



Centro Nacional de  
Producción Más Limpia

# Manual de Introducción a la Producción Más Limpia en la Industria



ICOTEC  
INSTITUTO COLOMBIANO DE  
NORMAS TÉCNICAS Y  
CERTIFICACIÓN  
CERTIFICADO DE GESTIÓN  
DE LA CALIDAD  
CORTEC 22 1982-4  
Instituto de servicios de  
asistencia técnica,  
capacitación, publicaciones y  
gestión de proyectos  
ambientales  
ISO 9001:2008

# TABLA DE CONTENIDO

1.	Objetivos y Alcance del Manual.....	4
2.	Público Objetivo.....	5
3.	La Producción Más Limpia –Conceptos y Estrategias.....	6
3.1	Contexto y definición de Producción más limpia.....	6
3.1.1	El Contexto de la Producción más limpia.....	6
3.1.2	Definición de Producción Más Limpia .....	7
4.	Evaluación de la Producción Más Limpia en una empresa.....	8
4.1	¿Por qué aplicar Producción Más Limpia?.....	8
4.2	Barreras para la implementación de la Producción Más Limpia.....	9
4.3	Descripción de una evaluación de Producción Más Limpia en una empresa.....	11
4.3.1	Secuencia de tiempo para el establecimiento de PML .....	12
4.4	Fase inicial.....	13
4.4.1	Reconocimiento de la empresa .....	13
4.4.2	Motivar la Producción Más Limpia .....	14
4.4.3	Compromiso de la Gerencia .....	15
4.4.4	Designación del equipo de PML.....	15
4.5	Pre Factibilidad.....	16
4.5.1	Entrenamiento en PML y primer reconocimiento de la empresa .....	16
4.5.2	Descripción del proceso.....	16
4.5.3	Estimación del potencial de PML .....	17
5.	Evaluación.....	8
5.1	¿Qué es un proceso?.....	18
5.1.1	Componentes de un proceso .....	19
5.2	Análisis de entradas y salidas.....	21
5.2.1	Análisis del flujo de materiales.....	21
5.2.2	Análisis de flujo de energía.....	24
5.3	Evaluación de las opciones de Producción Más Limpia identificadas.....	29
5.4	Herramientas para el análisis financiero.....	32
5.4.1	Tiempo de retorno .....	32
5.4.2	Retorno sobre la inversión (RI).....	34
5.4.3	Valor Presente Neto (VPN) .....	35
5.4.4	Tasa Interna de Retorno (TIR) .....	37

# TABLA DE CONTENIDO

6.	Implementación.....	38
6.1	Implementación de buenas practicas/opciones de bajo costo .....	38
6.2	Implementación de opciones a mediano y largo plazo.....	38
6.2.1	Diseño y construcción .....	39
6.3	Monitoreo y evaluación de resultados.....	39
6.4	Mejoramiento continuo.....	40
7.	Conceptos generales relacionados con Producción Más Limpia.....	41
7.1	Convención de Basilea - Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos.....	41
7.1	Convención de Basilea - Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos.....	42
7.2	Convención de cambio climático - Protocolo de Kyoto...	42
7.3	Protocolo de Montreal - Deterioro de la capa de ozono...	43
7.4	Convención de Estocolmo - Contaminantes Orgánicos Persistentes.....	44

# 1. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL MANUAL

El presente manual brinda una introducción a la Producción Más Limpia y sus temas relacionados. El objetivo general de las medidas de Producción Más Limpia tiene dos enfoques: Por un lado, la PML (Producción Más Limpia) es una estrategia para mejorar la eco-eficiencia de los procesos en empresas mediante la optimización de los flujos de materiales y de energía. Al mismo tiempo, el conocimiento de los procesos al nivel de la empresa debe llevar a asegurar un patrón sostenible de producción eco-eficiente.

Este manual se constituye entonces en un instrumento práctico para generar conocimiento sobre el concepto de “Producción más limpia”. Su propósito está basado en alcanzar los siguientes objetivos:

- ✓ Entender el concepto básico de Producción Más Limpia, enfocado principalmente en la prevención.
- ✓ Familiarizarse con las ventajas de la Producción más limpia, no solo a nivel ambiental, sino también a nivel económico.
- ✓ Conocer como empezar un programa de Producción más limpia orientado al conocimiento de procesos en una empresa.
- ✓ Conocer el procedimiento para la evaluación en planta en una empresa.
- ✓ Estar capacitado para formular diferentes opciones de Producción más limpia para mejorar la eco-eficiencia de una empresa.
- ✓ Conocer las estrategias, conceptos, herramientas y estándares relacionados con la Producción más limpia, así como los convenios internacionales y sus relaciones con la PML.

## 2. PÚBLICO OBJETIVO

El presente manual está orientado principalmente a industrias que mediante su actividad causan efectos sobre el ambiente, y tienen consumos significativos de recursos naturales y energía. Al interior de estas empresas, el manual está dirigido a personas clave de la alta gerencia, en particular aquellas encargadas del área ambiental, calidad, o seguridad industrial.

Este manual también es un instrumento práctico para el entrenamiento y capacitación del público en general, así como de las autoridades encargadas del desarrollo industrial y la protección del medio ambiente.

De la misma manera, este manual puede servir a otras entidades como centros de Producción más limpia y organizaciones tanto nacionales como internacionales, asociaciones comerciales, instituciones financieras (bancos u otras instituciones que apoyen las inversiones en PML), universidades y escuelas técnicas, u ONG's que trabajen en el campo ambiental.

# 3. LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA -CONCEPTOS Y ESTRATEGÍAS-

## 3.1 Contexto y definición de Producción más limpia

### 3.1.1 El Contexto de la Producción más limpia

La Producción más limpia es una estrategia para producir eco-eficientemente que generalmente encamina a las empresas por un camino necesario pero no suficiente hacia una economía sostenible, como se muestra en la **Figura 1:**

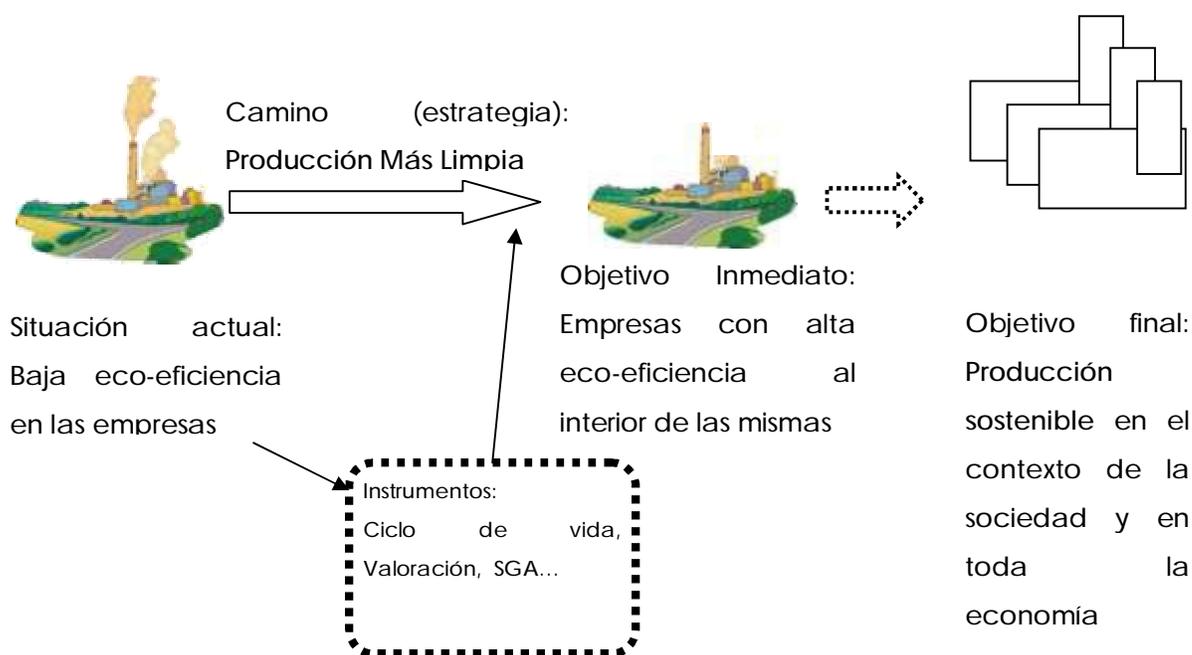


Figura 1. Producción Más Limpia y su contexto

El desarrollo sostenible es el estado ideal del desarrollo. Existe controversia sobre el hecho de que una sola empresa pueda ser sostenible<sup>1</sup>. Sin embargo, podemos establecer que la contribución individual de las empresas a una sociedad sostenible puede ser de gran importancia. La eco-eficiencia es una meta a alcanzar (estado medible) y la Producción más limpia es el camino para llegar a ella. Instrumentos como el Análisis del Ciclo de Vida o la Administración Ambiental apoyan las estrategias de la Producción más limpia.

### 3.1.2 Definición de Producción Más Limpia

El concepto de Producción Más Limpia ha alcanzado reconocimiento a nivel mundial como una estrategia preventiva para la protección del medio ambiente en las empresas. De acuerdo con el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA), la Producción Más Limpia (PML) es la aplicación continua a los procesos, productos, y servicios, de una estrategia integrada y preventiva, con el fin de incrementar la eficiencia en todos los campos, y reducir los riesgos sobre los seres humanos y el medio ambiente.

La Producción Más Limpia puede ser aplicada a procesos usados en cualquier industria, a los productos y los servicios<sup>2</sup>:

- ✓ En los procesos de producción: La PML incluye la conservación de la materia prima y la energía, la eliminación de materias primas tóxicas, y la reducción en cantidad y toxicidad de las emisiones y desperdicios antes de su salida del proceso.
- ✓ En los productos: La estrategia se enfoca en la reducción de los impactos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto,

---

<sup>1</sup> Interdepartementaler Ausschuss Rio (IDARio), Suiza, 1997

<sup>2</sup> Programa Ambiental de las Naciones Unidas (PNUMA). <http://www.unep.org/>

*Producción Más Limpia (PML) es la aplicación continua a los procesos, productos, y servicios, de una estrategia integrada y preventiva.*



desde la extracción de la materia prima hasta la disposición final de los productos.

