



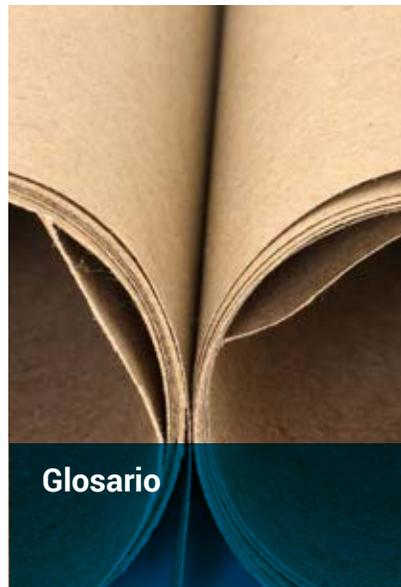
# Manual para la Evaluación de Proyectos de Eficiencia Energética en el Sector de Pulpa y Papel

---

**Dirigido a**  
Instituciones Financieras

---

**CAF** BANCO DE DESARROLLO  
DE AMÉRICA LATINA





# 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, el kilovatio-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.

# 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 es aplicable al sector de Pulpa y papel.



## 2. Aplicabilidad del manual

El manual de eficiencia energética para el sector de pulpa y papel para 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. Descripción del sector transporte

De acuerdo con las estadísticas de la FAO, en las dos últimas décadas el sector de pulpa y papel se desarrolló rápidamente en América Latina y el Caribe, principalmente en los países del Cono Sur. La producción de pasta en la región aumentó prácticamente tres veces, pasando de 4,8 millones en 1980 a 13,3 millones en 2003, es decir un crecimiento de 4,6% al año. La producción de papel y cartón también creció significativamente, de 7,7 millones de toneladas en 1980 a 16,4 millones de toneladas en 2003, una tasa de crecimiento del 3,3% al año.

Los principales productores de pasta y papel en América Latina y el Caribe están ubicados en el Brasil, Chile, la Argentina, México y Colombia. En años recientes, Uruguay ha sido foco de atención para la realización de inversiones en este sector; mientras que Brasil y Chile continúan siendo los líderes regionales en la producción y exportación de pulpa y papel, con una importancia mundial cada vez mayor en algunos productos específicos. Brasil se destaca

principalmente en la producción y exportación de pulpa de fibra corta de eucalipto y Chile en la producción de pulpa de fibra larga de pino.





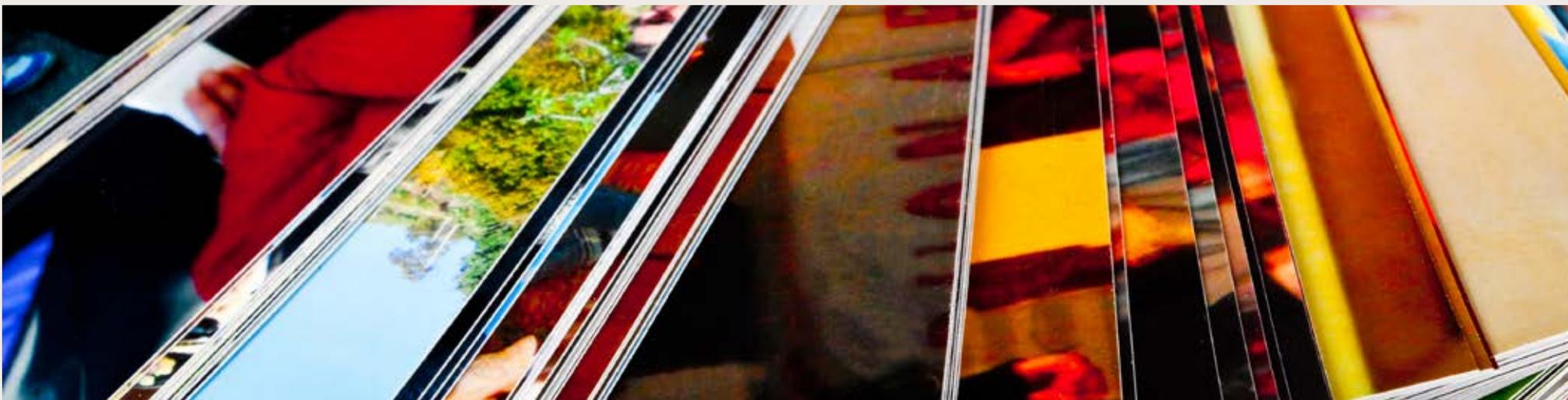
La industria del papel y el cartón está representada por alrededor de 400 unidades productoras, agrupadas en 125 empresas. De ellas, 10 empresas producen cerca del 50% de la producción regional, entre ellas están Klabin, Kimberly Clark, Jefferson Smurfit, Papeles Mexicanos, Suzano, CMPC, Votorantim, IP-Brazil, Ripasa y Pipsa.

