



# Manual para la Evaluación de Proyectos de Eficiencia Energética en el Sector de Pulpa y Papel

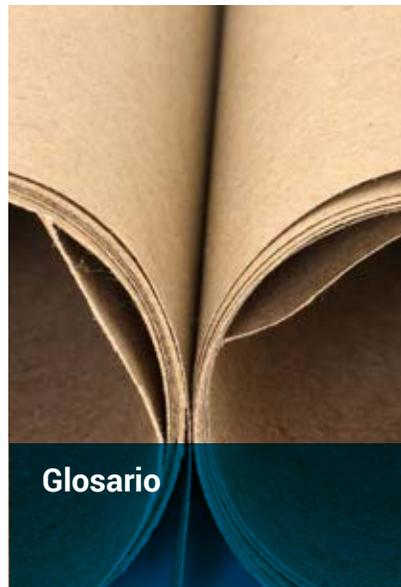
---

Dirigido a

**Cientes 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

**ADT:** Air Dried Metric Ton. Tonelada de pulpa con un 10% de contenido de agua en peso.

**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.

**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.

**Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>):** 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.

**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 (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>), entre otros, son liberados a la atmósfera por la actividad humana.

**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.

**EJ:** Exajoule.



**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 más común de la potencia eléctrica (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.

**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.

**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.

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

**Valor ex post:** 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 sustitución de combustibles y motores de alta eficiencia que son aplicables al sector de Pulpa y papel.



## 2. Aplicabilidad del manual

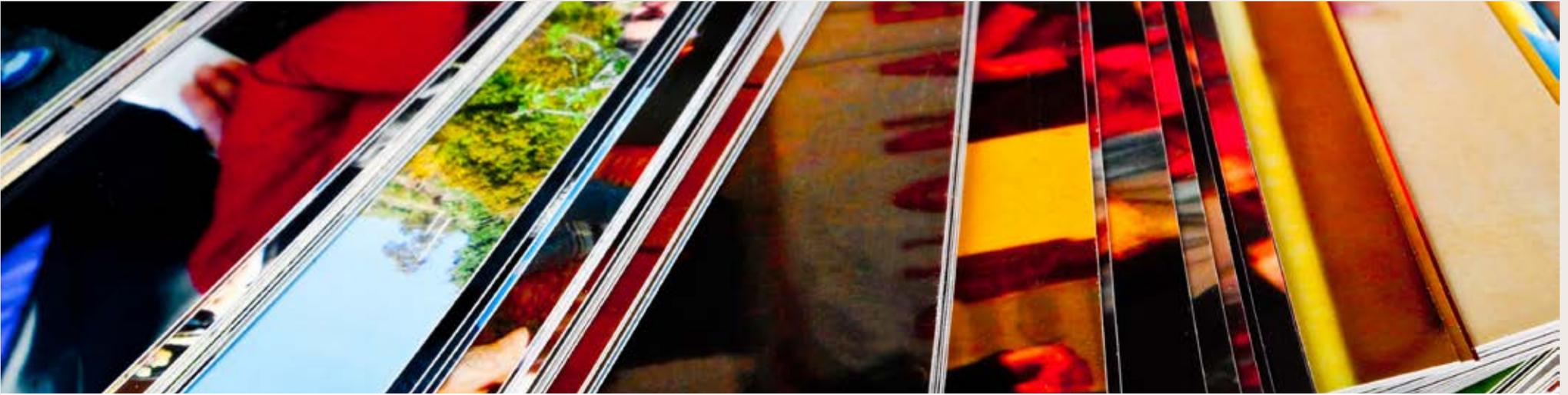
El manual de eficiencia energética para el sector de pulpa y papel para clientes de las IF's, incluye información relevante relacionada con los consumos energéticos y el potencial de eficiencia energética de proyectos que pueden presentar beneficios económicos y ambientales para los diferentes procesos y operaciones del sector. Se debe considerar que los valores presentados en este manual son indicativos, puesto que las diferentes instalaciones pueden variar en su configuración y tamaño, la ubicación geográfica, las características de operación y otros factores.