- ✓ En los servicios: La Producción más limpia reduce el impacto ambiental del servicio durante todo el ciclo de vida, desde el diseño y uso de sistemas, hasta el consumo total de los recursos requeridos para la prestación del servicio.

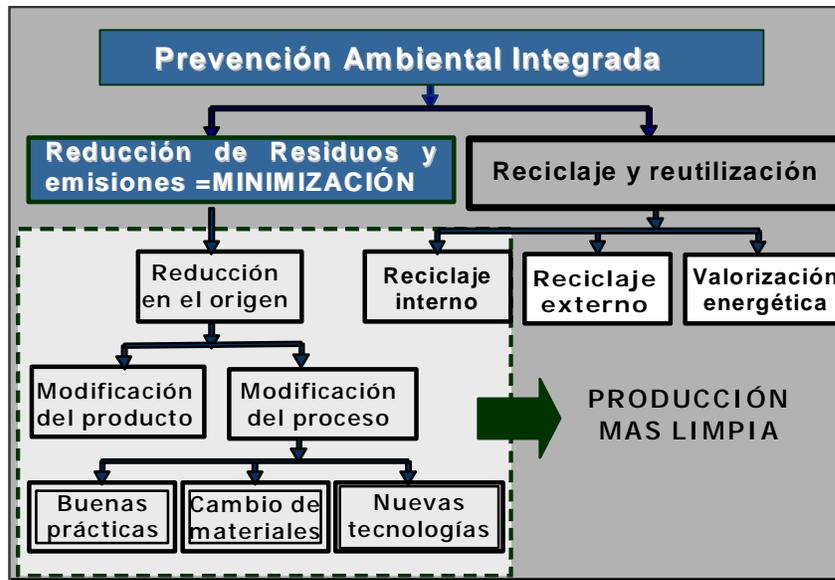
## 4. EVALUACIÓN DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA EN UNA EMPRESA

### 4.1 ¿Por qué aplicar Producción Más Limpia?

La Producción Más Limpia lleva al ahorro de costos y a mejorar la eficiencia de las operaciones, habilita a las organizaciones y a las empresas para alcanzar sus metas económicas mientras simultáneamente mejoran el ambiente.

En general, los beneficios derivados de la PML incluyen, entre otros:

- ✓ Optimización del proceso y ahorro de costos mediante la reducción y el uso eficiente de materias primas e insumos en general.
- ✓ Mejoramiento de la eficiencia operativa de la planta.
- ✓ Mejoramiento de la calidad de los productos y consistencia porque la operación de la planta es controlada y por ende más predecible.
- ✓ La recuperación de algunos materiales de los subproductos.
- ✓ Reducción de residuos y, por ende, reducción de costos asociados a su correcta disposición
- ✓ Menores primas de seguros.
- ✓ Mejoramiento de la imagen de la empresa ante clientes, proveedores, socios, comunidad, entidades financieras, etc.



Fuente: Centro de Iniciativas para la Producción Neta de Cataluña.

Figura 2 Estrategias de PML

Resumiendo lo anterior, la figura x muestra un recuento general de las estrategias que se deben aplicar cuando se implementa un proceso de Producción Más Limpia dentro de la empresa. Es decir, la PML además de pensar en “qué hacer con los residuos”, piensa en “qué hacer para no generarlos”.

#### 4.2 Barreras para la implementación de la Producción Más Limpia.

La literatura general justifica la lentitud de la reconversión empresarial hacia una mejor gestión ambiental en los países en desarrollo, principalmente por la resistencia al cambio como un problema cultural y por la dificultad de acceso a la información y a financiación. Igualmente el enfoque hacia mercados locales reduce las exigencias ambientales que pueden presentarse en las exportaciones hacia mercados globales.

Sin embargo, debido a la irrupción del e-commerce en los negocios del mundo, lo que significa cambio profundos en la forma de producir y vender, y aunque los países en desarrollo han sido algo más lentos, no se necesitan grandes esfuerzos de convicción para que las empresas grandes y pequeñas busquen oportunidades de negocios en ese nuevo entorno.

La Producción Más Limpia (PML) lleva al ahorro de costos y a mejorar la eficiencia de las operaciones.

De hecho, aunque la conciencia de la problemática ambiental ha crecido mucho en los últimos años, estudios de las naciones unidas indican que menos del 20% de las empresas norteamericanas y europeas están a la vanguardia de los avances en ecoeficiencia y producción limpia.<sup>3</sup>

*Tabla 1 Razones por las cuales no se adopta Producción Más Limpia en los Estados Unidos*

PORCENTAJE		
Porcentaje Políticas (60%)	Resistencia burocrática	20
	Tendencia humana conservadora	10
	Legislación sin coordinar	10
	Sensacionalismo de los medios de comunicación	10
	Ignorancia del público / falta de información	10
Financieras (30%)	Subsidios para la disposición	10
	Escasez de fondos	10
	Arraigo en la industria de los desechos	10
Técnicas (10%)	Falta de información confiable centralizada	5
	Falta de apoyo al aplicar la minimización de desechos a las necesidades individuales	5
Total		100

Fuente: UNEP.

La estrategia de la PML, orientada a la prevención, involucra la modificación de los procesos de producción, la tecnología, las prácticas operacionales o de mantenimiento y resultados de acuerdo con las necesidades de los consumidores en cuanto a productos y servicios más compatibles ambientalmente.<sup>4</sup>

Es importante anotar que la Producción Más Limpia *no siempre requiere la aplicación de nuevas tecnologías y equipos,*

<sup>3</sup> Tomado de Producción Más Limpia en Colombia: Conceptos sobre motivaciones y obstáculos para su implementación en Colombia. CNPMLTA - CECODES

<sup>4</sup> Fuente UNIDO/UNEP

generalmente su punto de apoyo comienza simplemente con buenas prácticas de operación. Las técnicas más comúnmente utilizadas dentro del marco de la Producción Más Limpia:

- ✓ *Buenos procedimientos de operación*
- ✓ *Sustitución de materiales*
- ✓ *Cambios tecnológicos*
- ✓ *Reciclaje interno*
- ✓ *Rediseño de productos*

#### *4.3 Descripción de una evaluación de Producción Más Limpia en una empresa*

Este capítulo debe servir como apoyo para poner en práctica las estrategias y para desarrollar respectivamente un proyecto exitoso de Producción Más Limpia en una empresa.

En general, un proyecto de Producción Más Limpia puede resumirse en varias fases, desde que se toma la decisión de implementación hasta que se llega al punto de monitorear y evaluar las implementaciones de mejoras. Las fases típicas se citan a continuación:

##### *a) Fase I: Fase Inicial:*

En esta primera fase se dan los primeros acercamientos a la PML, es muy importante asegurar el compromiso de la gerencia de tal forma que el programa tenga un soporte a todo nivel al interior de la organización.

##### *b) Fase II: Estudio de Metodologías y Análisis de Prefactibilidad:*

Es importante crear un equipo para el desarrollo de proyectos de este tipo. El equipo ha obtenido conocimiento suficiente sobre la metodología de PML para de esta forma, realizar una revisión rápida de estimación del potencial de PML de la empresa (análisis cualitativo).

##### *c) Fase III: Evaluación:*

Se elabora un análisis detallado (cuantitativo) del proceso de producción. En base al resultado obtenido, se identifican las

**TÉCNICAS  
UTILIZADAS EN  
LA PML:**

- + *Buenos procedimientos de operación.*
- + *Sustitución de materiales.*
- + *Cambios tecnológicos.*
- + *Reciclaje interno.*
- + *Rediseño de productos.*



opciones de optimización y se evalúan de acuerdo a factores económicos, ecológicos, técnicos y organizacionales.

*d) Fase IV: Implementación:*

Se implementan las opciones seleccionadas y se calculan los ahorros resultantes (comparación actual vs. Estado objetivo).

El proceso de establecimiento de Producción Más Limpia no es un procedimiento único y/o individual. Una vez que se han llevado a cabo las cuatro fases de establecimiento, y se han monitoreado y evaluado los resultados, debe mantenerse una retroalimentación para mejorar las innovaciones introducidas y sugerir nuevas áreas para aplicación de los conceptos de PML. Obviamente, los detalles deben adaptarse siempre a la situación actual y tamaño de la empresa.

4.3.1 Secuencia de tiempo para el establecimiento de PML

Aunque no es una regla general, el procedimiento, desde la decisión inicial de la empresa de involucrarse en Producción Más Limpia hasta la implementación de buenas prácticas/opciones de bajo costo y la preparación de las primeras propuestas de inversión, corresponden a un periodo de aproximadamente 16 a 18 meses. El tiempo necesario para la implementación de las tecnologías ambientales depende de las soluciones individuales de cada empresa. En la Figura 3 se muestra un resumen grafico del proceso.

*El antes y después de la implementación de PML*

*Antes*



*Después*



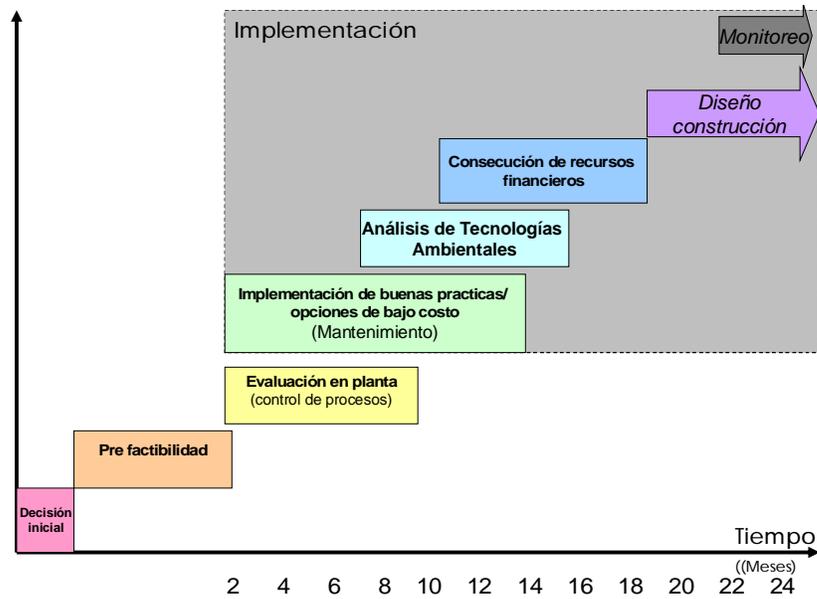


Figura 3. Secuencia temporal de establecimiento de proyectos de PML

A continuación se presentará una descripción detallada de cada fase del proyecto de PML.

