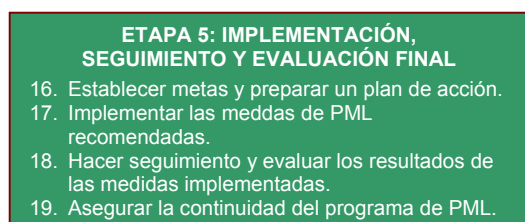
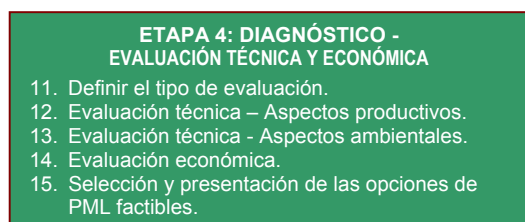
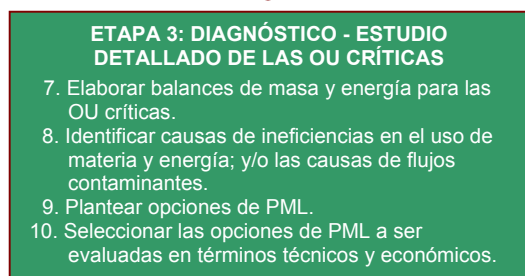
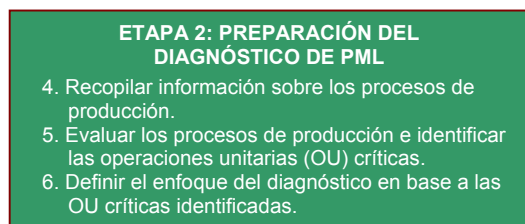
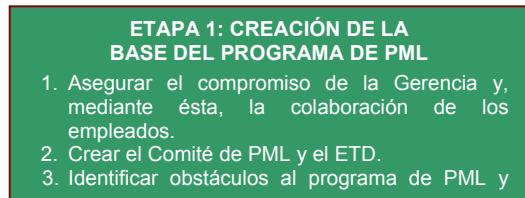


## CAPÍTULO 4

### DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA



La introducción de un programa de producción más limpia en una empresa supone la planificación, programación y ejecución de un conjunto de medidas que se desarrollarán de manera sistemática y ordenada. El programa de PML forma parte de la gestión global de la empresa y debe estar reflejado en un documento en el que se declara los objetivos relacionados con la PML, y en el que, además, se especifican metas, actividades, tiempos y recursos a ser empleados en la consecución de dichos objetivos.

El método para desarrollar este programa de PML, en una empresa, se basa en un conjunto ordenado de actividades que se ejecutan en una secuencia de 19 pasos, los que a su vez se agrupan en las siguientes 5 etapas:

**Etap 1.** Creación de la base del programa de PML.

**Etap 2.** Preparación del diagnóstico de PML.

**Etap 3.** Diagnóstico – Estudio detallado de las operaciones unitarias (OU) críticas.

**Etap 4.** Diagnóstico – Evaluación técnica y económica.

**Etap 5.** Implementación, seguimiento y evaluación final.

Un componente central de este programa es el diagnóstico de PML, que se lleva a cabo en base a un análisis de las operaciones productivas, a fin de identificar y seleccionar opciones de PML técnica y económicamente viables, que se implementan con el propósito de incrementar la eficiencia productiva de la empresa.

El análisis mencionado se realiza en base a los resultados de un estudio detallado de las operaciones de producción, las de logística y las auxiliares, que incluye la cuantificación y caracterización de las entradas y salidas de cada operación unitaria. El fin de este estudio es de identificar las causas de los flujos de residuos y

pérdidas, plantear opciones de PML, seleccionar e implementar las opciones factibles, y hacer un seguimiento a los resultados de dicha implementación.

Entre las entradas y salidas mencionadas en el párrafo anterior, está incluido el consumo y la pérdida de energía que ocurre en las operaciones unitarias y auxiliares de la planta.

Dado que existe una cierta correlación entre el consumo de energía y la cantidad de residuos que se genera, es beneficioso combinar los objetivos de la prevención de la contaminación y los de la eficiencia energética en el programa de PML, enfocado a incrementar la eficiencia de las operaciones unitarias.

Si bien el diagnóstico de PML es una herramienta técnica utilizada para evaluar y mejorar la eficiencia de las operaciones de una planta, sus beneficios, como resultado de una intervención temporal, no son significativos sin el respaldo del programa de PML.

La existencia de este programa implica un compromiso y una organización permanente y a largo plazo dentro de la empresa. La creación de tal programa asegura la provisión, por una parte, de la infraestructura y recursos técnicos, administrativos y financieros para implementar con éxito las medidas recomendadas de PML; y, por otra, la continuidad a largo plazo de las prácticas de PML en la empresa, con o sin la intervención de recursos humanos externos de apoyo.

Más aún, el programa de PML es una base sólida, a partir de la cual la empresa puede implementar y mantener un sistema de gestión ambiental, si es que no lo ha implementado aún.

Las 5 etapas antes mencionadas, así como cualquiera de los 19 pasos que se describen a continuación, pueden ser modificados y/o adaptados en función a las características de la empresa y a las iniciativas que tengan la Gerencia y/o el personal, a fin de crear y desarrollar su propio programa de PML.

#### **4.1 ETAPA 1: CREACIÓN DE LA BASE DEL PROGRAMA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA**

El objetivo de esta etapa es crear instrumentos y condiciones necesarias para desarrollar el programa de PML. Los pasos a seguir en esta etapa son:

##### **ETAPA 1: CREACIÓN DE LA BASE DEL PROGRAMA DE PML**

1. Asegurar el compromiso de la Gerencia y, mediante ésta, la colaboración de los empleados.
2. Crear el Comité de PML y el ETD.
3. Identificar obstáculos al programa de PML y proponer soluciones.

##### ***Paso 1. Asegurar el compromiso de la gerencia y, mediante ésta, la colaboración de los empleados***

Para iniciar el desarrollo del programa de PML y asegurar su ejecución, calidad y continuidad, se requiere que exista un compromiso de la gerencia de la empresa. Si la iniciativa de desarrollar este programa proviene de la propia gerencia, entonces su compromiso, en principio, ya estaría asegurado. Si la iniciativa proviene del personal de planta, o de un ente promotor o consultor externo, el compromiso de la gerencia debe ser asegurado.

Se considera que el compromiso de la gerencia ha sido asegurado cuando se alcanzan las siguientes metas:

- Se cuenta con la aprobación de la gerencia para conformar un Comité de PML, con personal ejecutivo y técnico de la empresa, responsable de coordinar las actividades de desarrollo del programa.
- Se ha nombrado al ejecutivo responsable del Comité.
- Se ha definido objetivos y metas del programa y se ha comprometido recursos humanos, financieros y otros requeridos.

- Se ha comunicado y difundido los objetivos y metas del programa y se ha estimulado la participación de los empleados.

El presente método para desarrollar el programa de PML constituye una guía base para que el Comité de PML defina los objetivos y metas del mismo.

La gerencia debe estar plenamente convencida de la necesidad y de los beneficios que el programa de PML representa para su propia empresa.

<b>Beneficios del programa de PML</b>	
Beneficios económicos:	Por el uso más eficiente de materias primas, agua, energía y otros insumos en los procesos.
Beneficios ambientales:	Por la eliminación de materias peligrosas, reducción de la carga de contaminantes en los efluentes de la planta, y la disminución de los requerimientos (infraestructura, gastos de inversión y operación) para el tratamiento final y disposición de los desechos.
Beneficios externos:	Por ejemplo, por mejoramiento de la imagen pública de la empresa y el cumplimiento de las normas ambientales vigentes.

*Rol del ente promotor o consultor externo:* Más allá del contacto y de las actividades iniciales que tiene que desarrollar el ente promotor o consultor externo con la gerencia de la empresa, es importante que mantenga una relación estrecha con el personal de planta y, en particular, con el gerente o jefe de producción. La conciencia y el espíritu colaborador del personal de la planta es sumamente importante para tener acceso ágil a los datos existentes y a información útil sobre las operaciones productivas.

## **Paso 2. Crear el Comité de PML y el Equipo Temporal de Diagnóstico (ETD)**

### **a. Creación del Comité de PML**

Se debe encarar desde el inicio la creación de un Comité de PML al interior de la empresa, a fin de que el comité cuente con una instancia con capacidad de tomar decisiones que le permita gestionar las actividades de PML. Las funciones principales del Comité son:

- Desarrollar, coordinar y supervisar todas las actividades referentes al programa de PML.
- Identificar los obstáculos que podrían impedir el éxito del programa en la empresa.
- Difundir regularmente los resultados y éxitos del programa de PML, a fin de conservar, a largo plazo, el apoyo y el entusiasmo de la gerencia y del personal de la empresa.