Los consumos de energía eléctrica y térmica sirven como referencia sobre las mejores prácticas del sector y definen los indicadores de consumo para determinar las mejoras razonables que se pueden alcanzar por 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 financiadas 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 financiados en el sector, pero sí los más comunes que requieren de financiación.





### 3. Caracterización energética del proceso

El sector de la pulpa y el papel es un importante consumidor de energía y ocupa actualmente el cuarto lugar en el sector industrial por su consumo de energía. En 2006, el sector consumió 6,7 EJ de energía, lo que representa el 6% del consumo mundial de energía industrial. A pesar del alto consumo de energía, el sector tiene una baja intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> debido al uso extensivo de biomasa como combustible (en 2006, las emisiones del sector alcanzaron 184 millones de toneladas, lo que representa sólo el 3% de las emisiones globales en 2006).<sup>1</sup>

Hay dos caminos principales para producir pulpa para la industria del papel: de madera virgen o de material reciclado. Para hacer la pulpa de la madera virgen, se utilizan dos tipos principales de procesos, el químico o Kraft y el mecánico. El papel también se puede hacer

a partir de fibras recicladas. En la producción de papel y cartón, el promedio mundial de papel recuperado utilizado por las fábricas fue el 56% de la producción total en 2011, frente al 46% de 2000.

La industria de la pulpa y el papel tiene un alto consumo de energía, con costos promedio de energía de alrededor del 16% de los costos de producción, y en algunos casos hasta el 30%. Más de la mitad (55%) de la energía utilizada por la industria proviene de la biomasa y la mayor parte del porcentaje restante (38%) proviene de los combustibles fósiles. La fabricación mecánica de pulpa suele ser más intensiva en electricidad y menos intensiva en calor que la pulpa química. A medida que se produce calor en el proceso de fabricación de pasta y papel, éste puede ser utilizado para generar electricidad en instalaciones de cogeneración. En Europa, la industria de pulpa y papel autogenera cerca del 46% de la electricidad que consume.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> International Energy Agency (2007). *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions*.

<sup>2</sup> Fuente: <https://setis.ec.europa.eu/technologies/energy-intensive-industries/energy-efficiency-and-co2-reduction-in-the-pulp-paper-industry/info>



Los procesos utilizados para producir pulpa y papel seco son los principales consumidores de energía en la industria. Las principales instalaciones de producción son fábricas de celulosa o fábricas integradas de papel y celulosa. Los molinos integrados tienen una mejor eficiencia energética.

La pulpa Kraft es el proceso de pulpa químico más utilizado. Produce fibras de alta calidad para grados de papel más altos. Sin embargo, requiere grandes cantidades de energía térmica y tiene un bajo rendimiento de fibra. Los molinos de Kraft son capaces de satisfacer la mayoría o la totalidad de sus necesidades energéticas a partir de subproductos (es decir, licor negro que se obtiene del proceso de digestión) e incluso pueden ser un exportador neto de energía.

De manera similar, la fabricación de pasta de sulfito, que se utiliza para papeles especiales, tiene un alto consumo de energía, pero puede generar una gran parte de las necesidades energéticas de un molino a partir de los subproductos.

La pulpa mecánica produce fibras más débiles pero tiene un alto rendimiento, lo que le da una menor demanda específica de energía final. Las mayores eficiencias se logran en aplicaciones como la pulpa termomecánica, donde el calor se recupera en grados diferentes. Sin embargo, como la electricidad es la principal energía utilizada, esta tecnología puede tener una alta demanda de energía primaria y altos valores de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas.

La producción de pulpa a partir de fibras recuperadas requiere sustancialmente menos energía en comparación con la pulpa virgen (el índice energético para la fibra recuperada es 0,7 a 3 GJ/ton para la pulpa Kraft).<sup>3</sup>

Es una opción prometedora para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> de todo el sector, con proyecciones de reducciones de hasta un 35%. Sin embargo, la disponibilidad de papel recuperado es a veces limitada y resolver este problema requiere cambios en otras partes del ciclo de vida de la producción de papel.