**FASES DE LA PML:**

+ Fase I: Fase Inicial

+ Fase II: Estudio de Metodologías y Análisis de Prefactibilidad

+ Fase III: Evaluación

+ Fase IV: Implementación

#### 4.4 Fase inicial

El objetivo de esta etapa es identificar y tener un acercamiento cualitativo a los potenciales de Producción Más Limpia que puede tener la organización y convencer a la gerencia de la utilidad y necesidad de la PML, también en esta etapa debe seleccionarse un equipo para encargarse del establecimiento del proyecto de PML.

##### 4.4.1 Reconocimiento de la empresa

EL objetivo principal de esta etapa es tener una idea común y muy general del estado actual de la organización. Para esto existen herramientas como listas de chequeo, diagramas de flujo, formatos y formularios que permitirán a la empresa, tener un conocimiento global y además generar documentos que permitan consignar por escrito los hallazgos iniciales. Hecho esto, se obtendrá una primera impresión, habiendo obtenido información cualitativa y algunos datos cuantitativos de las entradas y salidas de la empresa. El objetivo de estos primeros pasos es, por un lado, incrementar el



interés de la gerencia (*enfocándose particularmente en el incremento de la eficiencia y los beneficios económicos*), y, por otro lado, obtener la información necesaria para tomar la decisión de empezar o no un proceso de evaluación de PML.

#### 4.4.2 Motivar la Producción Más Limpia

Los siguientes factores ayudan a definir si en una empresa es pertinente en el establecimiento de la PML, además pueden proporcionar más herramientas a la hora de tomar la decisión de emprender un proyecto de Producción Más Limpia.

*Tabla 2. Lista de criterios para definir pertinencia de PML.*

Presión ambiental de parte de la comunidad y la autoridad encargada.	Las empresas que se encuentran bajo mucha presión por parte de la comunidad vecina o de la autoridad encargada, normalmente se muestran más interesadas en establecer estrategias de PML e implementar opciones de PML.
Empresas con orientación hacia la exportación.	La experiencia muestra que las empresas que producen principalmente para exportar, generalmente se muestran mucho más interesadas y deseosas de introducir una estrategia de PML. Dichas empresas están hoy en día mucho más expuestas a los estándares y regulaciones internacionales. Además, la alta competencia hace que la administración tenga en cuenta todas las oportunidades disponibles para incrementar la competitividad de la empresa.
Potencial de PML de la empresa.	Después de hacer el reconocimiento de la empresa (evaluando el primer cuestionario "contacto inicial") y utilizando cifras de otras empresas similares (benchmark) puede hacerse una estimación del potencial de PML de una compañía.
Propietarios de la empresa.	Las empresas privadas o asociadas son más flexibles en sus decisiones de inversión si tienen un interés directo de implementar opciones de PML. Sin embargo, las empresas estatales juegan un rol muy importante en la implementación de políticas de PML.

	en el cumplimiento de las leyes y regulaciones ambientales nacionales.
Tamaño de la empresa / Número de empleados	Para promover la PML es conveniente tener unidades demostrativas de diferentes tamaños. Es más fácil convencer a los gerentes con resultados de otras empresas del mismo tamaño y pertenecientes al mismo sector.
Estado financiero	Si una empresa no está funcionando a toda su capacidad o está produciendo pérdidas financieras será difícil obtener un compromiso completo para establecer estrategias de PML. Una situación como esta limitará también las posibilidades de contar con las capacidades necesarias para implementar algunas opciones de PML.
Capacidad técnica al interior de la empresa	El establecimiento de PML en una empresa solo es posible si la empresa cuenta con sus propios expertos en PML. Para cambiar los procesos productivos, los expertos necesitan ciertos conocimientos técnicos del "know how" y alguna experiencia.

#### 4.4.3 Compromiso de la Gerencia

Independientemente de la mayoría de los criterios de motivación mencionados anteriormente, el factor más importante es el compromiso de la gerencia. Sin un compromiso fuerte y claro por parte de la dirección superior de la empresa el éxito del establecimiento de una estrategia de PML es cuestionable desde el principio. Debido a esto, es necesario obtener herramientas como cartas o políticas de compromiso donde la gerencia confirme su intención de asignar personal al equipo de PML, liberar algunas horas del trabajo rutinario diario durante la primera etapa, y proveer toda la información necesaria.

#### 4.4.4 Designación del equipo de PML

Antes de entrar en la fase de prefactibilidad es ideal conformar un equipo de PML. Aunque probablemente sea necesario contactar algún tipo de experto, la empresa debe asignar entre 2 y 5 miembros, preferiblemente pertenecientes al área técnica, con competencias suficientes y conocimiento del el proceso que les permitan tomar decisiones con respecto al monitoreo de éste, la consecución de datos y las instalaciones (v.g. jefe de producción, Jefe de mantenimiento, jefe de calidad y medio ambiente, etc.). El

número de miembros del equipo de PML dependerá finalmente del tamaño de la empresa.

#### *4.5 Pre Factibilidad*

El objetivo primordial de esta fase es entrenar al equipo de PML en la metodología de PML, y proveer las bases para el establecimiento completo de la estrategia de PML.

##### 4.5.1 Entrenamiento en PML y primer reconocimiento de la empresa

Para dar inicio a esta actividad, el equipo ambiental debe haberse conformado y el líder del equipo debe haber leído y comprendido el concepto de la Producción Más Limpia a cabalidad. Durante la fase de entrenamiento se explica la metodología de PML al equipo designado y se le sensibiliza sobre los aspectos más importantes de la producción de la empresa y los potenciales que se tienen con la implementación y desarrollo del proyecto.

Una vez sensibilizado el equipo, el paso siguiente, para poner en práctica los conceptos, es realizar una evaluación rápida de la empresa. En esta evaluación se determinan los principales flujos de materia y energía, las entradas y salidas más importantes de cada proceso (puntos de énfasis) y se identifican las opciones inmediatas (Soluciones sin costo/bajo costo). Las identificaciones y hallazgos hechos en esta fase serán fundamentales para la toma de decisiones a futuro con respecto al desarrollo del proyecto de Producción Más Limpia

##### 4.5.2 Descripción del proceso

El objetivo principal de la revisión rápida (actividad anterior) es realizar una descripción de los procesos e identificar el potencial de PML de cada uno de ellos. Con esta información se crean las bases para el establecimiento completo de la estrategia de PML y se define el enfoque que va a tener la evaluación. En la revisión rápida el equipo de PML recolecta información cualitativa, cuantitativa (En caso de que esté disponible), datos de entradas y salidas de cada proceso, tecnologías usadas, y observaciones de temas transversales como higiene, seguridad y ecología. Adicionalmente se recolecta información acerca de otros factores tales como la forma en que trabajan los empleados, el manejo y

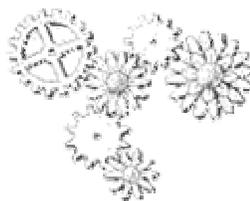
mantenimiento de las maquinas, etc. La información faltante se complementa posteriormente.

En esta fase es importante que el equipo lleve a cabo diagramas de flujo sencillos que permitan visualizar cada proceso como una unidad fundamental y relacionarlos con los otros procesos, de ésta forma el equipo estará más preparado y tendrá herramientas de análisis, discusión y difusión de los avances del proyecto.

#### 4.5.3 Estimación del potencial de PML

En este punto, el equipo estará en capacidad de decir en forma muy acertada cuáles son los potenciales beneficios de la Producción Más Limpia en la empresa. Si bien es posible que numéricamente no se sepa aún cuales son los porcentajes de ahorro exactos, es posible afirmar cuales son los procesos más impactantes desde el punto de vista económico y ambiental, ya sea por el uso de recursos, materias primas e insumos, o por la generación de desperdicios. Adicionalmente, al llegar a este nivel el equipo puede haber detectado mejoras de implementación sencilla que pueden llevarse a cabo inmediatamente.

Los procesos identificados con alto potencial en esta etapa deben detallarse aún más durante el desarrollo de las etapas siguientes de implementación de la Producción Más Limpia.



*La Producción Más Limpia es la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada, en los procesos productivos, los productos y los servicios para reducir los riesgos relevantes a los seres humanos y el medio ambiente.*

# 5. EVALUACIÓN

Durante la evaluación se determinan los datos cuantitativos de los flujos de materia y energía. Con base en esta información se desarrollan, evalúan y priorizan las opciones de Producción Más Limpia, diferenciando las que pueden ser implementadas inmediatamente y las que necesitan análisis más detallados a futuro. En resumen, el objetivo de esta etapa de evaluación es tener una visión integral de las opciones de Producción Más Limpia para poder compararlas entre si.

## 5.1 ¿Qué es un proceso?

Un proceso es una etapa parcial en la producción de bienes o servicios. Un proceso puede caracterizarse de la siguiente forma.