En 1980 el consumo regional de pulpa fue de aproximadamente 4,2 millones de toneladas y el consumo de papel y cartón cerca de 9,73 millones de toneladas. En 2003 el consumo de pasta en la región se ha duplicado, alcanzando 9,8 millones de toneladas, el equivalente a un crecimiento del 133,3% en el período, o cerca de un 3,7% anual. El consumo de papel y cartón para el 2003 alcanzó aproximadamente 20,5 millones de toneladas, representando un crecimiento superior a un 100% en el período o 3,3% al año.

En ese período se observó principalmente el crecimiento de la demanda por pulpa y por papeles de fibra corta, en gran parte producida a partir de madera de eucalipto. Los mayores países consumidores de papeles en la región han sido Brasil, México, Argentina y Colombia.

Es importante observar las altas tasas de reciclaje de papel en América Latina y el Caribe, estimadas en alrededor de un 40%. Estas tasas de reciclaje varían significativamente de acuerdo con los países; pero tienden a aumentar para la región en general.

Las exportaciones de pulpa y papel de América Latina y el Caribe han presentado un incremento considerable entre 1980 y 2003. La exportación de pulpa de madera pasó de 1,3 millones de toneladas en 1980 a 5 millones de toneladas en 2003, experimentando una tasa de crecimiento anual del 6%. Esta tasa para las exportaciones de papel y cartón en la región también fue alta (6,3% anual). En 1980 se exportaron solamente 395 mil toneladas y en 2003 las cantidades alcanzaron 1,6 millones de toneladas.



## 4. 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.

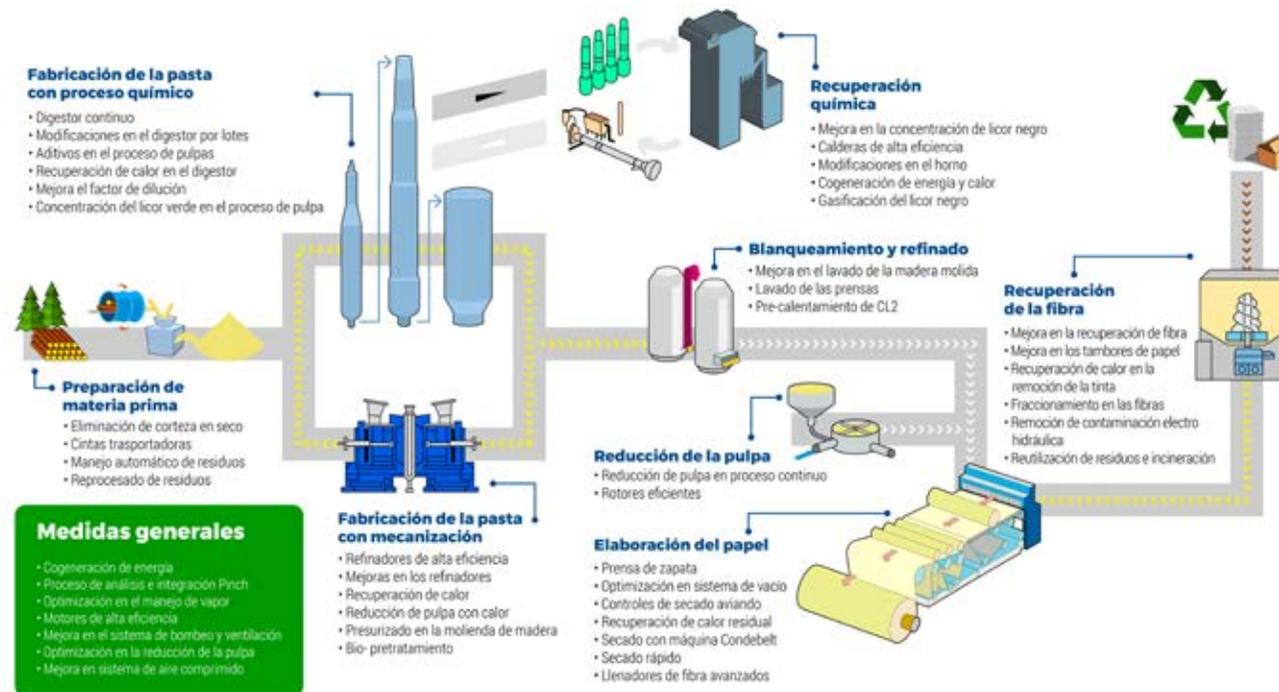
<sup>3</sup> International Energy Agency (2009). *Energy Technology Transitions for Industry*

