbón por gas natural o GLP en el sector industrial.

Básicamente el carbón es utilizado en la industria para la producción de calor, ya sea en un horno o en una caldera para la generación de vapor o agua caliente.

El gas natural es el combustible óptimo para utilizar en industrias que emplean hornos y calderas en los procesos productivos, pues por sus características caloríficas, reemplaza satisfactoriamente a los demás combustibles. Por ejemplo, en la industria del vidrio, en la cual se requieren llamas que permitan la transmisión de energía calórica a la masa de cristal, el gas natural cumple con este requisito; además de, producir un producto mucho más limpio en relación con otros combustibles.

Respecto al sector de alimentos, el gas natural permite llevar eficientemente procesos de cocimiento y secado, posibilitando además el cumplimiento de normas de buenas prácticas para la manufactura (BMP) e incluso normas ISO para la exportación.

En los procesos de fundición de metales, el gas natural tiene características que le permiten ser utilizado en diferentes procesos de calentamiento de metales, no solo en la fusión, sino también en el recalentamiento, sin la necesi-

dad de una preparación previa para su utilización (como calentarlo o pulverizarlo en el caso del carbón), lo cual lo hace más eficiente, limpio y económico en aplicaciones como calderas de vapor, secadores, hornos y calentadores.

Otra ventaja es que al no requerir de tanques de almacenamiento, disminuye los riesgos inherentes al almacenaje. Además, una vez cesa la demanda de calor en los procesos, la combustión de gas puede finalizar instantáneamente, lo que favorece los procesos que requieren cargas variables o intermitentes. Todas estas ventajas permitirán a las empresas que hagan la conversión a gas natural, reducir sus costos operativos y de esta manera ser más competitivos. Las anteriores ventajas aplican para la sustitución por gas licuado de petróleo (GLP), con la diferencia de que es un gas un poco más contaminante que el gas natural como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. Combustibles usualmente utilizados en la industria para generación de calor.

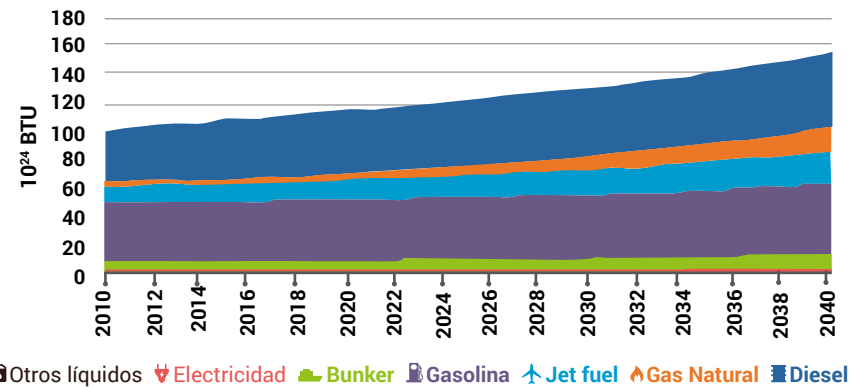
Combustible	Estado	Factor de Emisión (Ton CO ₂ /MBTU) ¹	Poder calorífico	Costo (USD / MBTU)
Carbón.	Sólido	28,3	24.000 BTU/kg.	2,1
Crudo de petróleo.	Líquido	21,1	150.000 BTU/gal.	4,7
Diésel.		23,4	135.000 BTU/gal.	11,6
Gas propano – GLP.	Gas	18,1	92.000 BTU/gal.	12,3
Gas Natural.		16,1	35.280 BTU/m ³ .	4,9
Energía eléctrica.	-	Depende de la matriz energética del país		17,6

⁴Fuente: IPCC (1996)

4.2. Sustitución de combustibles líquidos por gas natural en el sector transporte.

A nivel mundial los combustibles líquidos son los más utilizados en el sector de transporte, siendo el diésel y la gasolina los más empleados como se puede observar en la figura 3.

Figura 3. Consumo de combustible en el sector de transporte, histórico y proyectado (International Energy Outlook 2016).



