



Manual para la Evaluación de Inversiones en Eficiencia Energética en el Sector Agroindustrial

Dirigido a
Clientes de Instituciones Financieras

CAF BANCO DE DESARROLLO
DE AMÉRICA LATINA



Glosario



Tabla de conversiones



1. Presentación



2. Aplicabilidad del manual



3. Caracterización energética del proceso



4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial



5. Análisis de riesgos técnicos, ambientales y sociales



6. Criterios de elegibilidad



7. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto



8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector



9. Caso de estudio



10. Referencias



Glosario

Ácido sulfhídrico: gas inflamable, incoloro, tóxico, odorífero. Su olor es el de materia orgánica en descomposición.

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

Boiler horse power (BHP): un caballo de vapor es una unidad de medida de potencia de calderas que equivale a 33.471 BTU/h.

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.

Capa de ozono: capa de la atmósfera que permite preservar la vida sobre la tierra y actúa como escudo para proteger la tierra de la radiación ultravioleta proveniente del sol.

Co-combustión: consiste en la combustión conjunta de dos combustibles en un mismo dispositivo. Actualmente, se denomina co-combustión a la combustión de biomasa (u otro combustible alternativo) substituyendo parte del combustible fósil original en una caldera u horno diseñado para la operación únicamente con combustible fósil.

Cubic feet per minute (CFM): unidad que mide el caudal o flujo de un gas o líquido, indicando el volumen, en pies cúbicos, que pasa por una sección determinada en un minuto.

Cogeneración de energía: producción de energía eléctrica y de energía térmica aprovechable en los procesos industriales y comerciales a partir de una misma fuente de energía.

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.



Coefficient of performance (COP): relación entre el calentamiento o enfriamiento proporcionado y la electricidad consumida. A mayor COP se obtiene un rendimiento mayor y consecuentemente menores costos operativos.

Digestión anaerobia: proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, los principales son el metano y el dióxido de carbono (dependiendo del material biodegradado).

Dióxido de carbono (CO₂): es el principal gas de efecto invernadero emitido principalmente a través del uso del transporte y 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.

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.

Global G.A.P.: norma con reconocimiento internacional para la producción agropecuaria. La Certificación GLOBAL G.A.P. cubre inocuidad alimentaria y trazabilidad, medio ambiente, salud, seguridad y bienestar del trabajador, bienestar animal, el manejo integrado del cultivo, manejo integrado de plagas, sistemas de gestión de calidad y Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP).

Glicol: compuesto químico utilizado como anticongelante en los circuitos de refrigeración, como difusor del calor, para fabricar compuestos de poliéster, y como disolvente en la industria de la pintura y el plástico.

GJ: GigaJulio es un múltiplo (Giga prefijo del sistema internacional equivalente a $\times 10^9$) de la unidad de medida métrica Julios utilizada para medir energía, trabajo y calor.



HACCP: Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (APPCC o HACCP, por sus siglas en inglés) es un proceso sistemático preventivo para garantizar la inocuidad alimentaria, de forma lógica y objetiva.

Inocuidad: conjunto de condiciones y medidas necesarias durante la producción, almacenamiento, distribución y preparación de alimentos, para asegurar que una vez ingeridos, no representen un riesgo para la salud.

Inversiones en producción más limpia: inversiones que pueden demostrar un beneficio ambiental para disminuir la contaminación del aire, el suelo y/o el agua.

kW: es una unidad de medida de la potencia (1kW es equivalente a 1.000 W) de los aparatos eléctricos.

kWh: equivalente a mil vatios-hora, es una unidad utilizada para medir la energía eléctrica consumida o utilizada en determinado tiempo.

Lecho fluidizado: proceso por el cual una corriente ascendente de fluido (líquido, gas o ambos) se utiliza para suspender partículas sólidas.

Liofilización: método de conservación de productos que consiste en deshidratar mediante congelación rápida.

Línea de base: situación energética y ambiental actual sin ninguna mejora implementada.

Líneas de financiamiento "verde": líneas de financiamiento que buscan el desarrollo de proyectos que promuevan la protección y conservación del medio ambiente, como proyectos de eficiencia energética, energía renovable o producción más limpia. Dichos proyectos deben contar con la revisión y verificación de los beneficios ambientales que se obtienen después de la inversión.

Madera certificada: es una garantía del manejo responsable de la madera como materia prima la cual asegura que la cadena de producción tiene impactos ambientales controlados.



MWe: es una unidad de medida de la potencia eléctrica en los sistemas de cogeneración.

Pellets: son un tipo de combustible granulado a base de madera.

Periodo 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 periodo de retorno simple de 3 años.

R-22: es un gas incoloro utilizado para los equipos de refrigeración antiguos, era el gas refrigerante más utilizado en la aplicación del aire acondicionado, tanto para instalaciones de tipo industrial como domésticas. Actualmente está prohibida su distribución por ser un gas que agota la capa de ozono.

Sello CarbonTrust: certificación para medir y reducir el aporte al cambio climático de empresas, productos y servicios.

Valor exante: valor de una variable medida antes de desarrollar los proyectos de eficiencia energética y energías renovables.

Valor expost: valor de una variable medida después de desarrollar los proyectos de eficiencia energética y energías renovables.