El Comité debe tener carácter multidisciplinario y estar conformado por personal de la empresa, bajo la conducción de un responsable con la suficiente autoridad para poder implementar cambios en la empresa y para cumplir las siguientes funciones:

- Coordinar las actividades del Comité.
- Actuar como enlace entre el Comité y los niveles ejecutivos y operativos de la empresa.
- Asumir la responsabilidad de asegurar el logro de los objetivos y metas del programa y de implementar las medidas de PML recomendadas.

### **b. Creación de un equipo temporal de diagnóstico (ETD) para realizar el diagnóstico de PML**

El Comité de PML debe conformar un equipo temporal de diagnóstico (ETD), que debe estar constituido por personal con carácter multidisciplinario de la empresa y, si es necesario, apoyado

por consultores externos. El ETD debe alcanzar las siguientes metas relacionadas con la ejecución del diagnóstico de PML (estas metas deben ser incorporadas por el Comité como parte de su programa de PML):

- Contar con un sistema de información confiable, que proporcione datos elaborados sobre los procesos y operaciones unitarias de la planta, incluyendo, entre otros, consumos diarios de materias primas, agua, energía y otros insumos, datos de producción y de generación de desechos.
- Contar con una evaluación de las causas que originan ineficiencias en las operaciones unitarias y que provocan el desperdicio de materias primas, agua, energía y/u otros insumos, y en la generación de desechos.
- Contar con opciones de PML identificadas, que puedan ser implementadas para aumentar el rendimiento productivo de la planta.
- Contar con una evaluación técnica, económica y ambiental de las opciones de PML identificadas.
- Contar con recomendaciones de PML planteadas en base a las opciones viables seleccionadas.

El Comité debe nombrar un Responsable del ETD con la jerarquía necesaria para asumir las siguientes funciones:

- Coordinar las actividades del diagnóstico de PML.
- Ser el portavoz, comunicador del ETD.
- Apoyar al Comité de PML creado en la empresa.
- Participar en las reuniones del Comité de PML.
- Preparar resúmenes sobre sus actividades con observaciones pertinentes, incluyendo sugerencias técnicas y administrativas, previamente discutidas y acordadas con los miembros del ETD.

Para alcanzar las metas del diagnóstico de PML el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- Actividades preparatorias del diagnóstico de PML (ver Etapa 2).
- Análisis de operaciones unitarias críticas (ver Etapa 3).
- Estudios técnicos y económicos (ver Etapa 4).

En caso de que el Comité haya propuesto la contratación de un equipo de diagnóstico externo a la planta, o en caso de que el ente promotor o consultor externo cuente con su equipo técnico para realizar el diagnóstico de PML, entonces el ETD de la planta debe necesariamente ser incorporado como parte activa del equipo de diagnóstico contratado.

El equipo de diagnóstico debe estar conformado, como mínimo, por las siguientes personas:

- Un técnico con experiencia en DPML en materia de prevención de la contaminación;
- Un técnico con experiencia en DPML en materia de eficiencia energética;
- Un técnico asignado por la empresa.

El número de técnicos por materia, así como el número de técnicos asignados por la empresa, podrá incrementarse en función al tamaño y complejidad de las operaciones productivas de la planta. Cuando las operaciones de la planta son complejas, es conveniente considerar la contratación de un especialista adicional que forme parte y apoye al equipo técnico en aspectos especializados o complejos.

**Rol del equipo de diagnóstico:** Este equipo, sea contratado o no, debe estar preparado para apoyar al Comité. Es recomendable que el Comité invite al responsable del ETD a sus reuniones, a fin de que éste brinde un informe resumen de sus actividades, sus observaciones sobre lo que se ha encontrado en la planta hasta la fecha, y sus sugerencias técnicas y administrativas para el

Comité. Eventualmente, el plan de implementación que resulte del diagnóstico de PML podrá ser incorporado como parte del plan de trabajo del Comité.

**Paso 3. Identificar obstáculos al programa de PML y proponer soluciones**

Una de las primeras actividades, tanto del Comité como del equipo de diagnóstico, es identificar los obstáculos que podrían impedir el éxito del programa en la empresa. En el Cuadro 4.1 se ilustran ejemplos de obstáculos que el Comité y/o el equipo de diagnóstico pueden enfrentar al inicio de un programa de PML, así como algunas de las posibles soluciones a tales obstáculos.

**Cuadro 4.1** Ejemplos de obstáculos en la implementación de un programa de PML

Obstáculos	Ejemplo	Solución
De información	Se desconocen los beneficios de la PML.	Mostrar beneficios en base a casos exitosos en otras empresas del mismo o de otros sectores.
Institucionales	Resistencia al cambio; falta de espíritu y/o práctica de trabajo en equipo.	Interesar al personal mostrándole beneficios laborales, etc.
Tecnológicos	Incapacidad de adecuar y/o apropiar tecnología.	Mostrar ejemplos de industrias que han adecuado o apropiado tecnología aún cuando no sean del mismo rubro.
Financieros	Falta de recursos financieros y/o baja capacidad de acceso a créditos.	Estimar las pérdidas económicas ocasionadas por deficiencias existentes. Mostrar que las inversiones en PML son atractivas debido a los cortos períodos de retorno.

**Elaboración:** CPTS

Los obstáculos que no puedan ser superados en esta etapa del programa, deben ser considerados nuevamente en las etapas de evaluación de las opciones de PML identificadas durante el diagnóstico.

**Rol del equipo de diagnóstico:** Es importante que el equipo de diagnóstico proporcione información objetiva, incluyendo preferiblemente estudios de caso, para respaldar las soluciones destinadas a eliminar los obstáculos que podrían impedir el éxito del programa en la empresa. Sin embargo, es aconsejable que el equipo de diagnóstico proceda con discreción al plantear los obstáculos y al presentar las posibles soluciones, ya que puede desincentivarse a la Gerencia en el desarrollo del Programa de PML. No obstante, una gerencia abierta y comprometida con el proceso de PML facilitará la presentación de ideas por parte del equipo de diagnóstico.

## 4.2 ETAPA 2: PREPARACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

El objetivo de esta etapa es contar con un diagnóstico preliminar, que identifique las actividades hacia las que se van a enfocar las Etapas 3 y 4 del Programa de PML. En el Anexo D se presenta un cuestionario de PML utilizado por el CPTS para recabar información antes de realizar un diagnóstico de PML. Este cuestionario puede ser usado como un formulario guía para las empresas. Los pasos a seguir en esta etapa son:

### ETAPA 2: PREPARACIÓN DEL DIAGNÓSTICO DE PML

4. Recopilar información sobre los procesos de producción.
5. Evaluar los procesos de producción e identificar las operaciones unitarias (OU) críticas.
6. Definir el enfoque del diagnóstico en base a las OU críticas identificadas.

#### **Paso 4. Recopilar información sobre los procesos de producción**

Este paso tiene como objetivos familiarizar al equipo de diagnóstico con los procesos productivos de la empresa, recopilar la información necesaria para facilitar al equipo el trabajo de identificar y plantear opciones de PML, y almacenar dicha información en una base de datos. Para el efecto, se debe realizar las siguientes actividades:

**a. Recopilar bibliografía e información general relacionadas con el tipo de industria en cuestión:**

- Procesos que se utilizan en ese tipo de industria.
- Equipos involucrados en dichos procesos.
- Evaluaciones ambientales en una industria de ese tipo.

Fuentes posibles: PNUMA, ONUDI, EPA, publicaciones industriales, universidades, bancos de información, proveedores de equipos e insumos, etc.

**b. Recopilar información técnica de la empresa sobre sus procesos de producción:**

- Producción (datos de por lo menos los últimos doce meses).
- Uso y costo de materias primas, agua, energía y otros insumos.
- Tipo, cantidad y origen de residuos, desechos y pérdidas.
- Operaciones y costo anual del tratamiento y disposición de desechos.
- Estudios de prevención de la contaminación y eficiencia energética realizados en la empresa.

**c. Inspección general de la planta para comprender las operaciones asociadas a los procesos y sus interrelaciones.** La inspección debe también incluir las facilidades asociadas a las actividades auxiliares de la empresa, tales como la administración, talleres, infraestructura y equipos utilizados para el ingreso, almacenamiento y distribución de insumos, productos intermedios y finales.

Rol del equipo de diagnóstico: El equipo de diagnóstico debe realizar este trabajo con profundidad, ya que el éxito del programa depende, en gran medida, de los resultados que obtenga. Los aspectos más relevantes de la información deben incluirse en una base de datos que se completará en mayor detalle durante el transcurso del diagnóstico.

Esta base de datos tiene importancia fundamental dentro del programa de PML, ya que sirve para definir las áreas de oportunidad hacia donde se enfocarán los recursos y esfuerzos del equipo de diagnóstico, y para controlar y evaluar los avances logrados en la implementación de las recomendaciones de PML.