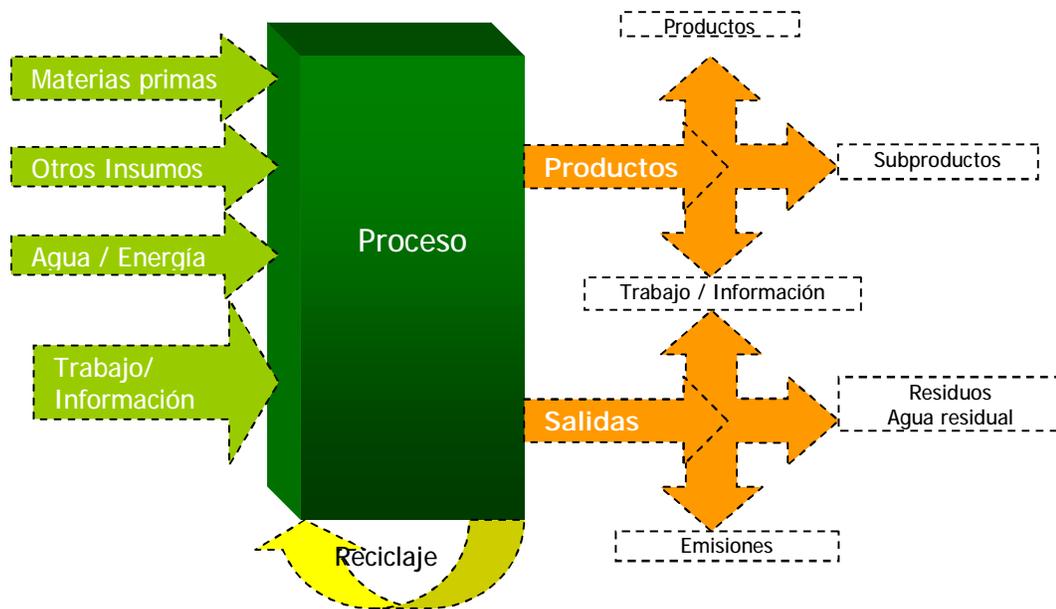


Figura 4. Caracterización general de un proceso industrial

Para que un proceso sea eficiente, se requiere el uso de equipos o maquinaria (normalmente sistemas estacionarios), materiales (materia prima e insumos), energía y agua, los cuales entran y salen nuevamente del sistema. Además de los flujos de materiales y energía, se deben tener en cuenta los flujos de información (el "know how" del proceso) y el trabajo como entrada fundamental.

### COMPONENTES BÁSICOS DE UN PROCESO:

- + Tecnología
- + Prácticas
- + operativas
- + Productos
- + Entradas
- + Salidas
- + Implementaci

Las entradas se transforman en salidas. Éstas se dividen generalmente en producto y salidas diferentes al producto representadas en residuos, agua residual y emisiones. Los residuos, las aguas residuales y las emisiones no solo contienen los mismos materiales que entraron al sistema, sino también parte del trabajo, la información, la energía y el agua invertida.

Un proceso puede analizarse también con base en el flujo de valor, es decir, teniendo en cuenta que la aplicación de insumos, energía, agua, trabajo e información agrega valor al bien o servicio durante el proceso.

### 5.1.1 Componentes de un proceso

En general, un proceso tiene básicamente 5 componentes:

- ✓ Tecnología
- ✓ Prácticas operativas
- ✓ Productos
- ✓ Entradas
- ✓ Salidas

En un análisis de proceso cada una de estos componentes se debe identificar sus puntos críticos con el fin de determinar sus potenciales de mejora. Para ello existen varias metodologías, pero como paso inicial se pueden plantear las siguientes preguntas:

#### e) *Tecnología*

- ✓ ¿La etapa del proceso analizada es realmente necesaria, o puede llevarse a cabo de otra forma?
- ✓ ¿Qué tan antiguo es el equipo?
- ✓ ¿Hay otras alternativas considerables?
- ✓ ¿Cómo es el mantenimiento y cuánto cuesta (incluyendo lavados)?
- ✓ ¿Cuántos tiempos muertos se presentan y por qué?
- ✓ ¿La ergonomía es adecuada? ¿Se tienen en cuenta parámetros de seguridad e higiene industrial?

#### f) *Prácticas operativas*

- ✓ ¿El proceso es automático, semiautomático o manual?
- ✓ ¿Cómo es el tipo de carga (Continua, por baches, tamaño de un bache, secuencia de los baches)?
- ✓ ¿Cómo son las condiciones del proceso (temperatura, tiempo, pH, etc.)?
- ✓ ¿Qué tanta información del proceso conocen los operarios (entrenamiento, información acerca de materiales problema, etc.)?
- ✓ ¿Qué tan complejo es el manejo (materiales para los cuales se requiere ciertas regulaciones de seguridad)?

#### g) *Productos*

- ✓ ¿Existe una relación de ineficiencia entre productos y subproductos?
- ✓ ¿Son muy altas las especificaciones de calidad?
- ✓ ¿El diseño del producto es poco práctico?
- ✓ ¿Cuál es el empaque?
- ✓ ¿El producto está compuesto de materiales peligrosos?

#### h) *Entradas*

- ✓ ¿Existe una guía de manejo de insumos?
- ✓ ¿Cómo es el manejo de los materiales peligrosos (manipulación, almacenamiento, medidas de seguridad)?
- ✓ ¿Se presenta escasez de materiales en algún momento (falta de inventario)?
- ✓ ¿El sistema de compras es apropiado?
- ✓ ¿Se tienen todas las especificaciones de calidad?
- ✓ ¿El almacenamiento es apropiado?
- ✓ ¿Se usa materia prima barata con características de calidad por debajo de los estándares?
- ✓ ¿Cuál es el consumo de energía (se realiza un seguimiento, cual es la fuente)?
- ✓ ¿Cuál es el consumo de agua (se realiza un seguimiento, cual es la fuente)?

### i) Salidas

- ✓ ¿Cuál es la fuente del desperdicio y por qué se genera?
- ✓ ¿Se aprovecha completamente la materia prima?
- ✓ ¿Hay presencia de materiales auxiliares en el desperdicio?
- ✓ ¿Qué cantidad de energía sale concentrada en el desperdicio y qué pasa con ella?

### 5.2 Análisis de entradas y salidas

En una empresa, los problemas de desperdicios y emisiones surgen en los puntos de producción donde los materiales son usados, procesados y tratados. Por tanto, las compañías que han optado por soluciones estratégicas a sus problemas ambientales tienen que estar conscientes que es esencial captar los flujos actuales de materiales en un modelo, para poder identificar los puntos de origen, volumen y causas de los residuos y emisiones; llegar a conocer las sustancias con las cuales están tratando para estimar su valor real para el proceso y finalmente, proyectar desarrollos posibles a su debido tiempo.

Para ello, es necesario crear un sistema de información que permita el manejo necesario para trazar hasta el origen de los materiales, el uso de la energía, sus flujos dentro de la empresa para luego dirigirlos y garantizar que sean usados eficientemente.

Uno de los métodos para responder cuantitativa y eficazmente a este efecto es la elaboración de balances de materiales y/o energía para los procesos más relevantes para la empresa (que presentan alto potencial de ahorro).

#### 5.2.1 Análisis del flujo de materiales

El análisis del flujo de materiales es un método sistemático para cuantificar, mediante cálculos o mediciones, el intercambio de sustancias entre diferentes procesos. Esta herramienta permite:

- ✓ Presentar un esquema general de los materiales empleados en la empresa.
- ✓ Determinar los flujos desconocidos (pérdidas).
- ✓ Identificar las fuentes, volúmenes y las causas de los residuos y emisiones.

- ✓ Crear una base para la evaluación y predicción de futuros proyectos.

El diagrama de flujo se prepara a partir de la información que se posee de las etapas del proceso identificadas anteriormente, enlazándolas de una manera secuencial. Por lo tanto, este tipo de análisis puede compararse al trazado del mapa de una región, en donde en vez de ciudades, carreteras y ríos muestra secuencias de procesos y flujos de materiales como rasgos geográficos

*Un análisis de flujo de materiales completo se realiza en 3 etapas.*

- a) *Definir el alcance del sistema, el objetivo del análisis y los parámetros a monitorear.*

Los objetivos del análisis pueden incluir rastrear flujo de bienes, de químicos o de elementos unitarios en la empresa con base en criterios como costos, riesgos, disposición adecuada y volúmenes entre otros. En este punto, todos los materiales del proceso a evaluar según el alcance definido, se clasifican según su cantidad y valor (en términos de inventario, costos, etc).

- b) *Representar los procesos en un diagrama de flujo.*

El desarrollo de los diagramas de flujo comienza a partir de la división del proceso en unidades operativas. Cada unidad operativa es un área del proceso o parte del equipo donde entra material, se da un proceso y posteriormente, sale material, posiblemente con una forma, naturaleza o composición diferente. Para cada unidad operativa se identifican las entradas, salidas y transformaciones. Cada unidad operativa se muestra como un bloque, y conectando las distintas unidades operativas se elabora el diagrama de flujo del proceso. De esta forma el diagrama define toda la información relevante en los procesos (componentes, valor, volumen, fuentes de información, desempeño ambiental)

Esta información del proceso se registra mediante la elaboración de un plan de medición con base en los siguientes parámetros:

- ✓ ¿Qué sustancias deben ser medidas en cada muestreo?  
(Grandes cantidades, toxicidad)
- ✓ ¿Dónde deben ser medidas?

*“El análisis de flujo de materiales se basa en los principios de un balance físico”.*

- ✓ ¿Cuándo y con qué frecuencia deben ser medidas?
- ✓ ¿Qué tipo de equipos se necesitan?
- ✓ ¿Quién es el responsable del muestreo y quién analizará las muestras?

Además de esto, es vital seleccionar una base de cálculo común, es decir, la referencia que se escoge para la realización de los cálculos. Esta puede ser un período de tiempo, una unidad de peso o una velocidad de flujo, entre otros.