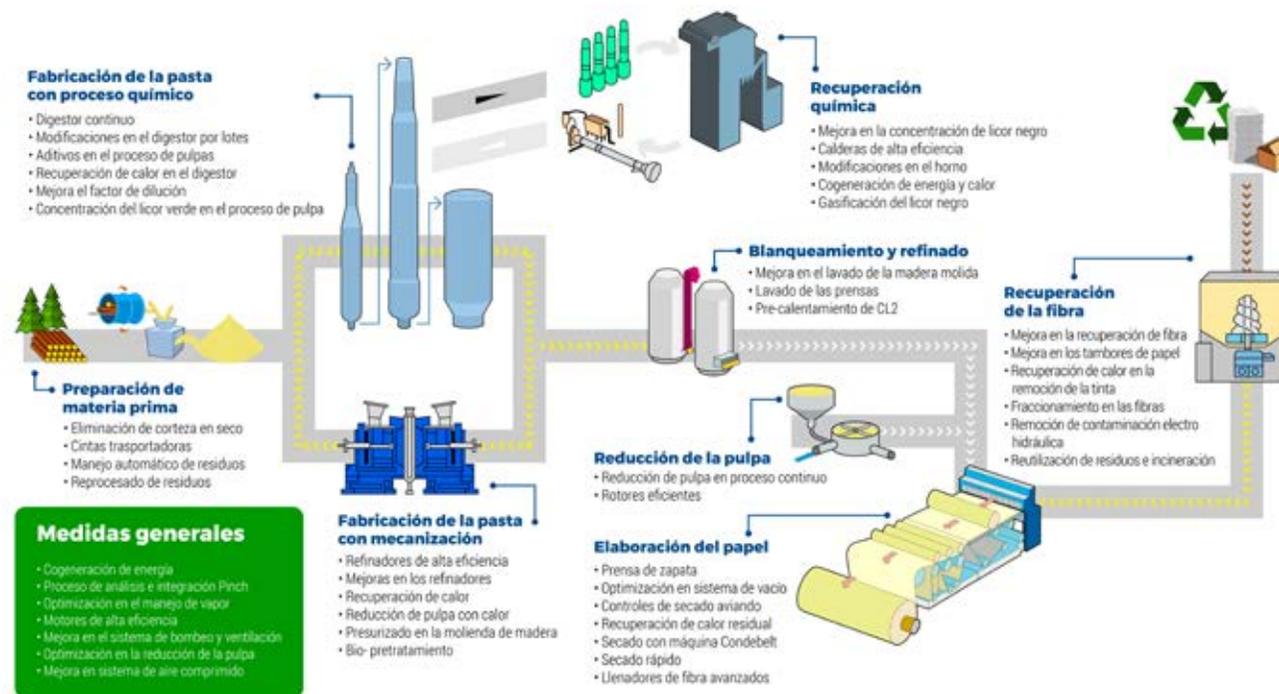
<sup>3</sup> International Energy Agency (2009). *Energy Technology Transitions for Industry*

La aplicación de sistemas de cogeneración puede mejorar significativamente la eficiencia energética de la industria de pulpa y papel. Se estima que el potencial de cogeneración en la industria del papel y la pulpa está en el rango de 278.000 a 556.000 GWh/año. Por lo general, la introducción de la cogeneración puede dar lugar a un ahorro de combustible de entre el 10 a 20% y un ahorro de energía eléctrica del 30% en comparación con las tecnologías tradicionales.<sup>4</sup>

La Agencia Internacional de Energía (EIA por sus siglas en inglés) considera que los procesos de gasificación y bio-refinería de licor negro, técnicas avanzadas de secado de papel, mayor reciclaje de papel y captura y almacenamiento de carbono, jugarán un papel clave en la reducción del consumo de energía y las emisiones de GEI del sector en el futuro.

Las diferentes etapas del proceso y las oportunidades de eficiencia energética se pueden observar en la figura 1.

**Figura 1.** Etapas de proceso y principales oportunidades de eficiencia energética.



<sup>4</sup> European Commission (2010). Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. DG - JRC



En la tabla 3 se resumen los rangos de requerimientos energéticos para los procesos de producción de pulpa química y pulpa mecánica.