La crisis energética y la contaminación ambiental han sido los impulsores de la búsqueda de alternativas de combustibles más limpios y eficientes. Dentro de las alternativas de combustibles se encuentran: Gas Licuado de Petróleo (GLP), biodiésel, hidrogeno, celdas de combustión, electricidad y el gas natural comprimido (GNC); siendo este último el preferido para la sustitución debido a su combustión limpia, disponibilidad, compatibilidad con motores de combustión y bajo costo de operación.

La Agencia Internacional de Energía espera que el uso de gas natural crezca del 3% de participación en el año 2012 hasta el 11% en el año 2040, sustituyendo los dos principales combustibles utilizados actualmente. La energía eléctrica seguirá siendo la menor fuente de energía en este sector, aunque se espera un incremento de su uso en el transporte férreo.

En la tabla 4 se observan los costos de combustibles utilizados en el sector de transporte vehicular y los ahorros que se obtendrían si se decidiera el uso del GNC en lugar de gasolina o diésel.



Figura 4. Valores comparativos de combustibles para el sector transporte.

Combustible	USD/gal	USD/kBTU	Ahorro energético con respecto al GNC
Gasolina	3,34	28,95	37,5%
Diésel	3,89	30,26	40,21%
Gas Natural Comprimido	2,09	18,09	-

Existen tres tipos de motores para el uso del gas natural comprimido:

- **Motor dedicado GNC:** El motor opera solo con GNC. La relación de compresión es optimizada para aprovechar el alto octanaje del gas natural y son diseñados para mantener las propiedades de combustión del gas natural y sus bajas emisiones de GEI, Gases que agotan la capa de ozono y Material Particulado.
- **Motor bicomcombustible:** El motor puede operar utilizando ya sea gas natural o gasolina solo seleccionando la opción en el tablero. Cualquier vehículo existente que opera con gasolina puede ser convertido a bicomcombustible.
- **Motor dual:** estos motores solo pueden operar con diésel o una mezcla de diésel y gas natural. Durante el tiempo de reposo, el motor solo trabaja con diésel para mantener el encendido a medida que el motor va tomando carga, el diésel es reemplazado por gas natural entre un 60–90%. La conversión a estos motores no es posible, por lo que el motor debe ser diseñado desde fábrica para esta operación. Este tipo de motores proporcionan una eficiencia entre el 30-40% más alta que un motor convencional de diésel o gasolina, obteniendo un ahorro en los costos de operación por menor consumo de combustible, pagando el mayor costo de inversión.



4.3. Sustitución de carbón y gas natural por biomasa residuales: bagazo de caña, cascarilla de arroz.

La biomasa puede ser originada a partir de varias fuentes como residuos de la agricultura (paja, cáscaras, desechos de animales), desechos de procesos industriales (papel, pulpa, lodos, residuos de madera), residuos municipales o cultivos energéticos.

El uso de biomasa residual industrial y municipal para fines de generación de calor y energía tiene una larga historia. Sin embargo, aunque esta práctica es ampliamente aceptada en algunas partes, no es tan bienvenida en otras. Los residuos están fuertemente correlacionados con materiales de desecho, y en la mente de algunos, la quema de estos materiales en cualquier circunstancia crea graves consecuencias sociales y ambientales. Europa y Asia aceptan mucho más la quema de materiales residuales con fines de producción de calor y electricidad. En América del Norte, la aceptación es marginal y, en muchos lugares, no es una opción bien recibida para el manejo de los materiales residuales o la producción de calor y energía.

La mejor manera de aprovechar la biomasa residual es en el mismo lugar de origen con el fin de evitar altos costos de transporte. Considerando lo anterior, la mejor aplicación resultaría en usuarios industriales principalmente en aquellos que demanden calor y electricidad para aumentar la eficiencia del sistema como productores de azúcar o pulpa y papel.

La biomasa residual puede ser aprovechada, ya sea por combustión directa sustituyendo el gas natural o carbón o por co-combustión, es decir realizando mezclas de biomasa-carbón o biomasa y gas-natural.