#### **Paso 5. Evaluar los procesos de producción e identificar las operaciones unitarias (OU) críticas**

Para evaluar los procesos de producción de la planta, el equipo de diagnóstico debe llevar a cabo las siguientes actividades.

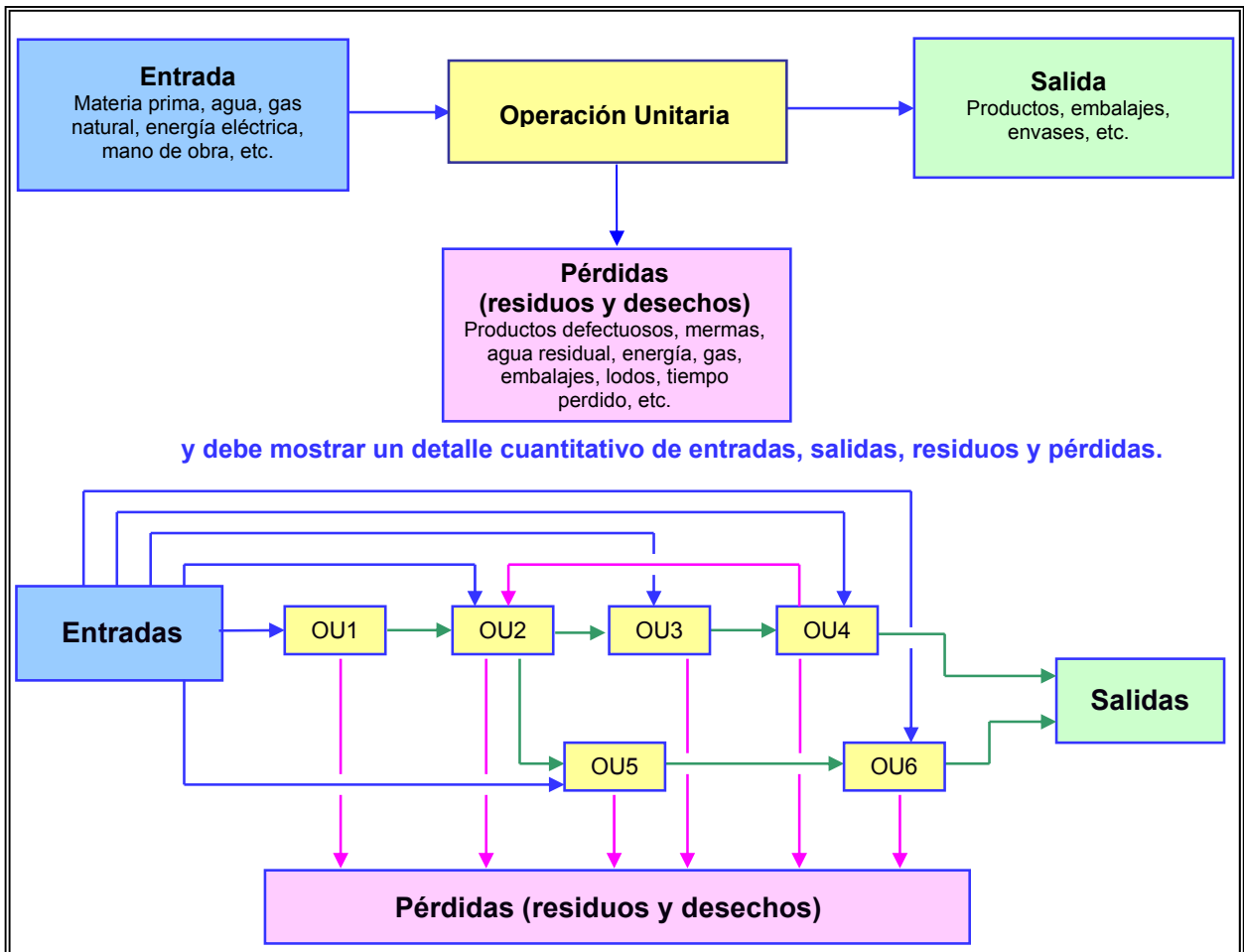
**a. Dividir el proceso de producción en operaciones unitarias.** Una operación unitaria (OU) es un componente de un proceso de producción, que cumple una función específica, sin la cual el proceso no podría cumplir su función global. Ejemplos de OU que conforman el proceso global de un ingenio azucarero, son: molienda, extracción, purificación del jugo, clarificación, evaporación, cristalización, centrifugación y secado. Ejemplos de OU de carácter general, son: molienda, tamizado, cocción, agitación, filtración, destilación, centrifugación, y otros.

En cada OU, se debe identificar:

- Las entradas de cada OU (materias primas y otros insumos, incluyendo la energía disponible y utilizable).
- Las salidas de cada OU (productos, subproductos y residuos, incluyendo pérdidas; las salidas finales de un proceso no necesariamente corresponden a las de la última OU).
- Las relaciones entradas/salidas entre operaciones unitarias.

**b. Elaborar diagramas de flujo del proceso enlazando operaciones unitarias.** Un diagrama de flujo es un esquema lineal gráfico, con símbolos y flechas, que muestra la secuencia de OU identificadas. El diagrama de flujo incluye datos, preferiblemente cuantitativos, sobre las entradas, salidas y pérdidas de cada OU, incluyendo sus relaciones (entradas/salidas), a fin de representar la transformación de las materias primas, energía y otros insumos, en productos, subproductos y residuos.

Se puede representar el diagrama de flujo de una operación unitaria, de la siguiente manera:



**Figura 4.1** Diagrama de flujo  
Elaboración: CPTS

**c. Evaluar, en forma preliminar, las entradas y salidas de las operaciones unitarias y estimar los costos derivados tanto de las ineficiencias productivas, como de la**

**generación y tratamiento de residuos y/o la disposición final de desechos.** Esta actividad requiere información sobre:

- Cantidad y costo de insumos, incluyendo el diseño y composición del producto (entre otros datos, como el número de lotes y calendario de producción, inventarios, mantenimiento, facturas de agua, electricidad y gas, datos de descarga al alcantarillado, disposición de residuos, etc.).
- Balances de masa y energía, incluyendo registros sobre rendimientos y pérdidas.
- Obligaciones o compromisos de la empresa derivados del cumplimiento de requisitos ambientales, informes de inspección e inventarios ambientales, incluyendo informes sobre análisis de residuos.

**d. Identificar las operaciones unitarias críticas.** Una operación unitaria crítica, en el presente contexto, es aquella que tiene o puede tener impactos negativos importantes, sean éstos ambientales, productivos o económicos.

La información desarrollada en las actividades precedentes es fundamental para evaluar las operaciones unitarias e identificar las que sean consideradas como críticas para el diagnóstico de PML. La selección de las operaciones unitarias críticas puede basarse en la importancia relativa de los siguientes criterios:

- Cantidad y costo equivalente en insumos de los desechos sólidos, líquidos o gaseosos generados por las operaciones unitarias, incluyendo el calor contenido en los flujos de desechos.
- Tipos de desechos generados por las operaciones (por ejemplo, desechos tóxicos o peligrosos).
- Costo del tratamiento o disposición de los desechos.
- Cantidad y costo de la energía consumida (electricidad, combustible, vapor, aire u otros).
- Requerimientos legales relacionados con los desechos.

**e. Plantear, si existen, medidas obvias de PML.** Éstas incluyen, por ejemplo:

- Eliminar fugas de vapor, de aire comprimido y de agua;
- Cumplir con los parámetros e instrucciones establecidos para el funcionamiento de equipos y actividades operativas; y
- Prevenir derrames de materias primas y otros insumos.

El impacto de las medidas obvias de PML debe cuantificarse.

*Rol del equipo de diagnóstico:* Es indispensable que el equipo de diagnóstico desarrolle una relación abierta y estrecha con el personal técnico de la planta. Las actividades descritas se facilitan y enriquecen al estar acompañado de una persona de la planta que conoce todos los detalles del proceso productivo de la misma.

<p><b><i>Paso 6. Definir el enfoque del diagnóstico en base a las operaciones unitarias críticas identificadas</i></b></p>
--

El enfoque del diagnóstico se refiere a la forma en la que el equipo de diagnóstico encarará el estudio detallado de las operaciones unitarias críticas, teniendo como meta la necesidad de identificar las causas que originan las deficiencias, pérdidas o generación de residuos, y por las que precisamente el equipo de diagnóstico las identificó como operaciones unitarias críticas.

Para definir el enfoque del diagnóstico, se debe tomar en cuenta:

- El origen, tipo, naturaleza, cantidad y costo de las pérdidas o de las ineficiencias en el uso o transformación de materias primas, agua, energía y otros insumos.
- El origen, tipo, naturaleza, cantidad y costo de las pérdidas o de las ineficiencias en el manejo, envasado, almacenamiento y transporte, entre otros, de los productos.
- El origen, tipo, naturaleza, cantidad y valor de los residuos, incluyendo el calor contenido en los flujos de desechos.
- Costo del tratamiento de los residuos y disposición de los desechos.
- Posibilidad de aplicar medidas efectivas de PML.