**Tabla 3.** Requerimientos de energía en la producción de pulpa y papel.

Proceso	Requerimientos de Vapor (GJ/ton)	Requerimientos de Energía Eléctrica (kWh/ton)
<b>Pulpa Química</b>	Óptimo=10 Medio=16 Alto=22	Óptimo=600 Medio=800 Alto=1.000
<b>Pulpa Mecánica</b>	Óptimo<1 Medio=4 Alto=8	Óptimo=2.500 Medio=2.800 Alto=3.400



## 4. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial

Las siguientes son las principales oportunidades de eficiencia energética en el sector de acuerdo a las diferentes etapas del proceso de producción.

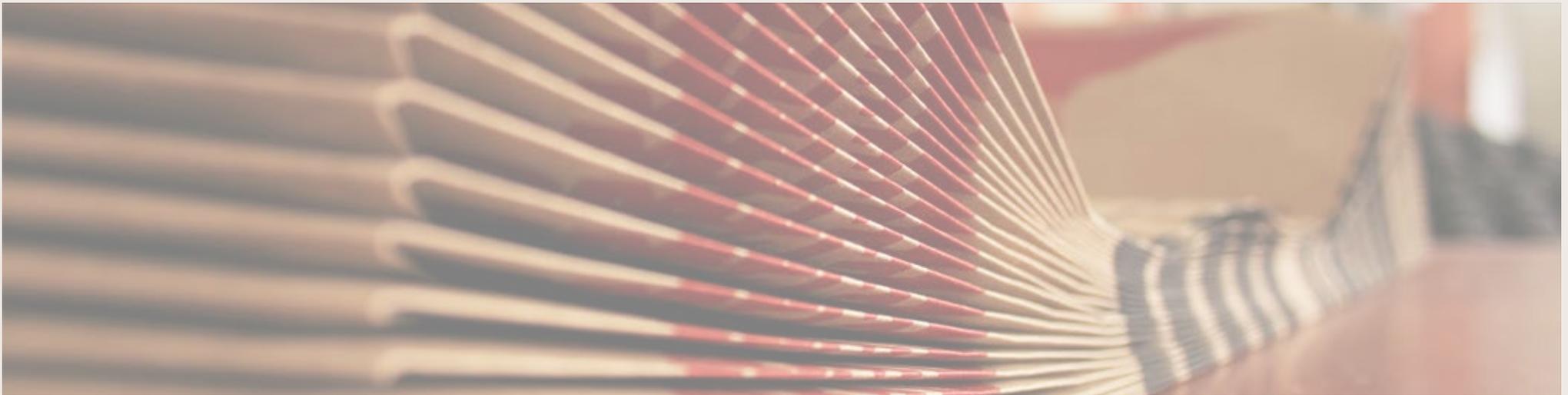
### 4.1. Preparación de la materia prima.

El propósito principal de la preparación de la materia prima es convertir en un tamaño y una forma. Normalmente implica reducción de tamaño, descortezado, astillado y cribado.

Las principales oportunidades de eficiencia energética en esta etapa del proceso son:

- > **Instalación de astilladoras de mayor eficiencia.** Reemplazar las astilladoras de baja eficiencia por una de mayor tamaño de alta eficiencia permite reducir el consumo de energía eléctrica en un 20% pasando de un indicador de consumo de 7-8 kWh/ton de astilla hasta 5-6,5 kWh/ton. La inversión en el nuevo sistema puede llegar a ser de 3 MMUSD dependiendo del tamaño de la planta.<sup>5</sup>
- > **Sustituir el transporte neumático por transporte con bandas.** Esta medida en una planta de 1.000 toneladas por día de capacidad, reduce el consumo de energía eléctrica en 17,2 kWh/ton. El periodo de retorno simple típico de esta inversión es menor a 3 años.