Para el caso en el que se utiliza la biomasa para sustituir gas natural es necesario la instalación de una nueva caldera y depósitos de almacenamiento o podría ser gasificada (convertida en gas) para utilizarla en un quemador. Sin embargo, esta última alternativa resulta muy costosa y poco aplicable. Por otro lado, la utilización de biomasa para sustituir carbón resulta más sencilla dado que ambos combustibles son sólidos. No obstante, sería necesario evaluar las modificaciones necesarias en la caldera.

4.4. Sustitución de gas natural por biogás.

Este caso de sustitución, es un caso especial de la utilización de la biomasa residual ya que el biogás es producto de la digestión anaerobia de la biomasa; es decir la conversión de la biomasa a través de un proceso biológico en gases, principalmente metano – CH₄ y dióxido de carbono CO₂.

El contenido de metano en el biogás varía de acuerdo al tipo de sistema anaerobio utilizado, el cual se encuentra entre un 50% y 70%. Este porcentaje de metano puede ser utilizado ya sea para la generación de vapor a través de una caldera o para generar electricidad mediante un motor de combustión o turbina a gas.



5. Descripción del proyecto

Un proyecto de sustitución de combustible depende de las características del equipo a analizar, su operación y del sistema al cual pertenezca. Por lo tanto, no existe un procedimiento general para la evaluación de este tipo de proyectos. Sin embargo, existen algunos aspectos generales que deben analizarse, tales como:



- > Características químicas y físicas del combustible actual y futuro (poder calorífico, tipo de combustible, temperatura de combustión, relación aire combustión, etc.).



- > Impacto sobre la capacidad y diseño del equipo a intervenir.



- > Impacto sobre la eficiencia del equipo.



- > Requerimientos ambientales (equipos de limpieza, disposición final de residuos, impacto ambiental, etc.).



- > Requerimiento de almacenamiento o redes.



- > Disponibilidad del combustible actual y futuro.



- > Costo del combustible actual y futuro.



- > Requisitos de la conversión (si es posible la conversión del equipo actual o es necesario la compra de un equipo nuevo).



- > Cambios en sistemas auxiliares como ventiladores, bombas, redes, etc.



- > Costos de operación y mantenimiento actual y futuro.



Un proyecto de sustitución de combustible consiste en determinar, en una planta industrial o en un edificio, cuáles equipos son susceptibles de cambiar su combustible de manera rentable; esto depende de la capacidad del equipo, el tiempo de operación anual (h/año), la eficiencia actual y futura, la antigüedad, las condiciones de mantenimiento y las condiciones del proceso donde se encuentra instalado.

De manera general, el ahorro económico obtenido por la sustitución de un combustible se calcula de la siguiente manera:

Tabla 5. Parámetros para calcular el ahorro económico en proyectos de sustitución de combustible.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Parámetro	Unidad	Fuente/Formula
A. Consumo de combustible actual.	Kg/año; gal/año; m ³ /año	Factura de suministro de combustible.	I. Costo futuro de consumo de combustible.	USD/año	G*H
B. Poder calorífico Inferior del combustible actual.	Ver tabla 6	Tabla 6	J. Ahorro económico.	USD/año	E-I
C. Consumo de energía actual	MBTU/año	A*B/1.000.000	K. Costo de inversión.	USD	Dato de inversión.
D. Tarifa de combustible actual.	USD/kg; USD/gal; USD/ m ³	Factura de suministro de combustible.	L. Periodo de retorno simple.	años	K/L
E. Costo actual de consumo de combustible.	USD/año	A*D	M. Factor de emisión combustible actual.	Kg CO ₂ /BTU	Tabla 6.
F. Poder calorífico inferior del combustible futuro.	Ver Tabla 6	Tabla 6.	N. Emisiones del combustible actual.	Ton CO ₂ /año	C*M*1.000
G. Consumo de combustible equivalente futuro.	Ver Tabla 6	C*1.000.000/F	O. Factor de emisión combustible futuro.	Kg CO ₂ /BTU	Tabla 6.
H. Tarifa de combustible futuro.	Ver Tabla 6	Tarifas de referencia del mercado.	P. Emisiones del combustible futuro.	Ton CO ₂ /año	C*O*1.000
			Q. Reducción de emisiones anuales.	Ton CO ₂ /año	(N-P) *1000



Tabla 6. Características combustibles.