En base al enfoque definido, el equipo de diagnóstico debe preparar un plan de trabajo para ejecutar el diagnóstico a ser propuesto al Comité de PML.

*Rol del equipo de diagnóstico:* Al preparar el plan de trabajo mencionado, el equipo de diagnóstico debe buscar un equilibrio entre los deseos y las prioridades de la planta; entre el presupuesto del diagnóstico y las posibilidades financieras de la empresa; y entre las experiencias y capacidades de los integrantes del equipo de diagnóstico. Asimismo, debe encarar y resolver otras posibles limitaciones que no permitan la elaboración de dicho plan en forma objetiva.

### 4.3 ETAPA 3: DIAGNÓSTICO – ESTUDIO DETALLADO DE LAS OPERACIONES UNITARIAS CRÍTICAS

Los objetivos de esta etapa son: 1) Analizar detalladamente las operaciones unitarias críticas; y 2) Desarrollar las opciones de PML. Los pasos en esta etapa son:

#### ETAPA 3: DIAGNÓSTICO - ESTUDIO DETALLADO DE LAS OU CRÍTICAS

7. Elaborar balances de masa y energía para las OU críticas.
8. Identificar causas de ineficiencias en el uso de materia y energía; y/o las causas de flujos contaminantes.
9. Plantear opciones de PML.
10. Seleccionar las opciones de PML a ser evaluadas en términos técnicos y económicos.

#### **Paso 7. Elaborar balances de masa y energía para las operaciones unitarias críticas**

Para elaborar el balance de masa y energía de las operaciones unitarias críticas el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- Establecer la función, el mecanismo y los parámetros (tiempos, temperatura, presión, pH, y otros) de funcionamiento de cada operación unitaria.
- Observar, con el detenimiento necesario, el funcionamiento de la operación unitaria bajo parámetros normales de operación, para entender el mecanismo operativo de la o las máquinas asociadas a dicha operación unitaria y las responsabilidades de los trabajadores. Entrevistarse con éstos para aclarar dudas y obtener información sobre formas de operar y otros aspectos específicos.
- Medir las entradas de cada operación unitaria. La medición de materias de entrada incluyen: el consumo de materia prima, agua, energía y otros insumos. Por ejemplo, en una embotelladora de bebidas gaseosas, en la operación de preparación de jarabe simple, medir la cantidad de carbón activado y demás insumos utilizados por m<sup>3</sup> de jarabe simple producido. Las mediciones de energía térmica incluyen mediciones de flujo y temperatura de agua, vapor u otros fluidos

térmicos que entran a la operación. Las mediciones de energía eléctrica se realizan en motores, resistencias o equipos que estén directamente relacionados con la operación unitaria.

- Medir las salidas de cada operación unitaria, incluyendo residuos y pérdidas cuantificables. La medición de materias de salida incluyen: la cantidad y tipo de productos y subproductos; la cantidad y características de los residuos sólidos, líquidos y gaseosos (incluye flujos y calidad de residuos); y las mermas y pérdidas accidentales (por derrames y/o fugas). Por ejemplo, en la operación de preparación de jarabe simple, medir el volumen de jarabe simple producido y la cantidad de carbón activado y otros insumos que salen de esta operación como parte de los residuos. Asimismo, medir el flujo y temperatura del agua, vapor, o fluidos térmicos que salen de la operación unitaria, incluyendo temperaturas y dimensiones de las superficies o tuberías que carecen de aislamiento térmico.
- Combinar los datos sobre las entradas y las salidas de cada operación unitaria para obtener un balance preliminar de masa y energía. Se debe identificar, verificar y corregir las diferencias o anomalías encontradas en cada balance, y detallar con más cuidado los balances que involucren desechos peligrosos o de alto costo.
- Determinar, por diferencia entre entradas y salidas, las pérdidas no identificadas y, por ende, no cuantificadas como parte de las salidas (ver más detalles en Capítulo 5).

*Rol del equipo de diagnóstico:* El equipo de diagnóstico tiene que comprender el proceso desde diferentes puntos de vista: teórico, práctico, de la empresa, de los trabajadores, de eficiencia y de medio ambiente. La curiosidad técnica del equipo de diagnóstico es indispensable, sobre todo para detectar y medir pérdidas por el inadecuado manejo y control de parámetros operativos (por ejemplo, por el inadecuado cálculo y/o aplicación de recetas), incluyendo derrames, fugas y otros.

**Paso 8. Identificar causas de ineficiencias en el uso de materia y energía; y/o las causas de flujos contaminantes**

Además de describir las actividades de cada operación unitaria y de cuantificar sus entradas y salidas, es necesario identificar las causas que originan ineficiencias y flujos contaminantes en las operaciones unitarias. Una ineficiencia típica es, por ejemplo, la pérdida de insumos (como la que ocurre cuando hay una fuga de agua o de cualquier otra materia), que puede ser cuantificada. Las causas que originan esta pérdida de agua pueden ser, por ejemplo: una llave de paso mal cerrada; una empaquetadura que no cumple con su función de sellar el paso de agua; o el descuido del operario que deja la llave abierta cuando ésta no está en uso.

Un flujo contaminante puede tener su origen en el desperdicio de materias primas u otros insumos, o en la pérdida de un producto intermedio o del producto final. La causa que origina el mencionado desperdicio podría ser, por ejemplo, el uso de un determinado insumo en cantidades superiores a las que se requiere para lograr el propósito deseado (en la operación del curtido de pieles, el uso de cantidades excesivas de sales de cromo y otros reactivos químicos, puede originar un desperdicio de este metal pesado superior al que se esperaría cuando se usan cantidades óptimas de dichas sales según receta).

Por otra parte, la diferencia de masas entre las entradas y salidas representa una pérdida de materia no cuantificada y, por ende, no detectada. La identificación de las causas que originan dichas pérdidas es una tarea que exige profundizar el estudio de los flujos de materia y de energía utilizados para obtener el correspondiente balance de materia y energía.

Las principales causas que originan ineficiencia y flujos contaminantes, normalmente están relacionadas con los siguientes factores:

- La calidad o las características de las materias primas e insumos.
- La naturaleza del proceso (y/o la de sus operaciones unitarias).
- Las características de los equipos de producción.
- Los parámetros y las condiciones de operación de los equipos.
- Las especificaciones del producto.
- Los controles y la supervisión de las operaciones.
- La habilidad y la motivación de los trabajadores.

Para facilitar la identificación de las causas que originan ineficiencias y flujos contaminantes, se puede proceder de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Primero, para cada operación unitaria, relacionar los flujos de salida de residuos y pérdidas de energía con los flujos de los insumos de entrada, incluyendo el consumo de energía, utilizando para ello los balances de masa y energía y la cuantificación detallada de entradas y salidas.
- Segundo, salvo que sea obvio, determinar dentro de qué factor de los 7 mencionados radicaría la causa que origina una determinada ineficiencia o flujo contaminante.
- Tercero, obtener indicadores o parámetros de operación estándar relacionados con el factor determinado.
- Cuarto, identificar causas específicas, comparando dichos indicadores con indicadores obtenidos a partir de los balances de masa y energía (por ejemplo, calculando consumos específicos en función de los volúmenes producidos o insumos consumidos); o comparando los parámetros estándar con parámetros medidos en planta (ver [Capítulo 5](#)).
- Quinto, comunicar al personal de planta las causas identificadas, a fin de obtener su opinión y/o aceptación.

La información obtenida en este paso permite establecer la línea base sobre el desempeño de la planta, la misma que servirá posteriormente para evaluar los avances realizados una vez implementadas las medidas recomendadas.

***Rol del equipo de diagnóstico:*** El equipo de diagnóstico debe realizar las actividades mencionadas en permanente consulta con el personal de producción de la planta, a fin de asegurar que las causas que se identifiquen reciban una crítica inmediata y sean confirmadas y aceptadas por dicho personal. Más aún, el equipo de diagnóstico puede desviar su atención de las verdaderas causas que originan ineficiencias y/o flujos contaminantes por no consultar con el personal de planta; debe recordarse que son ellos los que conocen los detalles operativos que, a menudo, no son fáciles de identificar.