<sup>5</sup> Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry. Pulp and Paper Research Institute of Canada – PAPRICAN



> **Descortezado en seco.** El consumo de energía en el descortezado puede aumentar debido al funcionamiento del tambor de descortezado en el modo de descortezado en seco. Sin embargo, este aumento de energía es totalmente compensado por la cantidad sustancial de ganancia de energía si la corteza se utiliza como combustible auxiliar, debido al menor contenido de agua en la corteza del descortezado en seco. Los costos de inversión típicos de un nuevo sistema de descortezado en seco de la alimentación de troncos a los transportadores son de unos 15 MMUSD para una capacidad de alrededor de 1.300 toneladas por día de pasta kraft. La conversión de un sistema de descortezado húmedo existente a un sistema de descortezado en seco cuesta entre 4 y 6 MMUSD, para el equipo y la instalación. Los costos de operación y mantenimiento están entre 250.000 y 350.000 USD/año. El periodo de retorno simple típico de esta inversión es menor a 5 años.





## 4.2. Pulpeo químico y recuperación química.

Las principales oportunidades de eficiencia energética en este tipo de proceso son:

- > **Uso de digestores continuos.** Con esta tecnología, para la madera de hoja ancha el ahorro de vapor puede ser de 0,40 toneladas de vapor por tonelada de pulpa en comparación con el digestor de batch. Para coníferas, el ahorro de vapor puede llegar a ser de 0,40 toneladas de vapor/tonelada de pulpa. El costo del equipo de digestión es de 32 MMUSD aproximadamente. El costo de construcción se estima en 8 MMUSD aproximadamente. El tiempo de retorno de la inversión puede llegar a ser inferior a 10 años.
- > **Gasificación del licor negro.** Los cálculos teóricos muestran que la tecnología de gasificación integrada con ciclo combinado (IGCC) para el aprovechamiento del licor negro, puede alcanzar un rendimiento eléctrico de aproximadamente 30% calculado sobre el poder calorífico de este residuo. La tecnología IGCC

puede aumentar la producción de energía en unos 900 kWh/ADT, mientras que al mismo tiempo reduce la producción de calor en 4 GJ/ADT. Se estima un ahorro de combustible de 1,6 GJ/ton de pulpa para un ciclo completo de gasificación y ciclo combinado. El costo de inversión en esta tecnología se estima en 320 USD/ton de capacidad de producción de la planta. El tiempo de retorno de la inversión puede llegar a ser inferior a 7 años.

- > **Cogeneración de energía usando residuos.** La industria papelera genera una gran cantidad de residuos de madera y bagazo, además de los lodos que resultan del tratamiento de las aguas residuales. Estos residuos pueden utilizarse en los procesos de cogeneración para la producción de energía eléctrica y producción de vapor para la máquina de papel. Se calcula que el costo de inversión específica en sistemas de cogeneración está entre 1.500 y 2.500 USD/kW, dependiendo del tipo de sistema de control de emisiones que deba instalarse. Los ahorros alcanzables y el tiempo de retorno dependen principalmente del precio de la electricidad y los combustibles del país.

### 4.3. Instalación o Pulpeo mecánico.

Las principales oportunidades de eficiencia energética en el proceso de pulpeo mecánico son las siguientes.

- > **Tecnología RTS.** RTS significa bajo tiempo de retención (R), alta temperatura (T) y alta velocidad de refinación (S). Se estima que el aumento de la velocidad de rotación en los refinadores TMP (Thermo Mechanical Pulping) reduce el uso de energía entre el 15 y el 30%, dependiendo del tipo de placa y del modo refinador. El tiempo de retorno de la inversión puede llegar a ser inferior a 4 años, dependiendo del costo de los energéticos.

Los ahorros se estiman en 306 kWh/ton de pulpa y los costos de implementación se estiman alrededor de 50 USD/ton de pulpa.



- > **Recuperación de calor en proceso TMP.** Se estima que los sistemas de recuperación de calor para las refinerías presurizadas pueden generar entre 1,1 y 1,9 toneladas de vapor a la presión del secador por tonelada de pulpa. Para una planta de 150 ton/día, se logra la recuperación de 695 GJ de energía en forma de vapor y 1175 GJ de energía en forma de agua caliente. Los costos de inversión se estiman en 21 USD/ton de pulpa, con aumentos significativos en los costos de operación y mantenimiento. El tiempo de retorno de la inversión aproximadamente un año.