Combustible	Unidad de medida consumo de combustible	PCI	Tarifa	Factor de emisiones (kg CO ₂ /BTU)
Carbón.	kg/año	24.000 BTU/kg	USD/Ton	0,1026
Diésel.	Gal/año	135.000 BTU/gal	USD/gal	0,0779
Gasolina.	gal/año	116.000 BTU/gal	USD/gal	0,0787
GLP.	gal/año	92.000 BTU/gal	USD/gal	0,0691
Gas natural.	m ³ /año	35.280 BTU/m ³	USD/m ³	0,0581
Biogás.	m ³ /año	21.168 BTU/m ³	Dependiente de la fuente	Dependiente de la fuente
Biomasa.	Ton/año		Dependiente de la fuente	Dependiente de la fuente

El valor de la reducción de emisiones de CO₂ se calcula teniendo en cuenta las emisiones generadas por la quema de combustibles antes del proyecto, menos las emisiones generadas por el consumo del nuevo combustible después del proyecto. Para el cálculo de las emisiones de GEI de los combustibles debe tenerse en cuenta su factor de emisión.



6. Requerimiento de inversión

La inversión específica en un proyecto de sustitución de combustible depende del tipo de sistema que se quiera instalar, además de los requerimientos específicos del sistema. En la siguiente tabla se muestran los costos de inversión aproximados para diferentes sistemas. Cabe resaltar que cada sistema es único y sus ahorros y costos varían. La tabla busca establecer rangos de costos y eficiencia aproximados para ser usados como valores de referencia.

Tabla 7. Costos de inversión aproximados de proyectos de sustitución de combustibles.




Tipo de sustitución	Rango de eficiencia (EER)	Costo de inversión
Sustitución carbón.	A gas natural.	Entre 100 – 1.000 USD/kW en caso de hacer instalaciones de redes el costo por kW instalado se incrementa.
Sustitución de combustibles líquidos a gas natural.	Gasolina a gas natural.	Entre 300 – 500 USD/kW en caso de hacer instalaciones de redes el costo por kW instalado se incrementa.
	Diésel a gas natural.	Entre 300 – 500 USD/kW en caso de hacer instalaciones de redes el costo por kW instalado se incrementa.
Sustitución de carbón y gas natural por biomasa.	Co-combustión.	Entre 100 – 2.500 USD/kW.
	Gas natural – biomasa.	Aproximadamente 1.500 USD/kW.
Sustitución de gas natural por biogás.	Carbón – biomasa.	Aproximadamente 250 USD/kW.
	Sin biodigestor.	Entre 1.000 y 2.000 USD/kW.
	Con biodigestor.	Entre 2.000 – 3.500 USD/kW.



7. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales

En la tabla 8 se resumen los potenciales riesgos técnicos, ambientales y sociales de un proyecto de sustitución de combustibles y su estrategia de mitigación.

Tabla 8. Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación	Riesgo	Tipo	Estrategia de mitigación
 <p>Cumplimiento de la demanda energética en la sustitución de combustibles.</p>	Técnico	La sustitución de combustibles se realiza generalmente con combustibles que generan un menor impacto ambiental (p. ej. gas natural, biomasa, residuos, etc.), No obstante, tienen una menor capacidad de generar energía comparándolos con los combustibles tradicionales (p. ej. carbón, diésel). Debe asegurarse de que el proyecto de sustitución no afecte los requerimientos mínimos de los procesos productivos.	 <p>El consumo excesivo de biomasa puede generar riesgos de seguridad alimentaria en la región</p>	Técnico/ Social	Asegurarse de que la utilización de combustibles alternativos no genere riesgos de seguridad alimentaria para la región.
 <p>Confiablez en las tecnologías que operan con combustibles alternativos.</p>	Técnico	Seleccionar equipos de proveedores reconocidos que estén diseñados para trabajar con combustibles alternativos.	 <p>Reducción de emisiones de GEI.</p>	Ambiental	Verificar que el diseño del proyecto permite la máxima eficiencia operativa y logra la mayor reducción del consumo de combustibles y/o una reducción de emisiones de GEI.
			 <p>El uso de combustibles alternativos puede presentar riesgos en el abastecimiento</p>	Técnico	Asegurar que existan contratos de abastecimiento de combustibles alternativos a mediano y largo plazo.
			 <p>Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.</p>	Técnico/ Financiero	Asegurar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.