<p><b>Paso 9. Plantear opciones de producción más limpia (PML)</b></p>
--

Las causas identificadas que originan ineficiencias y flujos contaminantes constituyen la base sobre la cual pueden plantearse las opciones de PML. Para tal efecto, se recomienda seguir la siguiente secuencia que utiliza criterios priorizados en el orden de prelación en el que se listan:

- Como primera prioridad, se busca mejorar la eficiencia de cada operación unitaria mediante la optimización del uso de materias primas, agua y energía, entre otros insumos. Como parte de este mismo criterio, también se busca sustituir materias primas u otros insumos cuyo uso sea peligroso, ya sea para la salud de los operarios o para el medio ambiente, incluyendo, si fuere necesario, la posibilidad de reformular el producto o algunas de sus características. La aplicación de este criterio permite reducir costos unitarios de producción y, al mismo tiempo, minimizar la peligrosidad y cantidad de flujos contaminantes y/o pérdidas de energía en sus fuentes de origen. Estos últimos aspectos, a su vez, permiten reducir los costos de operación asociados al tratamiento final de residuos.

- Como segunda prioridad, se busca reciclar, reutilizar y/o recuperar flujos de residuos, a fin de reducir pérdidas de insumos y/o productos, lo que a su vez, incide en la reducción de los costos unitarios de producción y costos de operación asociados al tratamiento final de residuos.
- Debido a que las prácticas de producción más limpia no aseguran una eliminación total de los flujos de contaminantes, puede ser necesario plantear opciones de tratamiento, “al final del proceso”, para estos efluentes. Sin embargo, deben ser considerados como una última opción, y sólo después de haber agotado las dos anteriores. Las medidas de tratamiento no son parte de las opciones de producción más limpia, pero pueden coadyuvar a solucionar los problemas de contaminación. Sin embargo, se debe tener en cuenta que mientras mayores sean los volúmenes de desechos a tratar, mayores serán los costos en los que la empresa deberá incurrir y los que no serán recuperables, incidiendo así en los costos de producción, encareciendo el producto y haciéndolo menos competitivo.

***Rol del equipo de diagnóstico:*** Para plantear opciones de PML, basadas en la primera prioridad, y sobre todo aquellas relacionadas con cambios operativos, de insumos, de tecnología u otros, se requiere que el equipo de diagnóstico tenga una amplia comprensión tanto del proceso en su conjunto, como de las operaciones unitarias que lo componen, incluyendo sus interrelaciones.

Esta comprensión se logra con una buena preparación del diagnóstico, investigación en el sitio, mediciones y discusión con los técnicos y los operadores. La experiencia de éstos, junto con la que se obtiene de otros procesos iguales o similares, bajo las mismas u otras condiciones o sitios, facilita el análisis, identificación y planteamiento de dichas opciones. En apoyo a esta labor, se recomienda recurrir a información sobre implementación de medidas de PML, a partir de las siguientes fuentes:

- Estudios de caso de PML publicadas por el CPTS, PNUMA, ONUDI, EPA y otros.
- Intercambio de criterios e información entre los miembros del equipo de diagnóstico y los empleados relacionados con la operación unitaria bajo investigación.
- Publicaciones industriales y técnicas relacionadas con la operación unitaria en cuestión.
- Fabricantes de equipos, proveedores de productos químicos y otros insumos.
- La propia experiencia del equipo de diagnóstico.
- Intercambio de experiencias con otras empresas y técnicos del rubro.

<p><b><i>Paso 10. Seleccionar las opciones a ser evaluadas en términos técnicos y económicos</i></b></p>
--

Una vez planteadas las opciones de PML para mejorar la eficiencia de una operación unitaria, el equipo de diagnóstico debe plantear (no diseñar) las alternativas más apropiadas para su implementación, a fin de contar con información que facilite seleccionar las opciones viables y descartar aquellas cuya implementación no sea practicable.

En este sentido, a partir de todas las opciones planteadas en el paso anterior, se debe seleccionar sólo aquellas opciones cuya implementación no presente impedimentos obvios (sobre todo en términos técnicos), de acuerdo al siguiente procedimiento:

- Descartar las opciones imposibles de implementar o que, de manera obvia, se vea que no son ambientalmente adecuadas. La decisión de descartar una opción estará basada más en aspectos de carácter cualitativo (por ejemplo, la imposibilidad de acceder a un insumo propuesto) que cuantitativo (por ejemplo, rendimientos bajos, previsible en términos termodinámicos). Salvo que sea muy obvio, es preferible dejar los aspectos cuantitativos para la evaluación técnica que se describe en la siguiente etapa.
- Para las opciones no descartadas, se debe evaluar los posibles obstáculos internos o externos que impedirían o harían no atractiva su implementación. Por ejemplo, la falta de espacio físico

para implementar una determinada opción debería ser considerada, primero, como un obstáculo y, si no existiese una solución posible, recién considerarla como una imposibilidad.

- Las opciones no descartadas podrán ser evaluadas en la siguiente etapa, tanto en términos técnicos (aspectos productivos y ambientales) como económicos.

***Rol del equipo de diagnóstico:*** El equipo de diagnóstico debe ser objetivo a la hora de seleccionar las opciones de PML, ya que las decisiones que se tomen en esta selección tendrán un efecto económico y ambiental para la empresa. Por ejemplo, durante la selección de las opciones, un juicio de valor no respaldado con la información adecuada podría conducir a que una excelente opción de PML sea descartada, o se adopte una inadecuada.

Por otra parte, sería una pérdida de tiempo para el equipo de diagnóstico, si éste procede a realizar una evaluación técnica de una opción determinada, sin antes considerar soluciones viables frente a los impedimentos obvios que podrían existir para su implementación. Por ejemplo, la instalación de un tanque de GLP, destinado a sustituir un combustible, en una empresa que no cuenta con el espacio que reúna las exigencias de las normas técnicas para esa instalación.

#### **4.4 ETAPA 4: DIAGNÓSTICO – EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA**

En términos generales, son cinco los estudios particulares que se realizan para evaluar un proyecto: viabilidad técnica, económica, legal, organizacional y financiera.

El objetivo de esta etapa es establecer la viabilidad de las opciones de PML seleccionadas en la etapa anterior, solamente en términos técnicos (aspectos productivos y ambientales) y económicos. La evaluación de aspectos legales, organizacionales y financieros se incluyen en esta etapa sólo como un medio de identificar obstáculos que podrían impedir o limitar la implementación de una opción en consideración.

En el paso 11 de esta etapa, se decide el tipo de evaluación que debe realizarse para establecer la viabilidad de la opción seleccionada, antes de plantear la correspondiente recomendación de PML. En este mismo paso, se puede especificar la profundidad con la que se realizará cada tipo de evaluación en función de las características de cada opción de PML.

Los pasos 12 y 13 presentan lineamientos para realizar la evaluación técnica de una opción de PML en términos productivos y ambientales, respectivamente. Esta evaluación consiste en analizar las posibilidades materiales, físicas, químicas y condiciones operativas, tanto para satisfacer los objetivos que se persigue con la operación unitaria en el contexto del proceso productivo global, como para satisfacer los objetivos ambientales. Las opciones de PML requieren ser técnicamente viables antes de considerar su viabilidad económica, es decir, antes de considerar su rentabilidad.

Durante la evaluación técnica, deben realizarse pruebas prácticas que permitan asegurar o, por lo menos, inferir que las opciones propuestas mejoran la eficiencia de la operación unitaria y/o no causan efectos indeseados en algún aspecto productivo, ambiental, de salud ocupacional u otros.

Los impactos negativos previsible, asociados a las opciones de PML seleccionadas, deben ser evaluados y minimizados para asegurar que los beneficios de estas medidas sean mayores o más importantes que los perjuicios, salvo que éstos sean inaceptables, sobre todo en términos ambientales; en cuyo caso, la opción en cuestión debe ser descartada, independientemente de los beneficios económicos que pudiese generar.

El paso 14 presenta criterios e indicadores para realizar la evaluación económica de las opciones de PML seleccionadas. El estudio de la viabilidad económica mide la rentabilidad de la inversión,

##### **ETAPA 4: DIAGNÓSTICO - EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA**

11. Definir el tipo de evaluación.
12. Evaluación técnica – Aspectos productivos.
13. Evaluación técnica - Aspectos ambientales.
14. Evaluación económica.
15. Selección y presentación de las opciones de PML factibles.

medido todo en base monetaria. Esta evaluación determina, en última instancia, la aprobación o rechazo de la opción en consideración.

Finalmente, en el paso 15 de esta etapa, se señala las actividades que se pueden desarrollar para seleccionar y presentar las opciones viables de PML.

### **Paso 11. Definir el tipo de evaluación**

El propósito de este paso es definir, para cada opción de PML seleccionada en la Etapa 3, lo siguiente:

- El tipo de evaluación (técnica y/o económica) necesaria para tomar una decisión sobre la viabilidad de la opción en consideración.
- La profundidad con la que se realizará una determinada evaluación considerada necesaria.