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	3,6 e-9	3.412,14
Jules	0,000000278	1	1e-9	1e-15	0,0009478
GigaJules	277,7	1e+9	1	1e-6	947817
PetaJules	2,77 e+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-D) y Negocios Verdes (NV) con Instituciones Financieras (IF's), cuyo objetivo principal es fomentar una mayor inversión de empresas Latinoamericanas en NV y EE-D, para lo cual CAF pone a disposición (I) financiamiento a través de las líneas de crédito que CAF mantiene con Instituciones Financieras (IF's), (II) asistencia técnica, y (III) fortalecimiento de mercados en negocios verdes y de eficiencia energética.

Este manual dirigido a los Clientes de las IF's, tiene como objetivo principal generar conocimientos y mejorar las capacidades de sus clientes y recursos de outsourcing, para identificar oportunidades de proyectos de EE; asimismo, gestionar los riesgos ambientales y sociales asociados con este tipo de proyectos.

Adicionalmente, incluye aspectos técnicos, ambientales y de inversión 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.

Este manual es parte de un conjunto de documentos que comprende los sectores y tecnologías con mayor potencial para llevar a cabo 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).

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 para el desarrollo de proyectos de motores de alta eficiencia, que es aplicable a sectores como cemento, textiles, alimentos y bebidas, y agroindustria.



2. Aplicabilidad del manual

El manual de eficiencia energética para el sector agroindustrial para clientes de las IF's, incluye información relevante relacionada con los consumos energéticos y el potencial de eficiencia energética para los diferentes procesos de producción agroindustrial. El alcance de este manual comprende las oportunidades de inversión que se pueden presentar en este sector, específicamente en el proceso de producción y transformación que es la parte más intensiva en el uso de energía en la cadena productiva. Las actividades asociadas por ejemplo al cultivo de materias primas o a la logística de materiales, no están incluidas en el manual. Debido a la alta variedad de los productos finales de la agroindustria este manual se enfocará especialmente los subsectores más relevantes en la producción agroindustrial de Latinoamérica que incluyen la producción de azúcar, el procesamiento de aceites vegetales, la producción de café y la producción de arroz.





Los consumos de energía térmica y eléctrica sirven como referencia sobre las mejores prácticas del sector y definen los indicadores de consumo para determinar las mejoras razonables que se pueden alcanzar al realizar inversiones en eficiencia energética.

El manual presenta los proyectos con mayor potencial mostrando los diferentes niveles de inversión, posibles periodos de retorno y los ahorros estimados frente a los diferentes cambios tecnológicos.

Las oportunidades de eficiencia energética financiables a través de líneas verdes son las más comunes para este sector, teniendo en cuenta el estado de la tecnología actual y las mejores prácticas del mercado. No significa que sean los únicos proyectos financiables, pero sí los más comunes que requieren de financiación.

Dentro de la actividad agroindustrial existen subsectores que no son atendidos por la banca comercial. La producción de tabaco, licores y sus derivados se encuentra en la lista de exclusión de múltiples instituciones financieras internacionales y multilaterales, de esta manera el alcance de este manual no cubre estas actividades.



3. Caracterización energética del proceso

El grado de transformación en los procesos agroindustriales pueden variar ampliamente, se pueden encontrar procesos que varían desde la limpieza y trituration de un alimento (por ejemplo cereales) hasta la alteración química de un componente natural para crear un nuevo producto (por ejemplo el caucho, en la producción de llantas). En la tabla 3 se presentan las diferentes categorías de transformación industrial según la complejidad del proceso. Siendo los procesos (i) los menos complejos y (iv) los más complejos.¹

Tabla 3. Categorías agroindustriales según el nivel de transformación.

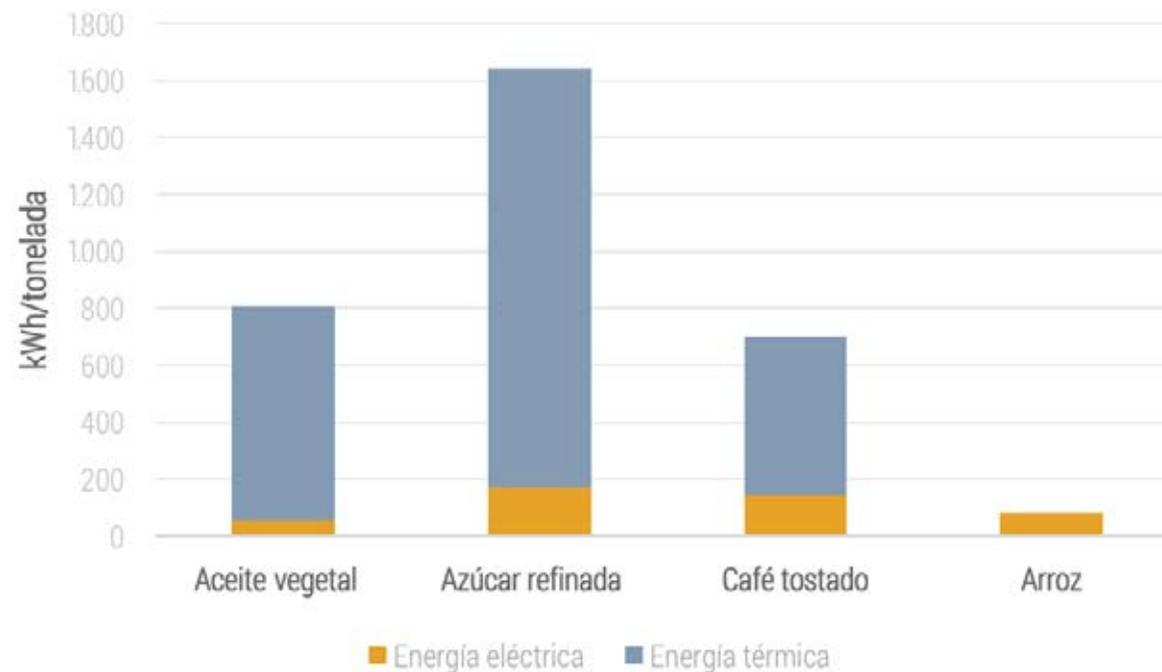
Categoría			
(i)	(ii)	(iii)	(iv)
Proceso de transformación			
Limpieza. Clasificación.	Desmotado. Molienda. Corte. Mezclado.	Cocción. Pasterización. Proceso de conservación. Deshidratación. Congelación. Tejeduría. Extracción. Ensamble.	Alteración química. Texturización.
Ejemplo ilustrativo			
Siembra de la caña.	Corte de la caña.	Producción de azúcar.	Producción de azúcar refinada.