El balance de materiales se representará de la siguiente forma:

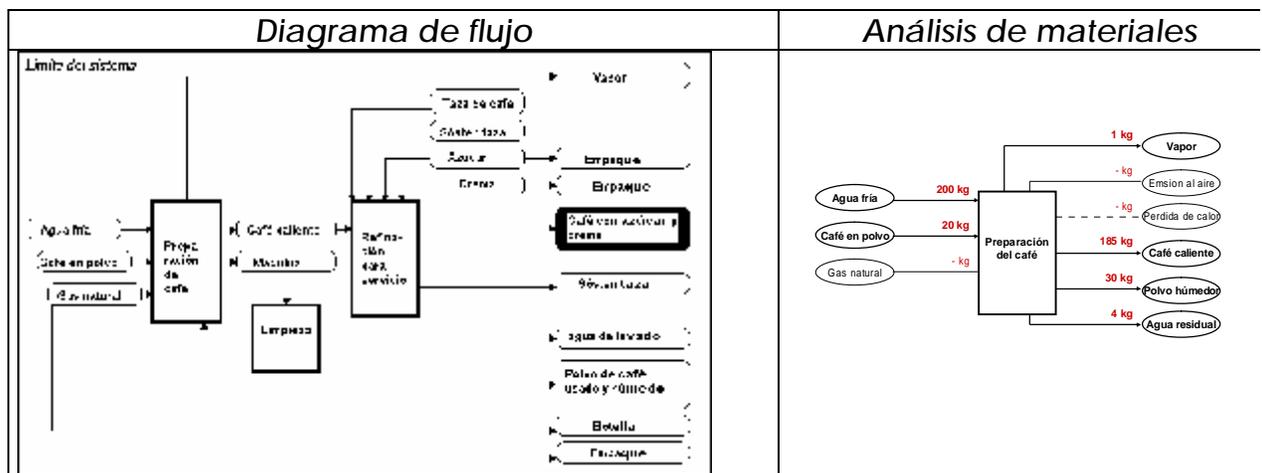


Figura 5 Ejemplo del análisis de flujo de materiales para un proceso de producción de café

#### NOTA

Adicionalmente se debe definir una referencia para la sustancia indicadora (por Ej. Taza (200 mL) de café), con el fin de poder obtener un valor relativo que pueda ser comparado con otros estudios (benchmark: análisis comparativo)

#### c) Interpretar los resultados.

Esta etapa consiste en el rastreo de los materiales, establecer relaciones entre materias primas y residuos, como también definir indicadores de eficiencia (costo-eficiencia) y de desempeño, tanto para la empresa como un todo como también para las etapas individuales de producción.

La interpretación implica entonces trazar hasta su origen los caminos recorridos por el material (ilustración del punto exacto de generación de desperdicios, establecimiento de las relaciones entre las materias primas y los desperdicios), así como la introducción de figuras claves en la forma de tasas de eficiencia (tasa del costo - eficiencia) y tasas de rendimiento (eficiencia real en comparación con la eficiencia proyectada en teoría) tanto para la empresa en su conjunto como para los pasos individuales de producción.

Como resultado de la interpretación se pueden implementar las siguientes estrategias para mejorar el uso de materiales:

- Uso y manejo adecuado de materias primas y de proceso (fórmulas de producto, vaciado completo de contenedores, sellado de fugas, etc.)
- Sustitución de materiales (evitar el uso de formaldehídos, metales pesados, cloruros, etc.)
- Modificaciones de proceso y/o producto (v.g. controles automáticos)
- Reciclaje interno y/o externo (cierre de circuitos de agua, reciclaje de materiales costosos, compostaje, separación, etc.)

**NOTA**

“Un análisis del flujo de materiales es una reconstrucción sistemática de la manera en que un elemento químico, un compuesto o un material se consume a través de su ciclo natural y/o económico. Un análisis del flujo de materiales generalmente se basa en el principio de un balance físico. (Comisión de Investigación Alemana “Schutz des Menschen und der Umwelt” del Bundestag Alemán, 1993).

### 5.2.2 Análisis de flujo de energía

Similar al análisis de flujo de materiales, el análisis del flujo de energía es una metodología para examinar, especificar e interpretar la transformación de la energía en el proceso dentro de unos límites del sistema y periodo de tiempo definidos. Es una aproximación para cuantificar el intercambio de energía entre diferentes procesos.

La elaboración de un análisis de flujo de materiales requiere la ejecución de los siguientes pasos:

*a) Análisis y planeación*

Esta etapa comprende la identificación y documentación de la información a cerca del suministro de la energía y su uso en la empresa, descripción de la situación energética actual, análisis de las debilidades y ahorros potenciales en el sistema energético y elaboración y planeación de medidas de ahorro energético.

Esta actividad incluye obtener información acerca de las tecnologías aplicadas, las condiciones del proceso (trabajo, tiempo, temperatura, pH, etc.), y la administración de éste (manejo del proceso, mantenimiento de los equipos, organización del trabajo, medidas de seguridad en el proceso, etc.). Adicionalmente es importante determinar los costos de las entradas y salidas del proceso para una descripción del proceso con base en el valor de este.

Para esto se pueden evaluar documentos como planos, facturas, estadísticas de materiales y energía, reportes ambientales, información de proveedores, etc. En general la estructura del sistema energético de una compañía es:

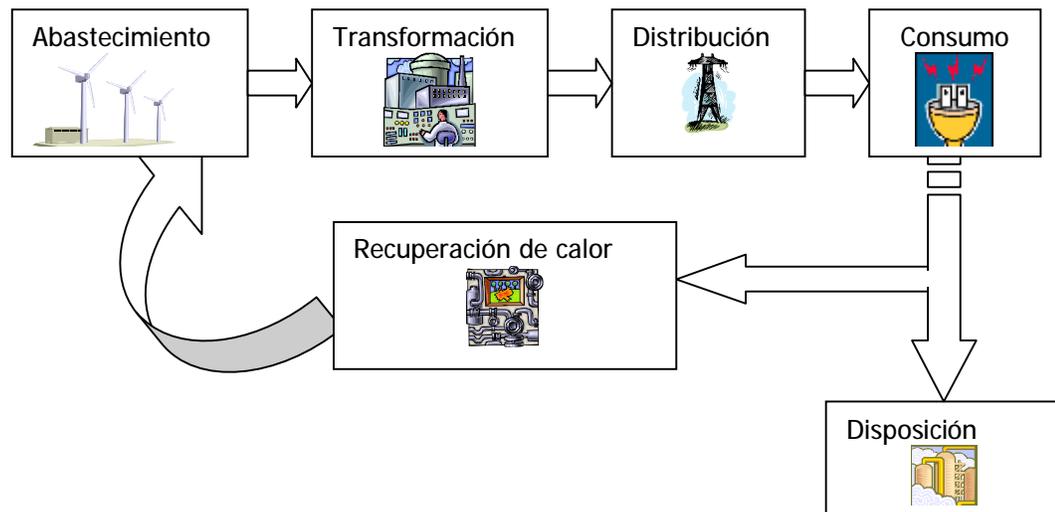


Figura 6 Estructura del sistema energético en una empresa

En este caso, los datos de consumo energético se pueden dividir en las siguientes categorías básicas:

- ✓ Calor en el proceso
- ✓ Calentamiento
- ✓ Agua caliente
- ✓ Refrigeración
- ✓ Iluminación
- ✓ Otros consumos de potencia
- ✓ Transporte

#### *b) Monitoreo e identificación de puntos críticos*

Luego de la planeación, se debe hacer un monitoreo de los equipos de transformación de energía y sus consumos con el fin de elaborar esquemas de comparación (indicadores) en cuanto a la eficiencia energética en la empresa.

Conociendo las entradas y salidas es posible determinar en qué tipo de salida se transforma la energía e identificar las causas de las salidas que no se han transformado en producto, lo cual puede hacerse respondiendo a las siguientes preguntas:

- ✓ ¿Donde se producen los residuos y emisiones, y donde ocurren las pérdidas de energía (fuente)?
- ✓ ¿Por qué ocurren (causa)?

#### NOTAS

- Los análisis de flujo de energía son más difíciles de detectar pero siguen las mismas reglas de los flujos de materiales.
- Dado que la energía no es visible, es necesario usar equipos de medición.
- Toda la energía que se transforma en la empresa (v.g. medida en kWh) sale de la misma en forma de calor.

Las áreas que presentan mayor potencial de ahorro energético en una empresa son:

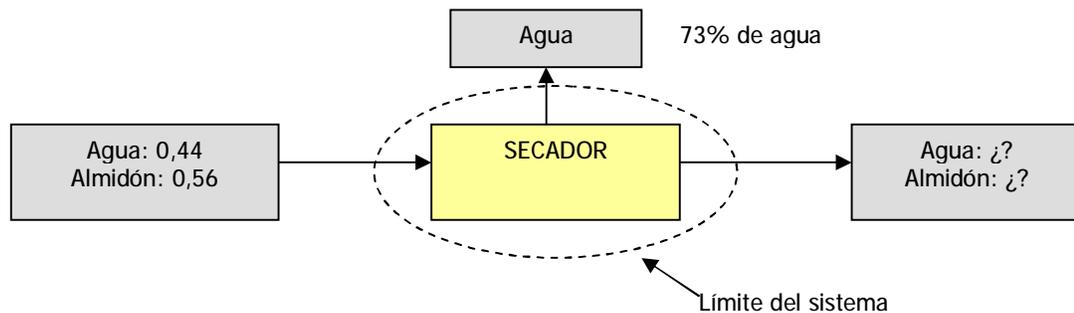
- ✓ Caldera, sistemas de vapor.
- ✓ Enfriamiento
- ✓ Aire comprimido
- ✓ Iluminación

## Ejemplo - Fabricación de almidón.

Uno de los productos que se obtienen de la refinación del maíz es el almidón comercial. En las etapas finales del proceso de refinación el almidón contiene el 44% de agua. Después de secado, se encuentra que se ha eliminado el 73% del agua original. El material resultante se vende como almidón perla. Se debe calcular el peso de agua eliminada por libra de almidón húmedo y la composición del almidón perla.

### Solución

Primero trace un diagrama de flujo simplificado del proceso de secado y ponga sobre él todos los datos disponibles tal como se hace en el siguiente diagrama.



Como una de las preguntas pide que la respuesta se base en una libra de almidón húmedo, se seleccionará ésta como base del cálculo:

Base: 1 libra de almidón húmedo.

El sistema en que se está trabajando incluye el secado con una corriente de almidón húmedo y las corrientes de salida de agua y almidón perla. En este punto sólo se conoce la composición y el peso (la base seleccionada) del almidón húmedo. Sin embargo, corriente de agua es 100% H<sub>2</sub>O y es posible calcular su peso ya que es el 73% del agua originalmente presente.

Agua eliminada = (0,73) (0,44 lb.) = 0,32 lb.  
Esta es la respuesta a la primera pregunta.

Ahora es posible efectuar un balance de agua para calcular la cantidad de agua residual en el almidón perla.