### 4.4. Blanqueamiento.

El proceso de blanqueo elimina el color de la pulpa (debido a la lignina residual) añadiendo productos químicos a la pulpa en combinaciones variables, dependiendo del uso final del producto. Las principales oportunidades de eficiencia energética son las siguientes:

- > **Recuperación de calor en los efluentes del proceso de blanqueo.** Consiste en la instalación de intercambiadores de calor que permiten el calentamiento de agua para ser usado en el proceso de molienda, de esta forma se reduce el consumo de combustible en calderas. Las inversiones se estiman entre 1,5 y 2 MMUSD y el tiempo de retorno simple es inferior a 1 año.
- > **Uso de calor de desecho para el precalentamiento del dióxido de cloro.** Las soluciones de ClO<sub>2</sub> se refrigeran normalmente para maximizar la concentración antes de su uso en la planta de blanqueo. Sin embargo, el precalentamiento de ClO<sub>2</sub> antes de que entre en el mezclador reduce la demanda de vapor en la planta blanqueadora. El precalentamiento puede realizarse utilizando fuentes de calor de desecho, mediante la instalación de intercambiadores de calor en el circuito de alimentación de ClO<sub>2</sub>.



#### 4.5. Fabricación de papel.

Aproximadamente la mitad del total de vapor, electricidad y combustible utilizado por la industria de la pulpa y el papel se utiliza en la fabricación de papel. En particular, la etapa de secado de la máquina de papel representa la gran mayoría del uso de energía térmica. La mayoría de las oportunidades de ahorro de energía para la fabricación de papel están relacionadas con la mejora de la eficiencia del proceso de secado y la recuperación de su calor residual para su uso en otras etapas del proceso.

> **Recuperación de calor en la máquina de papel.** El ahorro por la instalación de sistemas de recompresión de vapores de baja presión genera ahorros de vapor equivalentes a 5 GJ/ton de papel, pero aumenta el consumo de electricidad en 160 kWh/ton de papel.

> **Reducir los requerimientos de aire.** Mediante la instalación de una campana cerrada y la optimización del sistema de ventilación, se pueden lograr ahorros de energía térmica de 0,76 GJ/ton de papel y un ahorro de electricidad de 6,3 kWh/ton de papel. Los costos de inversión se estiman en 9,5 USD/ton de papel para sistemas de campana cerrada y 0,07 USD/ton de papel para sistemas de ventilación.



## 5. Análisis de riesgos técnicos ambientales y sociales

En la tabla 4 se presentan los principales riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales que deben tenerse en cuenta al realizar inversiones en el sector, así como las acciones para su mitigación.

**Tabla 4.** Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
<b>Aprovechamiento energético de madera residual y lodos papeleros.</b>	<b>Técnico</b>	Asegurarse del cumplimiento de la legislación local relacionada con las emisiones de gases generados por la combustión de estos residuos.
<b>Disposición de residuos generados en los sistemas de aprovechamiento energético de desechos.</b>	<b>Ambiental</b>	Verificar que la disposición de residuos se hace cumpliendo con la normativa local relacionada y que no se generan impactos ambientales negativos sobre las comunidades vecinas y sobre los cuerpos de agua.



**Continuación Tabla 4.** Matriz de riesgos técnicos, ambientales, financieros y sociales.

Riesgo	Tipo	Acción para su mitigación
<p><b>Los químicos utilizados en el blanqueamiento de la pulpa de papel pueden presentar un riesgo para la salud de trabajadores y el medio ambiente si no son adecuadamente manejados.</b></p>	<p><b>Ambiental / Social</b></p>	<p>Verificar que se cuente con los sistemas de filtración adecuados y con el tratamiento oportuno de los gases generados en el proceso.</p>
<p><b>Ahorros en los proyectos de eficiencia energética.</b></p>	<p><b>Técnico / Financiero</b></p>	<p>Asegurar que el diseño del proyecto es correcto, de acuerdo con la demanda de energía eléctrica y térmica del proceso.</p>



## 6. Criterios de elegibilidad

Los criterios de elegibilidad que se recomiendan para aplicar a una línea de financiación de 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 sistema específico o en la planta en general en su totalidad como mínimo en un 10%.



**Reducción del consumo de vapor:** Un proyecto de inversión para reducir el consumo de vapor y de combustible debería reducir el consumo en el proceso específico o en la planta en general cómo mínimo en un 10%.