Entender la complejidad del proceso es muy útil para conocer el grado de transformación y la intensidad tecnológica, de capital y energética que tienen los diversos productos agroindustriales. Por ejemplo, la producción de azúcar tendrá más intensidad en energía y capital que la producción de madera.

¹ <http://documents.worldbank.org/curated/en/672351468183893125/pdf/multi-page.pdf>

En la figura 1 se presenta la intensidad energética de diferentes productos agroindustriales por tonelada producida, la producción de azúcar presenta la mayor intensidad en energía por el uso principalmente de combustible en su proceso productivo de refinación. La producción de aceite se caracteriza por uso de energía térmica para el proceso de refinación. En la producción de café los hornos para el tostado o el proceso de liofilización presentan el mayor consumo de energía.

Figura 1. Intensidad energética de diferentes productos agroindustriales. ²



² http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy_and_Climate_Change/Energy_Efficiency/Benchmarking_%20Energy_%20Policy_Tool.pdf



Los costos de la energía utilizadas en la producción de agroindustrial varían según el país, en la tabla 4 se presenta el rango de los costos típicos en la región de Latinoamérica para diferentes energéticos utilizados por la producción agroindustrial.

Tabla 4. Precios de los energéticos utilizados en la producción agroindustrial en Latinoamérica.

Tipo de energético	Precio energético USD/cantidad de energético
Electricidad.	0,1 – 0,2 USD/kWh
Gas natural.	0,47 – 1,5 USD/m ³
Diésel.	0,8 - 3 USD/galón
Carbón.	55 USD/tonelada



4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial

El sector agroindustrial se caracteriza por el amplio rango de procesos, esto se debe a la escala de producción, el tipo de producto terminado, o el nivel de elaboración (no procesados, intermedios o finalizados), estos aspectos determinan el tipo y la variedad de tecnologías utilizadas. Sin embargo, existen tecnologías comúnmente utilizadas por las diferentes categorías industriales. Así mismo, existen tecnologías características de cada agroindustria.

El nivel de uso de las tecnologías y el consumo final de energía dependerá del proceso productivo. Por ejemplo, en la producción de arroz se utilizan muchos motores para el proceso de trillado representando un consumo energético significativo, mientras que en la producción de azúcar el uso de sistemas térmicos y calderas es el mayor consumidor de energía.





4.1 Oportunidades de reducción del consumo de energía eléctrica.

A continuación se presenta un resumen de las principales oportunidades para desarrollar proyectos que optimicen el consumo de energía eléctrica en la producción agroindustrial.

4.1.1 Instalación o remplazo de motores de alta eficiencia.

Uno de los mayores consumidores de energía eléctrica en el sector agroindustrial son los motores eléctricos. Si bien puede variar el nivel de uso y escala de la aplicación por subsector, la fuerza motriz es un servicio que se utiliza con gran frecuencia. Las actividades de molinería de arroz y café, la producción de azúcar, y el procesamiento de aceite son los subsectores en los que típicamente el uso de motores representa cerca del 50% del consumo de energía eléctrica del proceso productivo.

La instalación de equipos nuevos o el remplazo de equipos antiguos, con eficiencias entre 70 y 85%, por motores de alta eficiencia superiores al 94%, genera ahorros de energía entre el 10 y el 20 % del consumo en estos equipos.

Teniendo en cuenta que el mayor costo en el ciclo de vida de un motor tiene relación con el consumo de energía, el desarrollo de este tipo de proyectos retorna las inversiones en periodos entre 2 y 5 años dependiendo del costo de energía actual en la planta. Las inversiones para motores dependen de la capacidad instalada, para motores grandes (más de 300 kW) el índice de inversión es de 75 USD/kW y para motores pequeños (entre 30 y 300 kW) es entre 120 y 140 USD/kW.

El uso de variadores de frecuencia es muy frecuente en la producción agroindustrial, se utilizan a menudo para regular la operación de molinos, bombas y ventiladores para mantener la temperatura de los hornos.

El uso de variadores de frecuencia puede reducir la carga del motor de 100% a 80% y puede reducir el consumo energético hasta un 50%. Los variadores de frecuencia varían entre un rango de 0,1 kW hasta varios MW, en motores de potencia inferior a 15 kW están generalmente incluidos desde fábrica.³

4.1.2 Reemplazo e instalación de sistemas de aire comprimido.

El uso de aire comprimido es fundamental en muchos procesos agroindustriales. En la tabla 5 se presentan los usos más comunes dentro de 4 diferentes subsectores agroindustriales.

Tabla 5. Usos más comunes de aire comprimido según el subsector agroindustrial.