Por ejemplo, una opción basada en la sustitución de insumos o en la modificación o cambio tecnológico en una operación unitaria, posiblemente requiera de una evaluación técnica profunda, y de un análisis económico detallado, mientras que una opción basada en la motivación de empleados posiblemente no los necesite. Asimismo, una opción de bajo costo basada en buenas prácticas operativas, posiblemente no necesite de una evaluación económica, siendo suficiente estimar el beneficio económico y/o ambiental, así como el período de retorno de la inversión, en caso de que ésta sea algo significativa (ver paso 14).

*Rol del equipo de diagnóstico:* Si bien es deseable que toda opción de PML sea evaluada en términos técnicos y económicos, es importante que el equipo de diagnóstico sea objetivo al definir la profundidad y detalle requeridos para realizar una determinada evaluación.

La objetividad del equipo de diagnóstico depende en gran medida de su capacidad para discernir entre lo que es importante calcular e informar en relación con la implementación de una opción de PML, y lo que es meramente un ejercicio de cálculos que no son útiles para tomar decisiones sobre dicha implementación y/o posterior funcionamiento de la opción planteada.

Otros factores importantes que pueden influir en esta definición por parte del equipo de diagnóstico, son las prioridades de la empresa y el presupuesto asignado a la ejecución del diagnóstico. En particular, si una opción planteada no está dentro de las prioridades de la empresa, pero a juicio del equipo de diagnóstico es una opción que puede generar beneficios importantes en términos económicos y ambientales, entonces, en este caso, es posible que se requiera realizar la evaluación técnica y económica con una profundidad mayor que la que podría normalmente ser requerida, a fin de precisar y demostrar tales beneficios.

### **Paso 12. Evaluación técnica – Aspectos productivos**

El objetivo de esta evaluación es verificar la viabilidad técnica de implementar las modificaciones o cambios propuestos en la opción de PML, y proyectar sus respectivos balances de masa y energía.

Las actividades a desarrollarse son:

- a. **Detallar los cambios técnicos necesarios para implementar cada opción de PML.** Este detalle de cambios técnicos incluye:
  - Describir el diseño (en forma gráfica, textual y/o numérica) de los cambios propuestos, incluyendo tipo de equipos, diagramas de flujo, etc.

- Especificar la naturaleza, forma y cantidad de entradas y salidas de la operación unitaria, así como las nuevas condiciones operativas propuestas y sus posibles efectos e interrelaciones con el resto de las operaciones unitarias que componen el proceso productivo.

**b. Determinar la factibilidad técnica de implementar los cambios requeridos por cada opción de PML.** La factibilidad técnica de los cambios se determina en términos de:

- La viabilidad de los fenómenos involucrados en las operaciones unitarias:
  - Naturaleza / termodinámica / rendimiento de los cambios físicos y/o de las transformaciones químicas contempladas en cada opción de PML.
  - Dimensiones / resistencia de materiales.
  - Presión / temperatura / flujos / caudales manejables.
  - Otros.
- La disponibilidad o accesibilidad a:
  - Tecnología (materiales, equipo, maquinaria).
  - Materias primas / agua / energía / otros insumos.
  - Espacio físico / distribución física.
  - Logística / servicios.
  - Otros.
- Las condicionantes que impedirían o limitarían la viabilidad técnica del cambio propuesto:
  - Políticas / legislación vigente.
  - Sociales / organizativas / laborales.
  - Culturales.
  - Financieras.

**c. Proyectar balances de masa y energía en base a los cambios propuestos.** La proyección de los balances de masa y de energía, supone rehacer los balances iniciales con los datos que se están proponiendo en las recomendaciones del diagnóstico. Deben reflejar la situación futura que se está planteando (ver Sección 5.4).

*Rol del equipo de diagnóstico:* La parte fundamental que el equipo de diagnóstico debe encarar durante la evaluación técnica relacionada con los aspectos productivos, es la viabilidad de los fenómenos involucrados en las opciones de PML planteadas y la disponibilidad o accesibilidad a tecnología e insumos, entre otros. En la literatura universal, a diferencia de la evaluación económica, no se cuenta con material que describa procedimientos estándar para realizar esta parte de la evaluación técnica. Sólo se cuenta con resultados de evaluaciones específicas sobre problemas técnicos concretos que, sin embargo, pueden ser útiles como modelos a ser utilizados por el equipo de diagnóstico. En particular, ya existen publicaciones de estudios de caso sobre temas de PML, que si bien no describen procedimientos de evaluación técnica, los resultados expuestos pueden ser asimilados para inferir la viabilidad de ciertas opciones, de tal manera que pueden ser útiles para facilitar el trabajo del equipo de diagnóstico.

La parte fundamental de este análisis no debe ser realizada en forma aislada. Es decir, es aconsejable diseñar y realizar cálculos procurando proyectar los efectos que tendría la opción propuesta sobre las condicionantes antes mencionadas, así como sobre la viabilidad relacionada con los aspectos ambientales y económicos. Sin embargo, esta proyección no siempre es fácil de visualizar, razón por la cual, incluso después de finalizada la evaluación económica, el equipo de diagnóstico se ve obligado a revisar esta parte de la evaluación técnica, a menudo por más de una vez en forma cíclica.

Por otra parte, una de las actividades más engorrosas de la evaluación técnica, y que consume un tiempo considerable, es la concertación con fabricantes y vendedores de materiales, insumos y equipos para obtener información sobre especificaciones técnicas y precios. En este sentido, el

equipo de diagnóstico debe decidir si vale la pena pedir especificaciones técnicas detalladas (normalmente como parte de una cotización), o solamente obtener información por vía telefónica y/u otro medio electrónico, pero que con frecuencia no produce resultados satisfactorios.

Sin embargo, a través de la experiencia, se puede fortalecer la comunicación con los proveedores, así como desarrollar un banco de datos, incluyendo costos, de diferentes tipos de materiales, insumos y equipos, haciendo esta evaluación técnica cada vez más fácil.

Un caso particular que merece atención especial del equipo de diagnóstico es la condicionante financiera, la cual, y al margen de que la opción de PML pueda tener una alta rentabilidad, puede ser un obstáculo serio para su implementación, sobre todo cuando la empresa no dispone de recursos propios y no tiene acceso a crédito. En este caso, si la naturaleza técnica de la opción planteada requiere de una inversión cuyo monto no es accesible (por ejemplo, para adquirir un equipo o tener acceso a un servicio básico), se debe analizar la posibilidad de modificar dicha opción, a fin de viabilizarla en términos financieros antes de ser descartada.

### **Paso 13. Evaluación técnica – Aspectos ambientales**

El objetivo de esta evaluación es cuantificar la reducción en cantidad absoluta, concentración y peligrosidad, tanto de los insumos utilizados, como de los residuos asociados a las salidas de las operaciones unitarias modificadas. Para cuantificar y presentar los resultados de dicha reducción el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- Para cada operación unitaria y, si fuera el caso, para el proceso global, comparar los balances de masa y energía actuales (Paso 7) con los proyectados en base a las opciones de PML planteadas (Paso 12), a fin de cuantificar las reducciones mencionadas, halladas en términos de cantidades, concentraciones y peligrosidad.
- Expresar estas reducciones en términos de indicadores de desempeño relacionados con:
  - La eficiencia en el uso de materias primas, agua, energía y/u otros insumos. Los siguientes indicadores ilustran este concepto: la reducción en el uso de insumos por unidad de producto, expresado, por ejemplo, en [kg de insumo/kg producto] o [kWh de consumo/kg de producto]; y la reducción de residuos por unidad de producto, expresado, por ejemplo, en [kg de residuo/kg de producto].
  - El reciclaje, reuso y/o recuperación de residuos, como tales o transformados, y para los que se puede encontrar o se encontró un uso interno o externo a la planta, o un mercado. Para expresar las cantidades recicladas, reusadas y/o recuperadas, se pueden utilizar indicadores similares por unidad de producto.

Las opciones ambientalmente viables pueden ser calificadas como técnicamente viables y pueden pasar a ser evaluadas en términos económicos. Aquellas opciones con impactos ambientales previstos como desfavorables, deben ser descartadas.

Rol del equipo de diagnóstico: Es importante que el equipo de diagnóstico documente la información procesada sobre los beneficios ambientales proyectados a partir de las opciones de PML en evaluación.

Asimismo, es importante que el equipo de diagnóstico elija indicadores de desempeño apropiados, a fin de que éstos puedan ser útiles para hacer el seguimiento a las opciones implementadas y para realizar comparaciones futuras. Esta información es útil tanto para el industrial como para las agencias ambientales que apoyan este tipo de diagnósticos.

### **Paso 14. Evaluación económica**

El objetivo de esta evaluación es determinar la factibilidad económica de las opciones de PML calificadas en el paso anterior como técnicamente viables.

A fin de facilitar la evaluación económica, se requiere establecer ciertos criterios económicos (ver Anexo E, en el que se describen tres de estos criterios económicos) que permitan analizar el beneficio económico que se obtendría de la inversión destinada a implementar las opciones de PML. Los criterios económicos mencionados pueden establecerse en base a la aplicación de cuatro conceptos financieros, que también se describen en el Anexo E.