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>

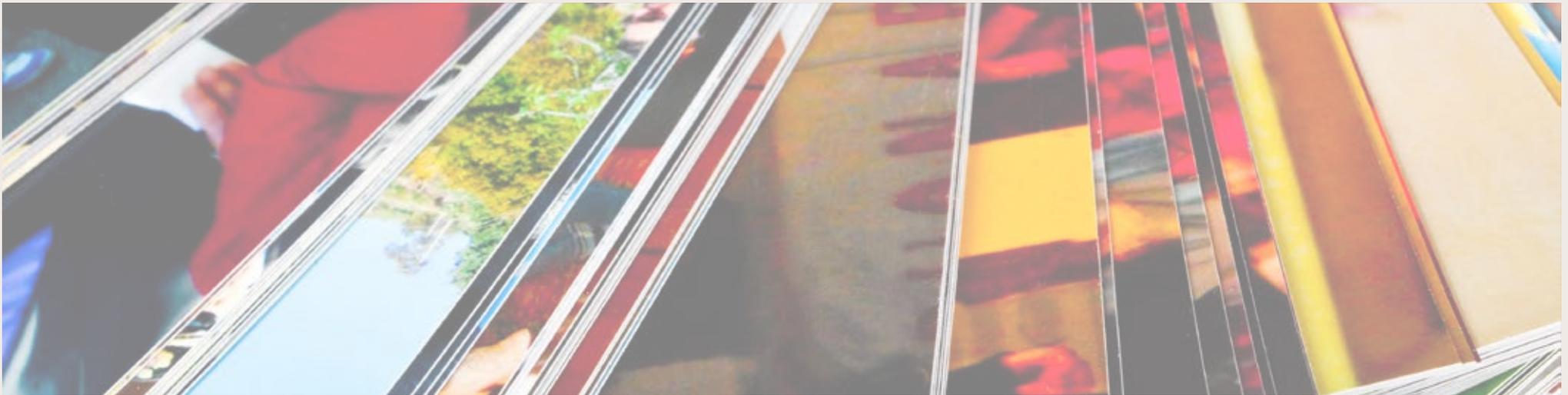
La Agencia Internacional de Energía (EIA por sus siglas en inglés) considera que los procesos de gasificación y bio-refinería de licor negro, técnicas avanzadas de secado de papel, mayor reciclaje de papel y captura y almacenamiento de carbono, jugarán un papel clave en la reducción del consumo de energía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



Para determinar el **potencial de eficiencia energética** en una planta de pulpa y papel, determine el consumo de combustibles y energía eléctrica por tonelada de producto y **comparelos con los indicadores que se presentan en la tabla 3.**



## 5. Proyectos de eficiencia energética con mayor potencial

En la tabla 4 se presentan los proyectos de EE que se encuentran comúnmente en el sector de pulpa y papel en cuanto a la reducción de consumo energético, se presenta el tipo de proyecto, el potencial de ahorro energético si se realiza el cambio tecnológico, el periodo de retorno simple estimado (el cual puede variar según el precio de la energía en los diferentes países) y el nivel de inversión aproximado en USD.

**Tabla 4.** Oportunidades de reducción del consumo de energía y beneficios ambientales para el sector.

Tipo de proyecto	Ahorro energético potencial	Periodo de retorno simple	Nivel de inversión por proyecto
<b>Preparación de materias primas</b>			
<b>Instalación de astilladoras de mayor eficiencia</b>	20 %, Desde 7 a 8 kWh/ton de astilla hasta 5 a 6,5 Kwh/ton	3 a 5 años	3 millones de USD dependiendo del tamaño de la planta
<b>Sustituir el transporte neumático por transporte con bandas</b>	Reducción de 17,2 kWh/ton.	Menor a 3 años	100.000 USD por cada 1.000 toneladas de capacidad, varía según el tamaño de la planta.