8. Criterios de elegibilidad

Los proyectos de eficiencia energética relacionados con la sustitución de combustibles presentan potenciales de reducción de consumo de energía de entre el 10% y el 30% en condiciones normales de operación, dependiendo del combustible reemplazado al ser proyectos que reducen el consumo de combustibles tradicionales en la mayoría de los casos.

Los potenciales de reducción de emisiones de GEI son mayores en caso de sustituir combustibles fósiles por combustibles alternativos, estas reducciones pueden alcanzar hasta el 50% de las emisiones de GEI y en el caso de la biomasa el porcentaje es mucho mayor.

Como criterio general de elegibilidad ambiental del proyecto, se recomienda que la reducción de emisiones sea mayor al 20% con respecto a la línea de base establecida.

En la estructuración financiera de estos proyectos se debe considerar la posibilidad de otorgar periodos de gracia en caso de que los equipos sean importados, así mismo, el plazo del crédito debería ser mayor o igual al periodo de retorno simple de la inversión. Normalmente los proyectos de sustitución de combustibles tienen periodos de retorno simple entre 2 y 6 años dependiendo del costo de los combustibles del país donde se ejecute el proyecto.

Criterios de elegibilidad



Ahorro en el consumo de combustible superior al **10%** con respecto a la línea base.



Reducción de emisiones de GEI superior al **20%** con respecto a la línea base



Periodo simple de retorno inferior a **6** años

Si el proyecto consiste en la sustitución de un combustible de alto PCI por uno con uno menor, para poder suplir la demanda energética el consumo de combustible aumenta; por lo que solo se deben cumplir los 2 últimos criterios de elegibilidad. Si el combustible sustituido tiene un PCI menor que el nuevo combustible, se deben cumplir simultáneamente los 3 criterios de elegibilidad.



9. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

El monitoreo de un proyecto de sustitución de combustibles debe hacerse de manera continua. Se recomienda la instalación de medidores de consumo de combustible con el fin de hacer seguimiento, monitoreo y control al indicador energía producida/unidad de combustible consumida. Los indicadores que se pueden utilizar para el reporte son los que se presentan en la tabla 9.

Tabla 9. Indicadores de monitoreo del proyecto.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Consumo de energía.	kWh/año.		
Consumo de combustible.	Unidad/año.		
Reducción de emisiones de GEI.	Ton CO ₂ /año.		

Cuando el proyecto de sustitución de combustibles alternativos está desplazando el consumo de combustibles tradicionales, se pueden usar indicadores de consumo no en términos energéticos (p. ej. kWh/año), sino en términos de volumen o masa (p. ej. galones/año, m³/año, etc.).

Para el cálculo de la reducción de emisiones de GEI debe tenerse en cuenta su factor de emisión de acuerdo al combustible utilizado, este puede obtenerse a partir del IPCC o de la EIA o del proveedor del combustible en algunos casos.

El valor de la reducción de emisiones de GEI se calcula teniendo en cuenta las emisiones generadas por el consumo de combustible antes y después del proyecto. Si el resultado final es positivo, quiere decir que las emisiones del proyecto son menores que las emisiones que se generaban antes de su ejecución

10. Caso de estudio

Una empresa de manufactura de muebles y mobiliarios, desea reducir los costos incurridos en el manejo de residuos sólidos, usándolos como combustible en un proyecto de sustitución de carbón por biomasa para la línea de trabajo encargada del autoclave de la madera. Para el proyecto se decidió importar calderas especiales que trabajan con biomasa y aseguran las necesidades térmicas del proceso. Para este caso los ingenieros encargados del proyecto calcularon un factor de emisión para la madera utilizada en el proceso de 0.07 Kg CO₂/BTU y un poder calorífico inferior de 33.000 BTU/kg.