Balance de agua:

Entrada = Salida

$(H_2O \text{ en almidón húmedo}) = (H_2O \text{ corriente}) + (H_2O \text{ en almidón perla})$

$(0,44 \text{ lb.}) = (0,32 \text{ lb.}) + (x)$

$(x) = 0,12 \text{ lb.}$

Ahora puede calcularse la respuesta a la segunda pregunta. La composición del almidón perla es:

	lb.	%
Almidón	0,56	82,4
H <sub>2</sub> O	0,12	17,6
Total	0,68	100

Para optimizar los flujos de materiales y energía se utiliza una poderosa herramienta matemática: La programación lineal. Esta herramienta permite hacer un acercamiento sistemático para identificar posibilidades para mejorar el sistema mediante su optimización.

La programación lineal utiliza modelos, los cuales son un conjunto de relaciones matemáticas que describen la operación de los procesos unitarios para fabricar un producto.

El modelo lineal más popular y simple es el conocido como modelo de entradas/salidas, el cual toma una serie de ecuaciones lineales homogéneas que relacionan las salidas y las entradas a un sistema económico. Sin embargo, el acercamiento simple de entradas/salidas no puede involucrar la estructura interna del sistema y no puede ayudar a mejorar la eficiencia del sistema industrial.

Este modelo tampoco es aplicable al análisis del sistema de un producto cuya operación está limitada, por ejemplo, por la capacidad de las unidades de procesamiento o por la disponibilidad de entradas de materiales y energía.

Para poder asignar costos a las corrientes residuales es necesario considerar:

La programación lineal permite hacer un acercamiento para mejorar el sistema mediante su optimización.

- ✓ Costos internos: Valor de los insumos, las pérdidas de materiales, el manejo y recolección de los residuos, la operación de las instalaciones de tratamiento, etc.
- ✓ Costos externos: causados por tarifas de descargas, impuestos, costos de permisos, etc.

Analizando el balance de materia y energía teórico (BME) de cada etapa del proceso y comparándolo con la situación real, se obtienen conclusiones como:

- ✓ Eficiencia de las operaciones que conforman el proceso.
- ✓ Determinación de mayores consumos.
- ✓ Determinación de mayores residuos y subproductos.

Una vez obtenidas las anteriores conclusiones, se analiza el proceso de una manera global con el fin de identificar las raíces de estos problemas.

Las opciones que se generen pueden provenir de una lluvia de ideas entre los integrantes del equipo de PML, de la solicitud de ideas por fuera del equipo de trabajo o de la revisión de ejemplos de opciones de PML de otros casos desarrollados.

### *5.3 Evaluación de las opciones de Producción Más Limpia identificadas*

El paso más difícil es comparar las opciones de PML identificadas y establecer niveles de prioridad de estas. Normalmente se utilizan los siguientes criterios para la evaluación:

- ✓ Efecto ecológico
- ✓ Efecto económico
- ✓ Factibilidad técnica
- ✓ Esfuerzo organizacional
- ✓ Costo de implementación

En general, los indicadores, escalas, y ponderación de los factores para cada categoría pueden ser determinados de forma individual por la empresa. En los anexos se presenta un ejemplo de una lista de criterios y una serie de preguntas clave para la definición de los criterios.

La siguiente tabla es un ejemplo de una evaluación de opciones simplificada sin ponderación. Los 5 criterios se evaluaron en una escala de 1 a 5.

Opción	Beneficio ambiental	Beneficio económico	Complejidad de la tecnología	Facilidad de implementación	Inversión neta	Total	Prioridad
	Aspecto ambiental	Aspecto financiero	Aspecto tecnológico	Aspecto tecnológico	Aspecto financiero		
A	2	2	4	3	4	15	2
B	4	4	2	2	1	13	3
C	3	3	3	4	3	16	1
D	3	5	2	3	2	15	2

De la tabla:

- ✓ Potencial ecológico (1= ahorros bajos en materiales y/o baja reducción de residuos/emisiones; 3= alto potencial de ahorro en materiales y/o reducción de grandes cantidades de residuos/emisiones).
- ✓ Beneficio económico (1= bajo potencial de ahorro; alto potencial de ahorro)
- ✓ Nivel técnico de intervención (1= no hay cambios; 3= cambios en el proceso/equipo)
- ✓ Nivel organizacional de intervención (1= No hay cambios; 3= Cambio en el flujo del proceso)
- ✓ Costo de implementación (1= No hay costo; 3= Alto costo)

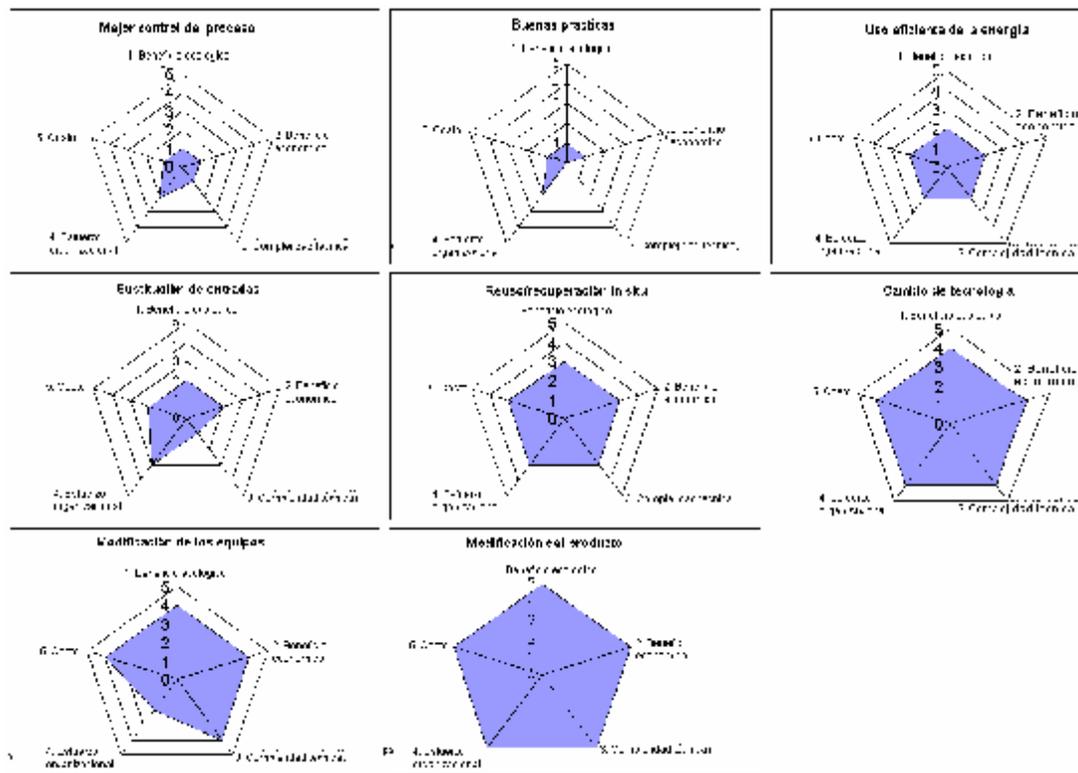
Con base en los resultados de la evaluación de opciones (suma de los puntos de cada opción), se elabora una lista de prioridades. Las opciones fáciles de implementar pueden llevarse a cabo inmediatamente (buena prácticas), mientras que las opciones a mediano y largo plazo necesitan un análisis técnico más detallado (estudio de factibilidad) para su implementación en la siguiente fase.

En general, la evaluación de opciones de Producción Más Limpia para optimizar la eco-eficiencia de una empresa se basa en 8 principios básicos:

- ✓ Mejor control del proceso para mantener condiciones controladas.
- ✓ Buen mantenimiento

- ✓ Uso eficiente de la energía
- ✓ Sustitución de las entradas
- ✓ Reuso/recuperación in situ
- ✓ Modificación de los equipos
- ✓ Cambio de tecnología
- ✓ Cambios en el producto

La siguiente figura caracteriza estos principios de acuerdo con su aporte al mejoramiento de la eco-eficiencia (en las dimensiones ambiental y económica). Es así como el mejoramiento dependerá del nivel de intervención en tres dimensiones: complejidad tecnológica, esfuerzo organizacional y costo de implementación.



(1= No hay cambio/bajo potencial, sin costo; 5= Cambios complejos/alto potencial, alto costo).

Figura 7 Caracterización de las 8 categorías de opciones de PML de acuerdo con las 5 dimensiones de evaluación

Un alto beneficio económico y ambiental sólo puede ser alcanzado si la empresa esta dispuesta a invertir, a implementar tecnologías ambientales y/o a cambiar la estructura organizacional.

#### 5.4 Herramientas para el análisis financiero

Adicional a la evaluación técnica de las opciones de Producción Más Limpia a implementar, es necesario determinar la viabilidad económica de las mismas mediante métodos de valoración de inversiones, con el fin de seleccionar la mejor entre varias opciones.

La viabilidad económica consiste en evaluar el impacto económico de las recomendaciones de Producción Más Limpia planteadas, tanto desde el punto de vista de la inversión como de los costos y beneficios de su implementación. Se hace necesario entonces, realizar una serie de cálculos de ahorros obtenidos y del periodo de retorno de la inversión necesaria para implementar la(s) alternativa(s) propuesta(s).

En la práctica el método más usado para realizar este análisis es el cálculo del reembolso (tasa de reembolso), Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y Retorno de la Inversión (RI), los cuales pueden dividirse en métodos estáticos y dinámicos. La diferencia entre éstos radica en la consideración de la variable temporal. Entre estos métodos los estáticos son los más sencillos de manejar dado que:

- ✓ Consideran el valor del dinero hoy igual al valor del dinero en el futuro.
- ✓ Muestran una primera aproximación a la realidad pero no muy precisa.
- ✓ Dan una idea muy optimista de las inversiones (mayor en cuanto más largo sea el periodo de tiempo).
- ✓ Son rápidos de calcular.

##### 5.4.1 Tiempo de retorno

El método del Retorno es uno de los más usados entre los métodos estáticos. El tiempo de retorno representa el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial (se anticipa al futuro). Un periodo más largo de tiempo implica mayor riesgo (pues pueden cambiar las condiciones) y una reducción de la liquidez de la compañía (el

capital está congelado en la inversión y sólo se recupera gradualmente).