**Continuación Tabla 4.** Oportunidades de reducción del consumo de energía y beneficios ambientales para el sector.

Tipo de proyecto	Ahorro energético potencial	Periodo de retorno simple	Nivel de inversión por proyecto
<b>Preparación de materias primas</b>			
<b>Descortezado en seco</b>	10% de la energía térmica	Menor a 5 años	<p>15 MMUSD para una capacidad de alrededor de 1.300 toneladas por día de pasta Kraft.</p> <p>La conversión de un sistema de descortezado húmedo existente a un sistema de descortezado en seco cuesta entre 4 y 6 millones de dólares.</p> <p>Los costos de operación y mantenimiento están entre 250.000 y 350.000 USD por año.</p>
<b>Pulpeo químico y recuperación química</b>			
<b>Uso de digestores continuos</b>	Para la madera de hoja ancha el ahorro de vapor puede ser de 0,40 ton de vapor/ton de pulpa en comparación con el digestor de batch. Para coníferas, el ahorro de vapor puede llegar a ser 0,40 ton de vapor/ton de pulpa	El tiempo de retorno de la inversión puede llegar a ser inferior a 10 años.	El costo del equipo de digestión es de 32 MMUSD aproximadamente. El costo de construcción se estima en 8 MMUSD aproximadamente.
<b>Gasificación del licor negro</b>	Se estima un ahorro de combustible de 1,6 GJ/ton de pulpa para un ciclo completo de gasificación y ciclo combinado.	Menor a 7 años.	El costo de inversión en esta tecnología se estima en 320 USD/ton de capacidad de producción de la planta.

**Continuación Tabla 4.** Oportunidades de reducción del consumo de energía y beneficios ambientales para el sector.

Tipo de proyecto	Ahorro energético potencial	Periodo de retorno simple	Nivel de inversión por proyecto
<b>Cogeneración de energía usando residuos</b>	Hasta el 30%.	Los ahorros alcanzables y el tiempo de retorno dependen principalmente del precio de la electricidad y los combustibles del país.	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.
<b>Pulpeo mecánico</b>			
<b>Tecnología RTS. RTS significa bajo tiempo de retención (R), alta temperatura (T) y alta velocidad de refinación (S)</b>	Se estima que se reduce uso de energía entre el 15 y el 30%. Los ahorros se estiman en 306 kWh/ton de pulpa	Menor a 4 años, dependiendo del costo de los energéticos	Los costos de implementación se estiman alrededor de 50 USD/ton de pulpa.
<b>Recuperación de calor en proceso TMP</b>	Para una planta de 150 toneladas por día, se logra la recuperación de 695 GJ de energía en forma de vapor y 1175 GJ de energía en forma de agua caliente.	El tiempo de retorno de la inversión es generalmente de alrededor de un año.	Los costos de inversión se estiman en USD 21/ton de pulpa, con aumentos significativos en los costos de operación y mantenimiento.
<b>Blanqueamiento</b>			
<b>Recuperación de calor en los efluentes del proceso de blanqueo</b>	Cerca del 50%	El tiempo de retorno simple es inferior a 1 año.	Las inversiones se estiman entre 1,5 y 2 millones de USD
<b>Fabricación de papel</b>			
<b>Recuperación de calor en la máquina de papel</b>	El ahorro por presenta ahorros de vapor equivalentes a 5 GJ/ton de papel, pero aumenta el consumo de electricidad de 160 kWh/ton de papel.	El tiempo de retorno simple es inferior a 5 años.	Las inversiones se estiman entre 3 y 5 millones de USD, dependiendo de la capacidad de producción de la planta.
<b>Reducir los requerimientos de aire mediante la instalación de una campana cerrada y la optimización del sistema de ventilación</b>	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.	El tiempo de retorno simple está entre 3 y 5 años.	Los costos de inversión se estiman en 9,5 USD/ton de papel para sistemas de campana cerrada y USD 0,07/ton de papel para sistemas de ventilación.



## 6. Análisis de riesgos técnicos ambientales y sociales

En la tabla 5 se presentan los principales riesgos técnicos, ambientales y sociales que deben tenerse en cuenta al realizar inversiones en el sector, así como las acciones para su mitigación.

**Tabla 5.** 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 5.** 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>



## 7. Criterios de elegibilidad

En el sector de pulpa y papel existe un amplio potencial para realizar inversiones en EE. Los criterios de elegibilidad que se recomiendan para aprobar la financiación de los proyectos por parte de las IF's 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 como 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 o energía renovable 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 simultánea.





## 8. 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 6, y que deben ser medidos antes y después de la implementación de los proyectos de inversión en eficiencia energética.

**Tabla 6.** 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 7 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 7.** 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



## 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 8 se presentan los indicadores que se proponen para el caso de estudio.

**Tabla 8.** 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 9.** Indicadores de mejora caso del estudio.

Indicador	Unidad	Valor
<b>Reducción del consumo de energía eléctrica.</b>	KWh/año	2.800*15.000 =56.000.000
<b>Reducción de emisiones de GEI.</b>	Kg CO2/año	980 * 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. The word "Referencias" is overlaid in large white text on the left side of the image.

# 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.  
[http://china.lbl.gov/sites/all/files/Pulp\\_and\\_paper\\_emerging\\_tech.pdf](http://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

---