En la siguiente tabla se resumen los datos tenidos en cuenta para la evaluación del proyecto.

Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor	Parámetro	Unidad	Fuente/Formula	Valor
A. Consumo de combustible actual.	kg/año	Factura de suministro de combustible.	2.400.000	I. Costo futuro de consumo de combustible.	USD/año	G*H	606.315,79
B. Poder calorífico Inferior del combustible actual.	BTU/kg	Tabla 6	24.000	J. Ahorro económico.	USD/año	E-I	4.193.684,21
C. Consumo de energía actual	MBTU/año	A*B/1.000.000	57.600	K. Costo de inversión.	USD	Dato de inversión.	15.000.000
D. Tarifa de combustible actual.	USD/kg	Factura de suministro de combustible.	2	L. Periodo de retorno simple.	años	K/L	3,58
E. Costo actual de consumo de combustible.	USD/año	A*D	4.800.000	M. Factor de emisión combustible actual.	Kg CO ₂ /BTU	Tabla 6.	0,1
F. Poder calorífico inferior del combustible futuro.	BTU/kg	Dato caso de estudio.	19.000	N. Emisiones combustible actual.	Ton CO ₂ /año	C*M*1.000	5.760.000
G. Consumo de combustible equivalente futuro.	kg/año	C*1.000.000/F	3.031.578,95	O. Factor de emisión combustible futuro.	Kg CO ₂ /BTU	Dato caso de estudio.	0,07
H. Tarifa de combustible futuro.	USD/kg	Tarifas de referencia del mercado.	0,2	P. Emisiones combustible futuro.	Ton CO ₂ /año	C*O*1.000	4.032.000
				Q. Reducción de emisiones anuales.	Ton CO ₂ /año	(N-P) *1.000	1.728.000

Para este proyecto se puede observar que se alcanzan ahorros anuales de aproximadamente 4,2 MMUSD por el reemplazo de los combustibles, el periodo de retorno simple de la inversión es de 3,58 años y se pueden reducir las emisiones de GEI anuales de la empresa en 4,6 Millones de Ton CO₂/año por la sustitución de combustibles, lo cual hace al proyecto viable desde el punto de vista financiero y ambiental.

Como se puede observar, este proyecto genera ahorros económicos muy grandes porcentualmente debido a que el combustible que se utilizaría como sustituto del carbón es considerado por la empresa actualmente como un residuo. Con esto, se evidencia el gran potencial que tiene la biomasa, ya que en muchos de los casos es un material que ya se posee y los costos para adecuarlo como combustible son bajos.

Beneficios del proyecto y elegibilidad para ser financiado por líneas verdes.



Ahorro en el consumo de combustible superior al 10% con respecto a la línea base



Reducción de emisiones de GEI superior al 20% con respecto a la línea base



Periodo simple de retorno inferior a 6 años





11. Referencias

- > Biomass residuals study for OPG repowering program. 2011.
- > Coal to Natural Gas Fuel Switching and CO₂ Emissions Reduction. Harvard Environmental Economics Program. 2011
- > Choongsik Bae, Jaeheun Kim. "Alternative fuels for internal combustion engines". The Combustion Institute. 2016.
- > Gustavsson L., Haus S. "Climate change effects of forestry and substitution of carbon-intensive materials and fossil fuels". Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016.
- > Vásquez H., Palacios J. "Análisis de cambio de combustible en calderas a gas natural. Universidad Nacional Mayor de San Marcos".

Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética

Editor: CAF

Dirección Corporativa de Ambiente y Cambio Climático (DACC)

Ligia Castro de Doens, directora corporativa

Dirección Sectores Productivo y Financiero Región Norte (VSPF)

Mauricio Salazar, director

Autor:

MGM International

Coordinación y edición general

Camilo Rojas (DACC)

Jaily Gómez (VSPF)

René Gómez García (DACC)

Diseño Gráfico y Diagramación:

Tundra Taller Creativo | tundra.pe

Fotos:

Pixabay.com

Shutterstock