**Reducción de emisiones de GEI:** Los niveles de reducción de emisiones de GEI que pueden lograr las inversiones en eficiencia energética en el sector de producción de pulpa y papel dependen de la fuente de energía eléctrica que se usa para el proceso y del tipo de combustible que se usa para la producción de vapor en la planta actualmente. En términos generales, una inversión en proyectos de eficiencia energética debería reducir las emisiones de GEI del proceso en al menos un 10%.



**Periodo de retorno simple de la inversión:** Las inversiones en EE en el sector son principalmente en bienes de capital, con lo cual, el tiempo de retorno simple del proyecto no debería ser mayor a 5 años (10 años para digestores continuos) 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 sea elegible, se debe cumplir el criterio de reducción de consumo de energía eléctrica y/o consumo de combustibles, el criterio de reducción de emisiones de GEI y el criterio de periodo de retorno de la inversión de manera simultanea.





## 7. Monitoreo, reporte y verificación del proyecto

El sector de la producción de pulpa y papel puede medir su intensidad energética y su intensidad de carbono por medio de dos indicadores básicos que se presentan en la tabla 5, y que deben ser medidos antes y después de la implementación de los proyectos de inversión en eficiencia energética.

**Tabla 5.** Indicadores de monitoreo de eficiencia energética en el sector de pulpa y papel.

Indicador	Unidad	Valor Exante	Valor Expost
Energía eléctrica.	kWh/ton		
Energía térmica.	GJ/ton		
Emisiones GEI.	Kg CO <sub>2</sub> /ton		

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 6 por 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 6.** Indicadores para verificar de mejora eficiencia energética en el sector de pulpa y papel.

Indicador	Unidad
Reducción del consumo de energía eléctrica.	kWh/año
Reducción del consumo de energía térmica.	GJ/año
Reducción de emisiones de GEI.	KgCO <sub>2</sub> /año



## 8. Otros beneficios de la EE para empresas del sector

El sector de producción de pulpa y papel presenta importantes oportunidades frente a las inversiones en eficiencia energética y el uso de energías renovables que generan otros beneficios para el sector entre los que se destacan:

- Aprovechamiento de los residuos del proceso de producción de pulpa y papel para la producción de energía de manera renovable, generando excedentes de energía que pueden ser vendidos a la red eléctrica del país.
- La certificación en estándares internacionales como ISO (Calidad ISO 9001, Medio ambiente ISO 14001) de los procesos industriales, y certificaciones del producto mediante sellos que tienen en cuenta los impactos en el ciclo de vida del producto.
- Reducción de la huella hídrica como una opción prioritaria en el proceso de mejora, dado que los procesos de producción de pulpa y papel son intensivos en el consumo de agua.
- Venta de productos de papel con bajo contenido de carbono que puedan ser certificados mediante sellos internacionales como Carbon Trust u otros similares.
- Producción de papel basada en materias primas alternativas como el bagazo de caña u otras fibras que tienen alto valor agregado ambientalmente, dada la preocupación de las empresas y las personas por el uso del papel en diferentes aplicaciones de impresión, empaque y elementos desechables.



## 9. Caso de estudio

Una planta de producción de pulpa y papel tiene planeado la instalación de una nueva caldera y un sistema de cogeneración de energía con capacidad de 8 MWe de energía, que actualmente compra de la red eléctrica. Como combustible planea usar residuos de bagazo de caña y lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, todos ellos provenientes de biomásas con lo cual las emisiones de su combustión son neutras.

La generación anual prevista del sistema de cogeneración es de 56.000 MWh/año y el vapor que se planea enviar al proceso de producción de papel es de 445.000 Ton/año. El precio actual de la energía eléctrica es de 0,1 USD/kWh y la inversión en el sistema completo se estima en 15 MMUSD. El factor de emisión de la electricidad tomada de la red eléctrica es de 0,35 Ton CO<sub>2</sub> /MWh consumido, y el consumo total de energía eléctrica de la planta es de 235.000 MWh/año. La producción de papel es de 15.000 Ton/año. Actualmente se emiten 122.500 Ton CO<sub>2</sub> /año en toda la planta de producción de pulpa y papel.