Proceso	Subsector agroindustrial			
	Producción de azúcar	Producción de aceites y grasas	Producción de arroz	Producción de café
Limpieza de empaques, sitio de producción.	✓	✓	✓	✓
Lechos fluidizados.				✓
Procesos de producción.	✓	✓	✓	✓
Instrumentos y controles neumáticos.	✓	✓	✓	✓
Transporte neumático.			✓	
Generación de vacío.	✓			
Oxigenación en procesos de fermentación .	✓			

³ https://www.carbontrust.com/media/13063/ctg070_variable_speed_drives.pdf



Los proyectos de inversión relacionados con los diferentes usos del aire comprimido pueden variar en escala y tipo de tecnología. Sin embargo, se pueden encontrar ahorros cercanos al 30% en los proyectos típicos de remplazo de compresores antiguos por sistemas de alta eficiencia, las inversiones dependen del tipo de proyecto y escala.

En el costo del ciclo de vida de un compresor tiene la mayor proporción el consumo de energía eléctrica (73%)⁴, debido a esto el desarrollo de estos proyectos retorna las inversiones en periodos entre 3 y 4 años dependiendo del costo actual de energía. El costo de generación del aire comprimido depende de factores como el tipo de compresor y la presión de operación. Por ejemplo, un compresor de doble etapa operando a 100 psig de presión, produce entre 4 y 5 CFM por HP, teniendo en cuenta los costos de energía eléctrica el costo de producir un m³ de aire se encuentra entre 0,015 USD y 0,020 USD.

⁴ https://www.carbontrust.com/media/20267/ctv050_compressed_air.pdf

4.1.3 Sistemas de enfriamiento y enfriadores.

Los sistemas de enfriamiento son usados predominantemente en la producción de café liofilizado donde se utilizan bajas temperaturas para la producción de café instantáneo.

En los sistemas de enfriamiento los compresores son la parte del equipo de refrigeración que más consume energía, la eficiencia del sistema de refrigeración se mide por una razón llamada coeficiente de desempeño COP por sus siglas en inglés, el cual es la relación de la capacidad de enfriamiento (kW) comparado con el consumo de energía (kW). Con un COP más alto, la eficiencia del sistema será más alta. El porcentaje de ahorro típico de un proyecto de remplazo a compresores de alta eficiencia es entre 20 y 30 % del consumo de energía eléctrica.

Los sistemas de alta eficiencia tienen un costo entre 2.000 y 3.000 USD por tonelada de refrigeración instalada y los periodos de retorno se pueden encontrar entre 4 y 5 años dependiendo del costo de la energía.

4.1.4 Sistemas de iluminación de alta eficiencia.

La iluminación generalmente representa entre el 3 y el 5% del uso total de energía de una planta de producción industrial, en la tabla 6 se presentan las opciones más comunes en proyectos de eficiencia energética en sistemas de iluminación.

Tabla 6. Descripción de sistemas de iluminación de alta eficiencia.

Tipo de proyecto	Aumento en eficacia luminosa	Costo de inversión*	Período de retorno** (Años)
Reemplazo de luminarias fluorescentes T12 por luminarias fluorescentes T5.	50%	17 USD/tubo	1
Reemplazo de lámparas de vapor de mercurio por lámparas de haluro metálico o alta presión de sodio.	50 – 60%	130 USD/lámpara	2
Reemplazo de lámparas de haluro metálico por lámpara de alta intensidad de descarga (HID).	50%	120 USD/lámpara	2,7
Reemplazo de balastos magnéticos por electrónicos.	12 – 25%	10 USD/balasto	1,5 a 3
Reemplazo de luminarias fluorescentes por iluminación LED.	50 - 75%	12 USD/lámpara	1,6

* Considera un reemplazo de la tecnología existente.

** Usando 4.380 horas de operación por años, con un precio de 0,15 USD/kWh.

4.2 Oportunidades de reducción del consumo de energía térmica.

4.2.1 Instalación de calderas de alta eficiencia y sistemas de recuperación de calor.

Los subsectores agroindustriales de la producción de azúcar, café y el aceite utilizan en mayor grado sistemas térmicos para en sus diferentes procesos, las calderas son el equipo fundamental para suministrar agua caliente o vapor de agua dependiendo del proceso productivo y sus requisitos.

El vapor es utilizado especialmente en el proceso de evaporación y en la refinación de azúcar, de esta manera el vapor generado a través de calderas suele ser la parte más importante del consumo de energía del consumo de toda la planta. En consecuencia, la mejora de la eficiencia energética del sistema de generación de vapor tiene un potencial significativo para reducir el consumo de energía en la producción de azúcar.

La instalación de calderas de alta eficiencia presenta oportunidades de ahorro energético de hasta el 25% comparado con calderas de baja eficiencia. El costo de inversión por BHP instalado oscila entre 1.500 y 2.000 USD y los periodos de retorno pueden estar entre 3 y 5 años dependiendo el costo local del energético utilizado. En las industrias donde se usa carbón o biomasa, los periodos de retorno de las inversiones pueden ser mayores debido al bajo precio de este combustible.

El sector agroindustrial utiliza una gran cantidad de procesos donde se generan calores residuales de baja temperatura (por ejemplo, la evaporación de los jugos de azúcar, la producción de etanol, la tostación de café, etc.). Sin embargo, existen sistemas de recuperación de calor para aplicaciones como el precalentamiento de aire de combustión y calentamiento de agua, que pueden ahorrar hasta el 50% del consumo energético, y los periodos de retorno pueden estar entre 1 y 3 años.⁵

En la tabla 7 se presentan los ahorros típicos de energía en sistemas de recuperación y los periodos de retorno estimados.⁶

Tabla 7. Ahorros típicos de los sistemas de recuperación de energía.