El método del retorno de la inversión es la forma más simple de comparar económicamente una o varias ideas de un proyecto. El método explica cuánto tiempo se tardará en librar la inversión realizada en el proyecto. Un largo período de tiempo implica un mayor riesgo y reducción de la liquidez. La alternativa con el menor tiempo de retorno debe ser la elegida.

$$PRI = \frac{I}{Q}$$

PRI = Período de recuperación de la inversión

I = Inversión neta

Q = Ahorro anual = (en promedio) Flujo de caja debido a la inversión = (dinero <sub>entra</sub>) - (dinero <sub>sale</sub>)

#### NOTA

En el cálculo del retorno de la inversión se considera únicamente el dinero que entra y sale debido a la inversión, es decir, no se consideran los costos contables tales como la depreciación no son considerados.

Debe tenerse cuidado en expresar todos los términos en las mismas unidades de tiempo (meses, años, etc.).

*El método del retorno explica cuánto tiempo se tardará en librar la inversión realizada en el proyecto*

#### a) Fortalezas de la herramienta

- ✓ Entendible incluso para inversionistas que no tengan experiencia en administración de negocios
- ✓ Cálculo simple
- ✓ Los datos necesarios pueden encontrarse fácilmente en los registros contables
- ✓ Presentación clara de resultados

#### b) Debilidades de la herramienta

- ✓ La limitación a un promedio anual es bastante inexacta
- ✓ No se tiene en cuenta la fecha de realización de los pagos
- ✓ La vida útil esperada de la inversión no se tiene en cuenta de forma eficaz

Se debe seleccionar la alternativa que presente menor tiempo de retorno.

a) *Tasa de reembolso*

La tasa de reembolso expresa cuantas veces en el periodo de tiempo establecido se recupera el capital. Por ej. 2,5 veces significa que el capital se recupera 2,5 veces durante el periodo de tiempo establecido para la inversión. Esta tasa se calcula así:

$$TR = \frac{t}{PRI}$$

TR: Tasa de reembolso

PRI: Periodo de recuperación de la inversión

t = periodo de tiempo de la inversión

#### 5.4.2 Retorno sobre la inversión (RI)

Analizando el RI pueden compararse diferentes alternativas (Ej. Ahorro, extensión, nuevos productos, redimensionamiento). Como se trata de un cálculo estático, las inversiones se juzgan de forma sobre-optimista. Esto es real especialmente cuando la tasa de interés es alta y/o el periodo de tiempo es largo.

Este método relaciona las ganancias con el capital invertido, y se obtiene al dividir el VPN de las utilidades entre el valor presente de la inversión. Como resultado se toma el valor absoluto.

El método permite comparar diferentes inversiones (v.g. Ahorros, extensión, nuevos productos, redimensionamiento), pero dado que se obtiene de un cálculo estático, las inversiones se juzgan de forma muy optimista. Esto es cierto especialmente si la tasa de interés es alta y/o si el tiempo de amortización de la inversión es largo.

Un problema de este método es que no se considera el periodo de tiempo, así una inversión del mismo capital a 10 años y utilidades de 5'000.000 de pesos al año se considera igual a una inversión a 2 años con una utilidad de 5'000.000 de pesos

$$RI = \frac{P}{I}$$

RI = Retorno de la Inversión

P = Utilidad (entrada (o ahorro) adicional debido a la inversión menos el costo adicional debido a la inversión (operacional + depreciación + costo de capital)

I = Inversión

Criterio de decisión: Elegir la alternativa con mayor RI

a) *Fortalezas de la herramienta*

- ✓ Se puede hacer un análisis rápido
- ✓ Pueden compararse diferentes inversiones

b) *Debilidades de la herramienta*

- ✓ No se considera el periodo de tiempo de la inversión
- ✓ No se considera el valor del dinero en el tiempo

### 5.4.3 Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) es una de las herramientas dinámicas más utilizadas (considera la variable temporal y expresa el incremento de la "riqueza") con una visión holística de la vida útil establecida para la inversión.

El VPN compara el valor de un dólar hoy, con el valor de ese mismo dólar en el futuro, teniendo en cuenta la inflación y el retorno. VPN es un método empleado en presupuestación de capital, donde el valor presente del flujo de ingresos futuros se resta del valor presente del flujo de costos. Si el VPN del proyecto es positivo y mayor (comparado con el de la alternativa), este debe ser aceptado.

VPN = Valor Presente Neto

i = Tasa de interés en porcentaje (5% = 0.05), tasa de interés usada para descontar los valores futuros. (Valor de la tasa de interés: Aproximadamente igual al interés del mercado para capitales a largo plazo más una adición por riesgo más alto).

$G_0$ = Inversión inicial al comienzo del año (sin depreciación, ni intereses).

$G_1$  a  $G_n$ = Ahorro neto anual al final del año 1 hasta n.

n = Número de periodos (años), tiempo de depreciación

El VPN se calcula como la cantidad de producto/servicio producido (v.g. toneladas de cemento) menos el costo de construcción/equipos (incluyendo planeación, instalación, entrenamiento) y la operación de la planta (materias primas y auxiliares, combustible, agua, mantenimiento, mano obra, tratamiento de residuos, etc.). Adicionalmente, los costos y beneficios de años posteriores al año inicial se descuentan del año cero

Si el VPN del proyecto es positivo y mayor (comparado con el de la alternativa), este debe ser aceptado.

*a) Fortalezas de la herramienta*

- ✓ Tiene en cuenta todo el ciclo de vida de la inversión
- ✓ La fecha de los pagos se pondera con el cálculo del interés compuesto
- ✓ Tiene en cuenta los pagos efectivos
- ✓ Las inversiones a largo plazo se pueden evaluar de forma confiable

*b) Debilidades de la herramienta*

- ✓ El procedimiento es difícil de entender y el resultado difícil de interpretar
- ✓ Las dificultades del método consisten en seleccionar una tasa de interés apropiada y una sensibilidad del instrumento adecuada para ese interés.
- ✓ La provisión de datos puede ser complicada
- ✓ El método puede llevar a resultados diferentes, dependiendo de la Tasa Interna de Retorno que se haya establecido como meta.
- ✓ El cálculo no es completamente exacto, ya que la anticipación del futuro siempre es una estimación.
- ✓ Los errores en la estimación del flujo de ingresos en el futuro pueden influenciar negativamente los resultados

#### 5.4.4 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno determina la rentabilidad de la re-inversión adicional del capital necesario para la inversión. Se define como la tasa de descuento resultante de un VPN igual a cero. Dicho de otro modo, la TIR es el valor dinámico máximo del retorno de la inversión.

En general, dependiendo del tiempo en el cual se recupera la inversión se tienen las siguientes clasificaciones para las alternativas:

- ✓ Si es de 1 año o menor se considera que el proyecto es sencillo.
- ✓ Si es menor a 4 años es un proyecto de costo medio.
- ✓ Si es mayor a 4 años es un proyecto de alto costo.

*Si la TIR de una alternativa es mayor que la tasa de interés, ésta se considera viable.*



*La Producción Más Limpia lleva al ahorro de costos y a mejorar la eficiencia de las operaciones, habilita a las organizaciones y a las empresas para alcanzar sus metas económicas mientras simultáneamente mejoran el ambiente.*

## 6. IMPLEMENTACIÓN

Esta etapa del proceso de Producción Más Limpia difiere de las etapas anteriores en algunos puntos importantes. Hasta el momento se ha seguido más o menos un esquema establecido y comprobado de Producción Más Limpia, mientras que la implementación requiere que los pasos a seguir sean de carácter muy individual según la empresa.

Con el fin de llevar a cabo la implementación es necesario realizar una programación de los trabajos que se realizarán, para lo cual se designan los responsables de cada tarea y los plazos y tiempos de ejecución de los proyectos de forma que se minimice el transcurso de la instalación.

Una vez realizada la planeación, se empezará entonces con el montaje de cada uno de los proyectos seleccionados y aprobados. Además, es necesario controlar de manera adecuada la instalación de los equipos e instrumentos requeridos y preparar el inicio de operación de los mismos, con el fin de evitar problemas.

### *6.1 Implementación de buenas practicas/opciones de bajo costo*

Obviamente, las medidas más simples (buenas prácticas) que no generan ningún costo o costos muy bajos, son las que se implementan inmediatamente. El monitoreo es muy importante para demostrar los primeros éxitos y motivar así a los empleados y a la administración a implementar medidas de mediano y largo plazo.

### *6.2 Implementación de opciones a mediano y largo plazo*

Una vez se toma de decisión de implementar las opciones a mediano y largo plazo, se elabora un análisis detallado de las Tecnologías Ambientales aplicables a las opciones seleccionadas.

Este análisis no comprende únicamente la tecnología de forma individual, sino el sistema completo, el cual incluye:

- ✓ "know how"
- ✓ Procedimientos
- ✓ Bienes, servicios y equipos
- ✓ Procedimientos organizacionales y directivos

Sin embargo, en ocasiones las tecnologías necesarias para implementar estas opciones son bastante costosas. En este caso, se puede acceder a créditos bancarios a través de la Línea de Crédito Ambiental ([www.lineadecreditoambiental.org](http://www.lineadecreditoambiental.org)) auspiciada por el gobierno suizo, a través de la cual se pueden recibir reembolsos del crédito obtenido hasta del 40% dependiendo de la disminución real de los impactos ambientales del proceso productivo de la empresa.

*La Línea de Crédito Ambiental fue especialmente diseñada para inversiones que pretendan lograr un impacto positivo sobre el Medio Ambiente y por ende a incrementar el Desarrollo Sostenible del país.*

### 6.2.1 Diseño y construcción

Diseño implica la elaboración detallada de las especificaciones técnicas para equipos, dibujo de los planos de construcción, esquemas del sistema de tuberías, planos eléctricos, etc.

Un diseño y una planeación adecuada son los factores clave para lograr los objetivos establecidos con la opción propuesta. Esto puede hacerlo la empresa por sí misma (si cuenta con el personal técnico adecuado) o por una empresa de consultores de ingeniería y con experiencia en el tema.