Sin embargo, existen dos criterios sencillos que son adicionales a los criterios más sofisticados que se describen en el Anexo E, y que son de uso frecuente en la evaluación económica de las opciones de PML técnicamente viables. Estos criterios sencillos fueron construidos en base a indicadores establecidos por el CPTS, ver adelante, incisos **a)** y **b)**, y con fundamento en los siguientes conceptos financieros:

- Período de recuperación (**PR**) de la inversión
- Rentabilidad de la inversión (**RI**)

#### **a) Período de recuperación (PR) de la inversión.**

Este concepto financiero se define como el número de períodos de tiempo (**PR**) que se requeriría para recuperar la inversión inicial (**I<sub>0</sub>**), asumiendo que en cada período se recupera un mismo monto de dinero, que es igual al valor del flujo de caja (**FC**) estimado para el primer período.

Por lo tanto, el período de recuperación (**PR**) se expresa en términos de la inversión inicial **I<sub>0</sub>** y del flujo de caja **FC** mediante la siguiente ecuación:

$$PR = \frac{I_0}{FC} \quad (1)$$

El flujo de caja (**FC**) para un período cualquiera (normalmente, cada período es de un año), se define como el ingreso neto obtenido en ese período. El ingreso neto se calcula por diferencia entre el ingreso bruto y el correspondiente costo imputado a las operaciones productivas durante dicho período.

Para propósitos de la presente guía, el concepto de flujo de caja (**FC**) se expresa también en términos del ingreso neto, pero solamente de aquél que se deriva de la implementación de opciones de PML, y no en términos del ingreso neto total de las operaciones globales de producción de la empresa.

En el FC de una opción de PML se ha considerado necesario distinguir el componente de ingreso del componente de ahorro porque su naturaleza es distinta. El ahorro es un flujo de dinero que se retiene, se evita que salga de la empresa, en tanto que el ingreso es un flujo de dinero que entra a la empresa. Así, una medida de producción más limpia genera ahorros cuando reduce los costos operativos de la empresa y, genera ingresos, cuando, por ejemplo, contribuye a la mejora del precio de venta de los productos, lo que ocurre generalmente cuando la medida de PML mejora la calidad del producto, o a la venta de residuos que antes eran desechados.

Por lo tanto, el flujo de caja, **FC**, se define como el ingreso neto del primer período y está dado por la suma del ingreso bruto y el ahorro neto calculados para ese período:

$$FC = Y + A \quad (2)$$

donde:

Y: Ingreso bruto estimado para el primer periodo (generado por la opción de PML en evaluación).

A: Ahorro estimado para el primer periodo (generado por la opción de PML en evaluación).

El ahorro no es más que la diferencia entre el costo operativo actual sin la implementación de la opción de PML y el costo operativo con su implementación:

$$A = C - C_{PML} \quad (3)$$

donde:

A: Ahorro estimado para el primer período, (generado por la opción de PML en evaluación).

C: Costo operativo para el primer periodo si no se implementa la opción de PML.

$C_{PML}$ : Costo operativo, para ese mismo período si se implementa la opción de PML.

Reemplazando (3) en (2), se obtiene que:

$$FC = Y + A \quad (4)$$

Cabe hacer notar que al momento de evaluar las opciones de PML, normalmente no se dispone de información sobre las condiciones de financiamiento para implementar la opción. Por esta razón, para el cálculo del **FC** no se toma en cuenta el costo del capital de inversión y, para el cálculo del **PR**, no se toma en cuenta el valor del dinero en el tiempo porque no se dispone de una tasa de descuento. Reemplazando **FC** en la ecuación de **PR**, se obtiene que:

$$PR = \frac{I_0}{(Y + A)} \quad (5)$$

Las unidades de **PR** están dadas en [períodos de tiempo], debido a que  $I_0$  se expresa en unidades de [dinero] y **FC** se expresa en unidades de [dinero / período de tiempo]. Por ejemplo, si la inversión inicial  $I_0$  es de 10,000 US\$ y el flujo de caja **FC** es de 2,000 US\$ / año (aquí se entiende que los períodos de tiempo son de un año cada uno). Entonces el período de recuperación será:

$$PR = \frac{10,000 \text{ US\$}}{2,000 \text{ US\$ / año}} = 5 \text{ años}$$

Por lo tanto, **PR** representa el número de períodos (en este ejemplo, 5 años) que tienen que transcurrir para poder recuperar la inversión inicial de 10,000 US\$, a partir de un **FC** de 2,000 US\$/año.

En base al concepto del período de recuperación (**PR**), en el CPTS se ha establecido el siguiente criterio para evaluar las opciones de PML en términos económicos:

Si **PR** ≤ 3 años, la inversión es muy atractiva en términos económicos

Si **PR** > 3 y ≤ 8 años, la inversión es aceptable en términos económicos

Si **PR** ≥ 8 años, la inversión no es atractiva en términos económicos

El número de años que se señala en este criterio se denomina indicador. Estos indicadores fueron definidos por el CPTS como resultado de su experiencia adquirida en la prestación de servicios de asistencia técnica en PML. Dichos indicadores no son necesariamente aplicables a otro tipo de proyectos, sobre todo a aquellos de largo plazo, en los que se debe tomar en cuenta el costo del capital invertido y el valor del dinero en el tiempo.

El primer indicador que aparece en el criterio señalado (i.e. 3 años) establece el tiempo máximo deseable para recuperar la inversión realizada (según ese criterio, menor o igual a 3 años) y, por ende, dicho criterio permite apreciar cuán atractivo es el periodo de recuperación (**PR**) calculado para la opción de PML en evaluación; y es particularmente útil para analizar tiempos de recuperación para pequeñas y medianas inversiones destinadas a implementar opciones de PML. Cuando las inversiones son relativamente grandes, es necesario recurrir a criterios de evaluación económica más refinados, como los que se describen en el Anexo E.

## b) Rentabilidad de la inversión (RI).

Este concepto financiero se define como el porcentaje que representa el **FC** del primer período respecto al monto de la inversión y se expresa en términos de un porcentaje de rentabilidad por período (normalmente anual). Por ejemplo, si el monto de la inversión es de US\$ 100, y el **FC** calculado para el primer año es de US\$ 20, entonces la rentabilidad de la inversión es del 20% anual. Esta definición puede ser expresada mediante la siguiente ecuación:

$$RI = \frac{\text{Flujo de caja del primer periodo}}{\text{Inversión inicial}} \times 100\% \quad (6)$$
$$RI = \frac{FC}{I_0} \times 100\%$$

Donde el flujo de caja (**FC**) de dicho período está asociado exclusivamente al funcionamiento de la opción de PML implementada; y está dado por la ecuación (4). Por lo tanto:

$$RI = \frac{Y + A}{I_0} \times 100\% \quad (7)$$

Las unidades de RI se expresan en [% / período de tiempo], debido a que las unidades del **FC** se expresan en [dinero / período de tiempo], y las de  $I_0$  en [dinero]. Por ejemplo, si el flujo de caja (**FC**) es de 2,000 US\$ / año, y la inversión inicial  $I_0$  es de 10,000 US\$, entonces:

$$RI = \frac{2,000 \text{ US\$ / año}}{10,000 \text{ US\$}} \times 100\%$$
$$= 20\% / \text{año o } 20\% \text{ anual}$$

Por lo tanto, de acuerdo a este ejemplo, el rendimiento de la inversión es del 20% anual. Con base en el concepto financiero de rentabilidad de la inversión (RI), el CPTS estableció el siguiente criterio para evaluar las opciones de PML en términos económicos:

- Si **RI**  $\geq$  33% anual, la inversión es muy atractiva en términos económicos
- Si **RI**  $\geq$  12 y  $<$  33% anual, la inversión es aceptable en términos económicos
- Si **RI**  $<$  12% anual, la inversión no es atractiva en términos económicos

El valor de los porcentajes anuales que aparecen en este criterio está relacionado con el indicador que mide el periodo de recuperación (PR). Dichos porcentajes, al igual que los indicadores mencionados en el punto anterior, surgen como resultado de la experiencia adquirida por el CPTS en la prestación de servicios de asistencia técnica en PML. En este sentido, el presente criterio no es necesariamente aplicable a otro tipo de proyectos, sobre todo aquellos de largo plazo, en los que se debe tomar en cuenta el costo del capital invertido y el valor del dinero en el tiempo. Más aún, cuando las inversiones son relativamente grandes, es necesario recurrir a criterios de evaluación económica más refinados, como los que se describen en el Anexo E. Para más detalle sobre los cálculos económicos, ver ejemplo en Anexo F – 3.