Tipo de planta	Ahorros estimados (%)	Periodo de retorno simple aproximado (Años)
Tostadores de café	30	1
Vapores vegetales en la planta de evaporación de jugos de caña de azúcar	25	2

⁵ http://research.ncl.ac.uk/protem/components/pdfs/SusTEM2011/T1S4_01_Newcastle_RLAW_Opportunities_for_Low-Grade_Heat_Recovery_in_the_UK.pdf

⁶ http://ww2.qpem.uq.edu.au/CleanProd/food_project/Food%20Manual.pdf



4.2.2 Sistemas de cogeneración.

La cogeneración de calor y electricidad (CHP) por sus siglas en inglés, utilizan una sola fuente de combustible para producir tanto energía eléctrica y térmica. La principal ventaja de un sistema de cogeneración es la eficiencia general del sistema. La eficiencia energética de una planta de cogeneración puede ser hasta del 80%, ya que la energía está siendo extraída del sistema en forma de calor y energía eléctrica. Por el contrario, en una la central eléctrica convencional que produce sólo electricidad, la eficiencia de conversión varía entre el 35% y el 45%, y el restante se traduce en pérdidas de calor que no se recuperan.⁷

La aplicación e instalación de plantas de cogeneración de calor y electricidad en la agroindustria puede mejorar de manera significativa la eficiencia de producción. Así mismo, la cogeneración tiene un amplio potencial para aprovechar energéticamente las biomásas residuales que se generan en algunas agroindustrias, en los ingenios

azucareros donde se usa el bagazo de caña como combustible, en las extractoras de aceite de palma, donde el combustible utilizado es cuesco de palma y el biogás que se genera en las lagunas de tratamiento de aguas residuales, y en la industria del arroz donde es posible usar la cascarilla de arroz para la generación de electricidad.

Típicamente la introducción de plantas de cogeneración puede tener ahorros cercanos de combustible entre el 10 y el 20% y ahorros de energía eléctrica del 30% comparado con sistemas tradicionales.⁸

El costo de inversión en las plantas de cogeneración se estima en 2.500 USD/kW, así por ejemplo una planta de cogeneración en un ingenio azucarero con capacidad de 10 MWe requiere una inversión aproximada de 25 MMUSD. El tiempo de recuperación depende principalmente del precio de la electricidad y los combustibles en el país. Cuando el precio de la energía eléctrica es de 10 centavos de USD/kWh el retorno simple de las inversiones se puede dar en un periodo de 4 a 6 años.⁹

⁷ http://ww2.gpem.uq.edu.au/CleanProd/food_project/Food%20Manual.pdf

⁸ <http://ietd.iipnetwork.org/content/combined-heat-and-power-chp-generation>

⁹ <http://ietd.iipnetwork.org/content/combined-heat-and-power-chp-generation>



4.3 Otras oportunidades – Uso de energías alternativas.

4.3.1 Uso de biomasa residual para la producción de energía.

La producción de energía eléctrica y calor mediante el aprovechamiento de biomasa residual es una opción viable en la agroindustria ya que se generan una cantidad importante de residuos o subproductos.

En procesos de cogeneración se puede utilizar biomasa como combustible, el calor generado se utiliza para la producción de vapor de agua para cumplir las necesidades de calentamiento del proceso, por ejemplo, la generación de vapor utilizando bagazo como combustible permite la generación de energía eléctrica y su uso posterior en el proceso para la evaporación de los jugos de azúcar. De igual manera, la cascarilla de arroz y la cascara de café

pergamino pueden ser utilizadas como combustible en los procesos de generación de calor.

En la producción de arroz existe la posibilidad de generar energía eléctrica a partir de la cascarilla del arroz en un proceso de gasificación. El gas producido, denominado gas de síntesis, puede ser utilizado en el proceso productivo para la generación de electricidad.

Los costos del uso de biomasa como energía son específicos para diferentes escalas, generalmente los costos de inversión, métodos empleados y otros factores hacen que los precios varíen sustancialmente de una región a otra. En la tabla 8 se presentan los diferentes métodos de aprovechamiento de biomasa donde se especifica la materia prima utilizada, el proceso principal de generación de energía, la eficiencia típica de los sistemas, los costos estimados de producción para energía térmica y eléctrica y las posibles ventajas de estos sistemas.