La implementación (adquisición, ensamblaje), debe realizarse con cuidado para garantizar que la tecnología sea aplicada aprovechando todo su potencial. Además debe prestarse especial atención a la necesidad de capacitar a los empleados para garantizar el éxito de la implementación.

### 6.3 Monitoreo y evaluación de resultados

Después de la implementación, los beneficios financieros y ambientales deben ser comparados con los valores determinados en la fase de evaluación. Este análisis muestra la efectividad de la opción implementada y el cálculo real de los ahorros económicos obtenidos por la empresa.



Para esto, es necesario seleccionar los métodos de medición que permitan evaluar de una manera sencilla y de fácil cuantificación los resultados obtenidos. Los métodos pueden ser:

- ✓ Cambios en la cantidad de residuos.
- ✓ Cambios en los consumos de agua y energía.
- ✓ Cambio en la rentabilidad.
- ✓ Cambio en las condiciones laborales.

#### *6.4 Mejoramiento continuo*

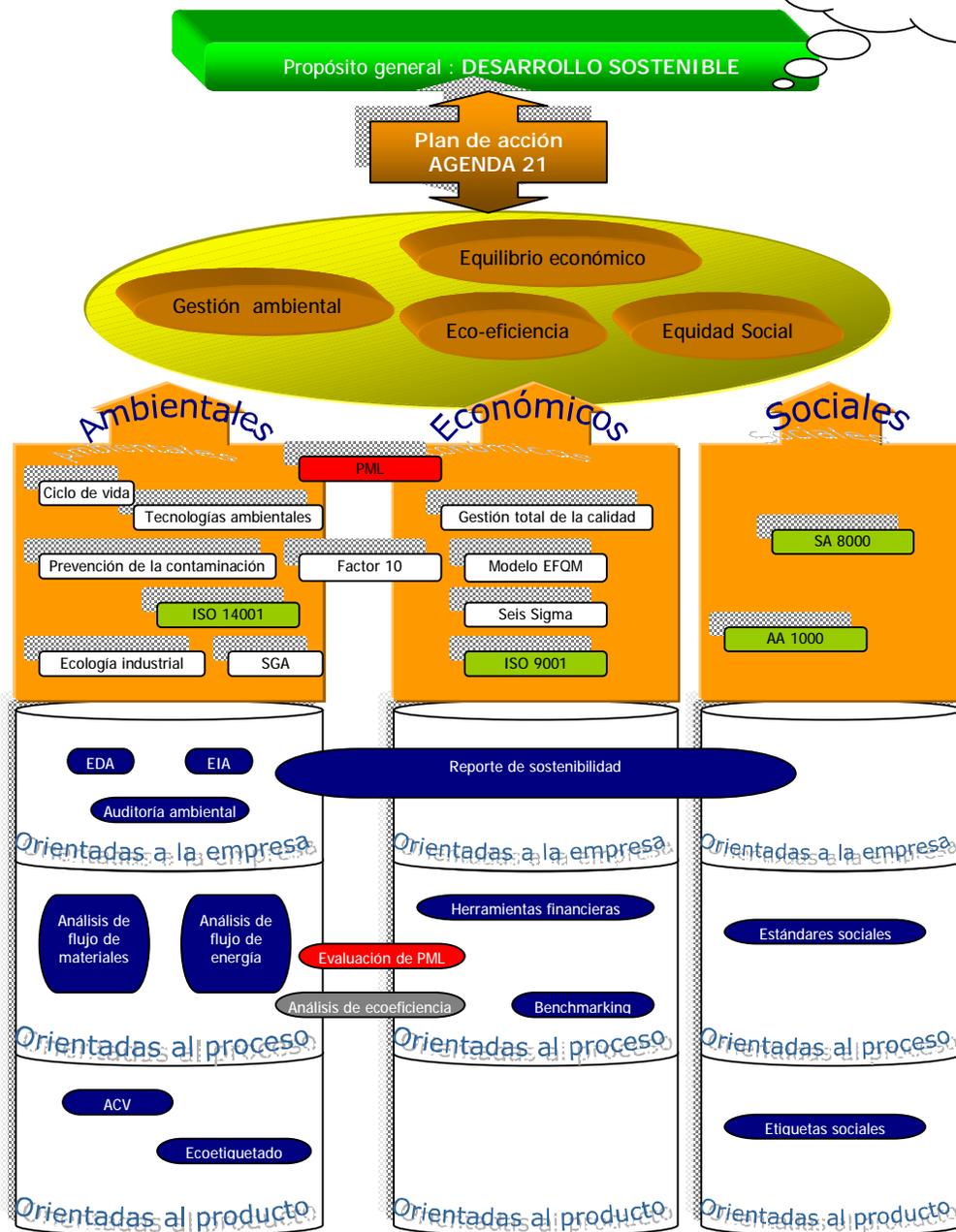
Las actividades de un análisis de Producción Más Limpia no terminan con la implementación. En realidad una vez se termina con cada ciclo, se debe seguir evaluando el potencial para aplicar la PML en nuevas áreas en la empresa, buscando siempre el mejoramiento continuo.

Es necesario por lo tanto, que las soluciones se mantengan a través del tiempo, por lo cual es importante asegurar que los empleados se involucren en el proceso. Esto se puede lograr incorporando la Producción Más Limpia en el desarrollo técnico mediante capacitaciones y diferentes actividades como el uso de incentivos, entre otros.

Una vez implementadas las opciones de PML es importante realizar un seguimiento de los resultados, con el fin de observar y encontrar otras alternativas diferentes de PML, buscando en todo momento un mejoramiento continuo en la empresa.

# 7. CONCEPTOS GENERALES RELACIONADOS CON LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

Convención de Basilea  
 Protocolo de Kyoto  
 Protocolo de Montreal  
 Convención de Estocolmo



### 7.1 Convención de Basilea – Movimiento transfronterizo de residuos peligrosos

La convención de Basilea (Control de movimiento transfronterizo de residuos peligrosos y su disposición) entró en vigor en 1992. Su objetivo es controlar el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos, promover su manejo y disposición de forma ambientalmente adecuada, y prevenir el tráfico ilegal de residuos. La enmienda prohibitoria de 1995 fortaleció la convención al obstaculizar la exportación de residuos peligrosos desde los estados miembros de la OECD (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) hacia los otros países.

Para mayor información: UNEP: <http://www.unep.ch/basel/>

### 7.2 Convención de cambio climático – Protocolo de Kyoto

Durante la conferencia de Río en 1992, 155 estados se comprometieron a definir límites de concentración de gases efecto invernadero en un nivel tal (1990) que se previniera cualquier perturbación peligrosa del sistema climático. Los gases efecto invernadero – especialmente el dióxido de carbono, el más abundante de origen antrópico – actúan como una capa sobre la superficie de la Tierra provocando el aumento de la temperatura del planeta. Las consecuencias son múltiples: incremento del nivel del mar, descongelamiento de los glaciares, inundaciones, etc.

Para que la convención entrara en funcionamiento, en 1997 se redactó en Kyoto un protocolo. El aspecto más importante de este protocolo es el compromiso de 39 países desarrollados para reducir sus emisiones de gases efecto invernadero con relación a los niveles de 1990 (en promedio 5,2%). Esta reducción debe alcanzarse entre el 2008 y el 2012, espacio conocido también como “primer período de compromiso”.

El protocolo de Kyoto permite a los países desarrollados alcanzar sus objetivos de formas diferentes mediante “mecanismos de flexibilidad”, los cuales incluyen:

- a) Comercio de emisiones – Los países desarrollados (listados en el anexo B del protocolo de Kyoto) pueden comerciar los

montos asignados a ellos (con otros países desarrollados) con el fin de cumplir con sus propios compromisos de emisión.

- b) *Implementación conjunta* – Los países desarrollados pueden recibir unidades de reducción de emisiones cuando ayudan a financiar proyectos que reducen las emisiones netas en otro país desarrollado.
- c) *Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL)* – Es el único “mecanismo de flexibilidad” que involucra los países en vía de desarrollo. Permite a los países desarrollados alcanzar parte de sus obligaciones de reducción mediante la financiación de proyectos en países en vía de desarrollo que reduzcan las emisiones o capturen CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Para mayor información

Convención marco de las naciones unidas para el cambio climático: <http://www.unfccc.de>

MDL: <http://www.cdmcapacity.org/index.htm>

### *7.3 Protocolo de Montreal – Deterioro de la capa de ozono*

La convención de Viena (1.985) y el subsiguiente protocolo de Montreal (1.987) acerca de “Sustancias que destruyen la capa de ozono”, pretenden “congelar” y reducir las sustancias destructoras de la capa de ozono fabricadas por el hombre, tales como clorofluorcarbonados (CFC’s), halógenos y una amplia gama de productos químicos industriales. La destrucción de la capa de ozono permite que la radiación B-ultravioleta llegue a la superficie del planeta, provocando el incremento de la incidencia del cáncer de piel, las cataratas, y otros efectos adversos en el sistema inmunológico humano.

Para mayor información:

UNEP: <http://www.unep.ch/ozone>

#### 7.4 Convención de Estocolmo - Contaminantes Orgánicos Persistentes

Los Compuestos Orgánicos Persistentes (COP's), tales como dioxinas, furanos, PCB's, etc., son sustancias químicas que persisten en el ambiente, se bio-acumulan a través de la cadena alimenticia, y presentan el riesgo de causar efectos adversos en la salud humana y el ambiente. Con base en la evidencia de que estas sustancias pueden movilizarse largas distancias y pueden aparecer en regiones donde nunca han sido usadas o producidas, la comunidad internacional hizo un llamado durante la convención de Estocolmo (1995) para definir acciones urgentes a nivel mundial para reducir y eliminar emisiones de estas sustancias.

El tratado está diseñado para eliminar o restringir severamente la producción y uso de 12 COP's, con la posibilidad de incluir otros COP's en el futuro, para asegurar su manejo y transformación química de manera ambientalmente adecuada, y para prevenir la producción de nuevos químicos con características de COP's.

Para mayor información

World Wildlife Fund: <http://www.panda.org/toxics/ratify/>