El valor ex ante del consumo de energía de la red de 2.800 kWh/ton resulta de dividir el consumo de energía eléctrica actual entre las toneladas de producción de papel. Este mismo cálculo se realiza para calcular las emisiones totales generadas por consumir energía de la red (19.600 Ton CO<sub>2</sub>/año) sobre la producción total de papel. La diferencia se calcula multiplicando el valor ex ante por la reducción de energía y emisiones respectiva. En la tabla 7 se presentan los indicadores que se proponen para el caso de estudio.

**Tabla 7.** Indicadores de monitoreo caso de estudio.

Indicador	Unidad	Valor Ex ante	Valor Expost	Diferencia
<b>Energía eléctrica consumida de la red.</b>	kWh/ton	2.800	0	2.800
<b>Emisiones GEI por energía consumida de la red.</b>	Kg CO <sub>2</sub> /Ton	980	0	980



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 8.** Indicadores de mejora caso del estudio.

Indicador	Unidad	Valor
<b>Reducción del consumo de energía eléctrica.</b>	KWh/año	$2.800 \times 15.000$ =56.000.000
<b>Reducción de emisiones de GEI.</b>	Kg CO <sub>2</sub> /año	$980 \times 15.000$ =19.600.000

De acuerdo con lo anterior, el sistema de cogeneración permite una reducción del consumo de energía de la red equivalente al 23,83% del consumo total de energía eléctrica de la planta y una reducción de costos de 5,6 MMUSD/año por dejar de comprar energía eléctrica de la red. El retorno simple de la inversión se da en 2,7 años.

### Criterios de elegibilidad

Con base en los criterios de elegibilidad definidos para los proyectos a ser financiados por líneas verdes, se concluye que el proyecto es elegible teniendo en cuenta que:



Reduce el consumo de energía eléctrica de la red en un 23,83%.



Reduce las emisiones de GEI de toda la planta en 16% .



El periodo de retorno de la inversión es inferior a 5 años.

A close-up photograph of a large, dark, curved roller in a paper mill, with a sheet of paper being processed between it and another roller. The lighting is dramatic, highlighting the texture of the paper and the metallic surface of the roller.

# Referencias

- Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board – Draft.  
[http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP\\_BREF\\_FD\\_07\\_2013.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/PP_BREF_FD_07_2013.pdf)
- Breakthrough Technologies for Pulp and Paper Industry - Final Report from CEPI's Two Team Project.  
[http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/innovation/2013/finaltwoteamprojectreport\\_website.pdf](http://www.cepi.org/system/files/public/documents/publications/innovation/2013/finaltwoteamprojectreport_website.pdf)
- Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pulp and Paper Industry.  
[https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp\\_and\\_Paper\\_Energy\\_Guide.pdf](https://www.energystar.gov/ia/business/industry/downloads/Pulp_and_Paper_Energy_Guide.pdf)
- Emerging Energy-Efficiency and Greenhouse Gas Mitigation Technologies for the Pulp and Paper Industry.  
[https://china.lbl.gov/sites/all/files/Pulp\\_and\\_paper\\_emerging\\_tech.pdf](https://china.lbl.gov/sites/all/files/Pulp_and_paper_emerging_tech.pdf)
- Enerdata & Economist Intelligence Unit (2011). Trends in global energy efficiency 2011 - An analysis of industry and utilities.
- Energy Cost Reduction in the Pulp and Paper Industry. An Energy Benchmark Perspective. Pulp and Paper Research Institute of Canada. (PAPRICAN).



- European Commission (2010). Draft Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry. DG - JRC.
- International Energy Agency (2009). Energy Technology Transitions for Industry.
- International Energy Agency (2007). Tracking Industrial Energy Efficiency and CO<sub>2</sub> Emissions.
- International Energy Agency (2008). Energy Technology Perspectives - Scenarios and Strategies to 2050.
- National Best Practices Manual for Pulp & Paper Industry. Prepared by the Indian Confederation of Industry, this manual provides information on the best practices applicable to Indian Pulp and Paper Industry.

# 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

---