Tabla 8. Sistemas de generación de energía a partir de biomasa.¹⁰

Materia prima	Proceso principal	Eficiencias y capacidades	Costos estimados de producción		Ventajas, reducción de costos operativos
			Energía térmica (USD/GJ)	Energía eléctrica (centavos de USD/kWh)	
Cuesco de palma y cascarilla de café.	Co-combustión con carbón.	Calderas con capacidad de 100 a 2.000 BHP y turbinas de vapor con potencias entre 1 a 3 MWe.	8,1 - 15	2,9 - 5,3	Reducir los costos de la materia prima es posible mediante técnicas de pretratamiento manteniendo bajos niveles de humedad.
Cascarilla de arroz.	Gasificación.	Gasificadores con capacidad de generar entre 0,5 y 1 MWe de energía eléctrica.	5 - 10	Costo de inversión (USD/kW) 1.500 - 3.000.	Reducción del costo de energía eléctrica y posibilidad de venta de excedentes a la red eléctrica.
Bagazo de caña de azúcar.	Combustión directa.	Equipos de 1 a 20 MWe, con eficiencias de 20 a 40%. Los costos de aprovisionamiento hacen variable la producción de energía.	20 - 25	5 - 9	Proyecciones de costo para producción de electricidad en 2020 4 a 6 centavos de USD/kWh.
Aguas residuales en la extracción de palma.	Combustión directa en calderas del biogás generado en procesos anaeróbicos.	Equipos de 50 a 1.000 BHP con eficiencias superiores al 80%.	9,1 - 26	Costo de inversión (USD/BHP) 2.000 - 2.500.	Las nuevas plantas de cogeneración que usan residuos alcanzan eficiencias arriba de 80 - 85% de eficiencia de generación de vapor.
	Motor a biogás.	Equipos 0,5 a 10 MW, con eficiencias de 25 a 40%.	10 - 14	Costo de inversión (USD/kW) 2.500 - 5.600	Eficiencia incrementada en el proceso de gasificación y desempeño general del sistema reduce emisiones de GEI y cenizas.
Borra de café	Combustión directa con carbón o gas.	Calderas de 12,5 a 300 MW. Los costos dependen altamente de las escalas de abastecimiento y logística.	14 - 36	5 - 13	La reducción de los costos operativos depende del costo local de aprovisionamiento de la materia prima.

¹⁰ https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/What_we_do/Topics/Energy_access/Gasification_FINAL.pdf

Continuación Tabla 8. Sistemas de generación de energía a partir de biomasa.¹⁰

Materia prima	Proceso principal	Eficiencias y capacidades	Costos estimados de producción		Ventajas, reducción de costos operativos
			Energía térmica (USD/GJ)	Energía eléctrica (centavos de USD/kWh)	
Aceite de pirólisis.	Combustión directa con carbón o gas.	Equipos de 12,5 a 1200 MW. Los costos dependen altamente de las escalas de abastecimiento y logística.	19 - 42	7 - 15	Desarrollo convencional en plantas de refinamiento, con el equipo se mejoran los procesos para la producción y uso directo en mezclas de diésel.
Troncos de madera.	Combustión directa para producir calor.	Equipos de 5 a 50 kW - con eficiencias de 10 al 20%. Hornos eficientes que reducen el uso del combustible (hasta 60%) y reducen la contaminación hasta 70%.	Costo de inversión (USD/kW) 100.		Nuevos hornos con eficiencias de 35 a 50% reducen también la contaminación hasta en un 90%.
	Combustión directa para producir calor en escala industrial.	Equipos de 1 a 5 MW - con eficiencias de 70 a 90% para los hornos de producción modernos. Estos hornos pueden presentar alta contaminación en diversas industrias.	Costo de inversión (USD/kW) 300 – 800.		El uso hornos mejorados puede reducir los consumos de combustibles entre 50 y 60% y la contaminación en un 60%.
Residuos orgánicos, excretas.	Digestión anaeróbica, purificación y compresión del gas.	Ampliamente utilizado para procesos con residuos líquidos homogéneos.	2,4 - 6,6	17 - 21	Mejoras en el tratamiento de la biomasa, el proceso de filtrado y la digestión biológica mejoran la eficiencia del sistema.
Excretas.	Granjas.	Aplicaciones de biogás en escalas 18 a 50 kW.	Costo de inversión (USD/kW) 5.000 – 7.000.		Existe una reducción de costos significativa con el uso de geomembranas.
Excretas, residuos de alimentos.	Granjas, industria de producción de alimentos y bebidas.	Biogás con residuos de animales y los residuos de la producción de alimentos con escalas de 150 a 290 kW.	Costo de inversión (USD/kW) 4.000 – 7.000.		



5. Análisis de riesgos técnicos ambientales y sociales

En la tabla 9 se presentan los principales riesgos técnicos, sociales, financieros y ambientales que deben tenerse en cuenta al realizar inversiones en el sector, así como las acciones para su mitigación.

Tabla 9. Riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
El cultivo de biomasa para generación de energía puede generar degradación de suelos, pérdida de biodiversidad y desertificación.	Ambiental	Verificar que los insumos en producción de energía a partir de biomasa provengan de fuentes responsables (subproductos del proceso de producción, madera certificada).
La producción de biomasa para generación de energía puede generar riesgos en seguridad alimentaria de la región.	Social	Cultivos de biomasa para generación de energía no deben competir con cultivos usados para la alimentación humana.

Continuación Tabla 6. Matriz de riesgos técnicos, ambientales y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
Riesgo en la continuidad del proceso dentro de la producción de energía con biomasa por el aprovisionamiento de las materias primas.	Técnico	Verificar existencia de contratos con los proveedores de materias primas y existencia de sistemas de respaldo en caso de incumplimiento.
La instalación de sistemas de aire comprimido o sistemas de generación de vapor de agua, sin filtros adecuados puede alterar inocuidad de los alimentos.	Técnico	Asegurarse de que se cumplen con los estándares de producción e inocuidad mediante el cumplimiento de normas locales o la metodología de Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control – HACCP
Riesgo de emisión de agentes refrigerantes que agotan la capa de ozono en enfriadores o cámaras de frío.	Ambiental	Verificar que los equipos no utilizan el gas R-22 más comúnmente encontrado en la región, asegurarse de que el gas refrigerante tenga un potencial bajo de agotamiento de la capa de ozono, normalmente estos gases son conocidos como refrigerantes ecológicos.
Riesgo de explosión en la utilización de biogás como combustible si no se maneja adecuadamente, además el uso de biogás puede corroer las tuberías por su contenido de ácido sulfhídrico.	Técnico	Se deben tomar todas las medidas de seguridad y verificar el cumplimiento de las regulaciones locales frente al almacenamiento de combustibles, además si se va a utilizar el biogás en la producción asegurarse de que existe un sistema de filtros de desulfuración adecuado.
La producción de biogás tiene riesgos de contaminación ambiental por el manejo de efluentes y material orgánico.	Ambiental	Verifique que en la instalación donde se produzca el biogás existen sistemas de manejo de efluentes y se hallan instalado plantas de tratamiento de aguas residuales o que se dispongan con una empresa calificada y autorizada para tratar estos residuos.
Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.	Técnico/Financiero	Asegurar que el diseño del proyecto es correcto y que se usan tecnologías con certificación de EE.



6. Criterios de elegibilidad

En el sector agroindustrial existe un amplio potencial de hacer inversiones en EE. Los criterios de elegibilidad que se recomiendan para aplicar a una línea de financiación verde son los siguientes:



Reducción del consumo de energía eléctrica: Cualquier proyecto de inversión para reducción del consumo de energía eléctrica debe reducir el consumo de energía en el proceso específico o en la planta de producción como mínimo en un 10%.



Reducción del consumo de combustible: Un proyecto de inversión para reducir el consumo de combustible debería reducir como mínimo el consumo en el proceso específico o de la planta de producción en un 10%.

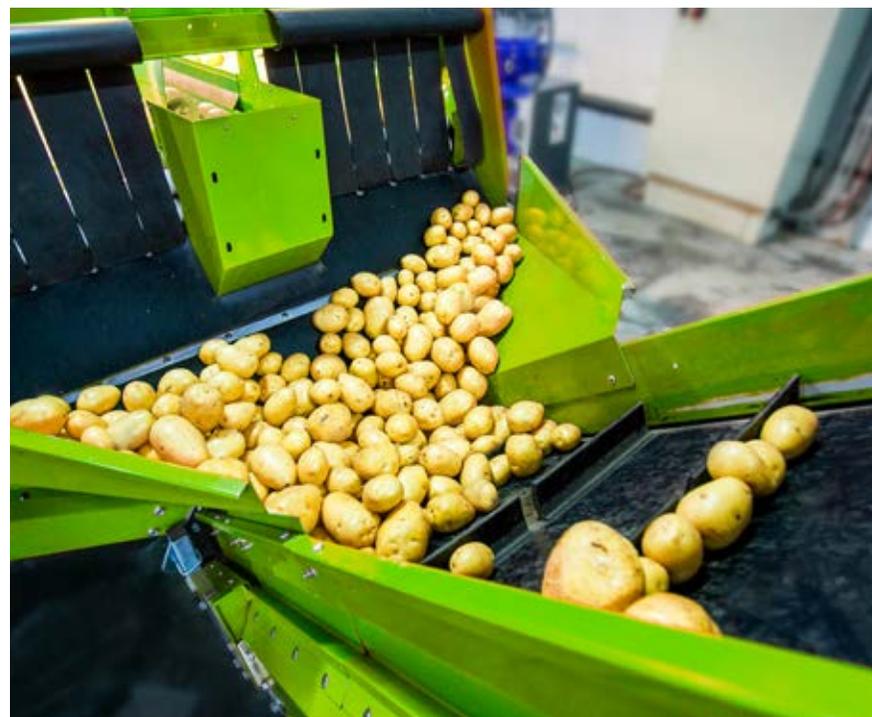


Reducción de emisiones de GEI: Los niveles de reducción de emisiones que pueden lograr las inversiones en eficiencia energética en el sector agroindustrial dependen de la fuente de energía eléctrica y el tipo de combustible utilizado en los procesos térmicos. Los proyectos con mayor reducción de emisiones de GEI son aquellos que reducen el consumo de carbón, gas natural o combustibles líquidos. En términos generales, una inversión en proyectos de eficiencia energética debería reducir las emisiones del proceso en al menos un 10%.



 **Periodo de retorno simple de la inversión:** Las inversiones en EE en el sector agroindustrial son principalmente en bienes de capital, con lo cual, el tiempo de retorno simple del proyecto no debería ser mayor de 6 años para que los flujos de caja del proyecto permitan retornar la inversión con una rentabilidad razonable en un periodo de 8 a 10 años.

Para que el proyecto de EE o energía renovable sea elegible, se debe cumplir el criterio de reducción de energía ya sea eléctrica o térmica, el criterio de reducción de emisiones de GEI y el criterio de periodo de retorno de la inversión de manera simultánea.





7. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

La agroindustria puede medir su intensidad energética y su intensidad de carbono a través de tres indicadores básicos presentados en la tabla 10 que deben ser medidos antes y después de los proyectos de inversión en eficiencia energética y/o energías renovables.

Tabla 10. Indicadores de mejora de eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Energía térmica.	MJ/Unidad		
Energía eléctrica.	kWh/Unidad		
Emisiones GEI.	Kg CO ₂ /Unidad		

Los indicadores para verificar el beneficio anual de una inversión en eficiencia energética, resultan de multiplicar la diferencia entre el valor exante y el valor expost de los indicadores sugeridos en la tabla 10 y la producción anual de la planta en el año posterior al que se realizó la inversión. De esta forma, los indicadores que se recomienda usar son los siguientes:

Tabla 11. Indicadores de impacto para inversiones en eficiencia energética en el sector agroindustrial.

Indicador	Unidad
Reducción del consumo de energía térmica.	MJ/año
Reducción del consumo de energía eléctrica.	kWh/año
Reducción de emisiones de GEI.	Kg CO ₂ /año



8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector

El sector de la agroindustria presenta importantes oportunidades frente a las inversiones en eficiencia energética y el uso de energías renovables dentro de las cuales se pueden resaltar:

- La producción de energía a partir de procesos como la cogeneración puede generar excedentes de energía eléctrica que pueden ser vendidos a la red (tomar en cuenta las regulaciones locales).
- La reducción de residuos sólidos para mitigar los impactos ambientales de la operación y aprovechar productos residuales como fuentes de energía.
- La producción de biomasa certificada (por ejemplo pellets) para producir energía térmica y eléctrica presenta una gran oportunidad en la región.
- El uso de subproductos para ser aprovechados como compostaje y abonos para la producción agropecuaria.
- El uso y manejo eficiente del agua con tecnologías aptas y adaptadas a cada tipo de producción.
- La certificación en estándares internacionales como Global GAP, HACCP, ISO (Calidad ISO 9001, Medio ambiente ISO 14001, Inocuidad de alimentos ISO 22000) y las buenas prácticas de manufactura pueden ser una opción viable dentro del proceso de mejora.
- Venta de productos con bajo contenido de carbono que puedan ser certificados mediante sellos internacionales como Carbon Trust u otros similares.



9. Caso de estudio

Un ingenio azucarero tiene planeado realizar una inversión por 3,5 MMUSD en una turbina con una capacidad de 2 MWe para aprovechar el calor generado en su proceso productivo para producir electricidad. La planta consume actualmente 15.000 MWh/año de la red y esto conlleva a emitir 5.250 Ton de CO₂ (un factor de emisiones de 0,35 Kg de CO₂/kWh). Con la turbina se alcanzaría una producción de energía eléctrica de 8.000 MWh/año, lo que representa una reducción del 47,67% . La producción anual de la planta es de 150.000 toneladas.

La implementación de esta turbina genera ahorros de 800.000 USD/año teniendo en cuenta un costo de energía de la red de 100 USD/MWh, con los cuales el retorno simple de la inversión se da en un periodo aproximado de 4,38 años.





En la tabla 12 se presentan los datos para la evaluación de la reducción de emisiones. No se toma en cuenta el indicador de energía térmica, ya que la reducción es en consumo de energía de la red y no hay reducción en el consumo de combustible.

El valor ex ante del consumo de energía de 100 kWh/Ton resulta de dividir el consumo de energía eléctrica actual entre las toneladas de producción. Este mismo cálculo se hace con las emisiones totales actuales sobre la producción total. La diferencia se calcula multiplicando el valor ex ante por la reducción de energía y emisiones.

Tabla 12. Indicadores de monitoreo caso de estudio.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost	Diferencia
Energía eléctrica.	kWh/Ton	100	53,33	46,67
Emisiones GEI.	Kg CO ₂ /Ton	35	18,67	16,33

El equipo de cogeneración sería financiado con una línea verde, por lo que se desea conocer el impacto de estos fondos con respecto a la energía ahorrada y a las emisiones reducidas en el proyecto.

Tabla 13. Indicadores de mejora caso del estudio.

Indicador	Unidad	Valor
Reducción del consumo de energía eléctrica.	KWh/año	$46,7 \times 150.000 = 7.000.000$
Reducción de emisiones de GEI.	Kg CO ₂ /año	$16,3 \times 150.000 = 2.450.000$

Dentro del análisis se encontró que el proyecto de cogeneración reduce el consumo energético en 7.000 MWh/año y la reducción de emisiones asociadas a la disminución en el consumo de energía eléctrica por este proyecto se estiman en 2.450 Ton de CO₂ /año.



Criterios de elegibilidad

En cuanto a la elegibilidad de los proyectos para ser financiados por líneas verdes, se concluye que el proyecto es elegible teniendo en cuenta que:



Reduce el consumo de energía eléctrica en un 46,7%.



Reduce las emisiones de GEI asociadas al consumo de energía eléctrica en un 46,7%.



El periodo de retorno de la inversión es inferior a 6 años.

Referencias

- Agrobased clusters in developing countries FAO
<http://www.fao.org/docrep/012/i1560e/i1560e.pdf>
- Agroindustrial Project Analysis – World Bank
<http://documents.worldbank.org/curated/en/672351468183893125/pdf/multi-page.pdf>
- Combined Heat and Power (CHP) Generation - The Institute for Industrial Productivity
<http://ietd.iipnetwork.org/content/combined-heat-and-power-chp-generation>
- Eco-efficiency Toolkit for the Queensland Food Processing Industry
http://ww2.gpem.uq.edu.au/CleanProd/food_project/Food%20Manual.pdf
- Effects of industrial agriculture on climate change and the mitigation potential of small-scale agro-ecological farms
<http://www.columbia.edu/~km2683/pdfs/Lin%20et%20al.%202011.pdf>
- Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking
http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Energy_and_Climate_Change/Energy_Efficiency/Benchmarking_%20Energy_%20Policy_Tool.pdf
- Motors and drives technology overview (CTV048)
<https://www.carbontrust.com/resources/guides/energy-efficiency/motors-and-drives/>
- Renewable Energy for Inclusive and Sustainable Industrial Development
https://www.unido.org/fileadmin/user_media_upgrade/What_we_do/TopicsEnergy_access/Gasification_FINAL.pdf

Manual 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