*Rol del equipo de diagnóstico:* Es importante que el equipo de diagnóstico tome en cuenta los siguientes aspectos relacionados con la evaluación económica de las opciones de PML:

- Un primer aspecto, está relacionado con la elección del criterio apropiado para evaluar las opciones de PML en términos económicos. Por ejemplo, para pequeñas inversiones (como aquellas relacionadas con buenas prácticas operativas) e, incluso, en la mayoría de los casos donde se requieren medianas inversiones (como aquellas relacionadas con la adaptación y/o modificación de la actual tecnología en uso), es más que suficiente que el equipo de diagnóstico utilice los criterios basados en el período simple de retorno (**PR**) y en el de rentabilidad de la

inversión (**RI**). Para inversiones relativamente grandes, es posible que el equipo de diagnóstico tenga que utilizar criterios de evaluación más sofisticados (ver Anexo E).

- Un segundo aspecto, tiene que ver con la utilización, por parte del equipo de diagnóstico, de toda la información técnica disponible para estimar, por una parte, el monto de la inversión inicial requerida, y, por otra, el flujo de caja (**FC**) proyectado para el primer período de funcionamiento de la opción de PML (normalmente un año). Para realizar la evaluación económica, se requiere contar con información sistematizada, expresada en términos monetarios, elaborada en base a la información que proviene de los pasos y etapas anteriores. Toda información técnica distorsionada, incompleta, errónea y/o mal utilizada, dará lugar, no sólo a que el equipo de diagnóstico plantee opciones económicas de PML equivocadas, sino también, al descrédito de todos sus planteamientos en general. En este sentido, es importante que el equipo de diagnóstico realice sus planteamientos y utilice dicha información en coordinación directa con el jefe de producción y/o con el personal responsable de una determinada operación unitaria, incluyendo el personal administrativo que proporcionó toda o parte de la información económica y financiera.
- Un tercer aspecto, corresponde a la habilidad del equipo de diagnóstico para proporcionar a la empresa información técnica y económica confiable para propósitos diversos. Por ejemplo, es importante que la empresa pueda tomar decisiones en base a una evaluación económica propia, utilizando la información técnica proporcionada por el equipo de diagnóstico. Esta disponibilidad de información confiable, abre incluso la posibilidad de que una empresa, en caso de tener objetivos ambientales prioritarios o ineludibles, utilice otros posibles criterios, y no necesariamente el económico, al momento de tomar la decisión de implementar una opción de PML.

**Paso 15. Selección y presentación de las opciones de  
producción más limpia factibles**

Después de concluir el estudio de factibilidad, el equipo de diagnóstico debe realizar las siguientes actividades:

- Organizar las opciones de PML factibles en orden de prioridad, según los resultados obtenidos en las evaluaciones técnicas (productivas y ambientales) y económicas.
- Realizar una selección final de las opciones de PML factibles, en base a un orden de prioridad. Para tal efecto, se debe aplicar un procedimiento basado en criterios de prioridad, que están constituidos por los propios criterios utilizados en la evaluación económica, junto con otros que surgen de las necesidades manifiestas de la empresa, y que pueden, incluso, hacer que aspectos operativos y ambientales se antepongan a los económicos en términos de prioridad.
- Una vez realizada la selección final de las opciones de PML, éstas deben ser expresadas en forma de recomendaciones, señalando en forma clara, concisa, exacta y precisa las medidas específicas a ser implementadas por la empresa, la información básica que respalda las medidas propuestas, los beneficios económicos y ambientales que se derivarían de la implementación de tales medidas y los cálculos necesarios que justifican lo expuesto. Las medidas recomendadas deben ser presentadas en un informe de resultados del diagnóstico de PML, en el que se incluyan indicadores productivos y de desempeño ambiental, entre otros.

*Rol del equipo de diagnóstico:* La presentación del informe de diagnóstico de PML constituye la última actividad que realiza el equipo de diagnóstico, salvo que la empresa haya acordado con dicho equipo que éste debe continuar colaborando con su Comité de PML en la implementación de las recomendaciones, así como en el seguimiento y evaluación final de las recomendaciones implementadas (ver Etapa 5).

## 4.5 ETAPA 5: IMPLEMENTACIÓN, SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN FINAL

Los objetivos de esta etapa son:

- hacer efectivo el programa de PML;
- verificar sus resultados; y
- promover la continuidad del programa.

Con la entrega del informe de diagnóstico, el manejo de las actividades del programa de PML se transfiere del equipo de diagnóstico al Comité de PML de la empresa.

- ETAPA 5: IMPLEMENTACIÓN,  
SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN FINAL**
16. Establecer metas y preparar un plan de acción.
  17. Implementar las medidas de PML recomendadas.
  18. Hacer seguimiento y evaluar los resultados de las medidas implementadas.
  19. Asegurar la continuidad del programa de PML.

El Comité de PML de la empresa asume la responsabilidad de ejecutar los siguientes pasos:

***Paso 16. Establecer metas y preparar un plan de acción***

Las actividades que debe desarrollar el comité de PML son:

- Establecer metas específicas para implementar las medidas de PML recomendadas.

Las bases para establecer las metas son:

- Los resultados del diagnóstico.
- Los estándares internos de productividad y eficiencia. Estos indicadores, entre otros, pueden ser: m<sup>2</sup> cuero / m<sup>2</sup> piel; m<sup>3</sup> agua / m<sup>3</sup> bebida; kg desinfectante / kg pollo; kg NaOH / m<sup>3</sup> leche, etc.
- La información histórica sobre las tendencias de generación de desechos o de consumo de materias y energía en los procesos de la empresa. Por ejemplo, kg DBO / tonelada piel procesada.
- Los estándares externos referenciales de eficiencia relacionados con los procesos productivos de otras empresas. Por ejemplo, m<sup>2</sup> cuero / m<sup>2</sup> piel; m<sup>3</sup> agua / m<sup>3</sup> bebida; kg DBO / tonelada producto.

Es deseable que las metas tengan, por lo menos, las siguientes características:

- Deben formularse de manera que sean alcanzables, pero sin sacrificar la eficiencia de las mismas.
- Deben ser definidas en el tiempo (con fechas de inicio y fin).
- Deben ser mensurables; los indicadores deben permitir evaluar el avance del programa.

Algunos ejemplos de metas:

- Reducir en 15% el consumo de energía eléctrica (o de combustible) por unidad de producto durante el primer año del programa.
  - Incrementar en 20% la vida útil de los filtros de agua durante el primer semestre del programa; y en 50% durante el segundo semestre.
  - Reducir las pérdidas de leche de 4 L leche/m<sup>3</sup> leche procesada a 1 L leche/m<sup>3</sup> leche procesada, durante el primer trimestre del programa de reducción de mermas de leche.
- Elaborar el Plan de Acción. Este plan debe incluir, para cada medida de PML recomendada, las metas y sus actividades programadas, los responsables de llevarlas a cabo y el presupuesto asignado. Más aún, el plan debe definir metas, actividades y responsables para realizar el seguimiento y la evaluación final de las medidas de PML implementadas, incluyendo provisiones de presupuesto para este fin.

*Rol del Comité de PML:* Durante la elaboración del plan de acción, es importante que el Gerente de Producción de la planta estimule la participación del personal operativo, no sólo para que éste se interiorice de las medidas de PML recomendadas, sino también como una forma de lograr su compromiso y de que se tome conciencia de los beneficios que conllevan dichas medidas para el futuro de la planta.

### ***Paso 17. Implementar las medidas de PML recomendadas***

En base al plan de acción, el Comité de PML debe desarrollar las siguientes actividades prioritarias:

- Designar y/o contratar personal responsable de preparar un plan detallado para implementar las medidas de PML recomendadas. Este plan puede incluir, entre otros, la forma específica de implementar medidas sencillas de ahorro de agua y de energía; la selección de equipos; el diseño de modificaciones de las instalaciones; la planificación del presupuesto aprobado para las inversiones requeridas; la previsión y acciones respectivas en relación al posible paro temporal de la línea de producción; el personal responsable de la instalación, la mano de obra involucrada; y otros.
- Ejecutar el programa de implementación de las medidas de PML, incluyendo pruebas preliminares. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas deben registrarse y evaluarse y, en base a ello, modificar y optimizar las operaciones unitarias vinculadas.
- Capacitar personal operativo.
- Poner en marcha la opción de PML implementada.

*Rol del Comité de PML:* Durante la ejecución del programa de implementación de las medidas de PML recomendadas, el Comité de PML debe aplicar controles efectivos para asegurar el logro de las metas preestablecidas en el plan de acción.

Con relación al equipo de diagnóstico, éste queda disponible para brindar aclaraciones y consejos al Comité de PML de la empresa, sólo en lo que concierne a los resultados del diagnóstico.

### ***Paso 18. Hacer seguimiento y evaluar los resultados de las medidas implementadas (monitoreo<sup>1</sup>)***

El objetivo de este paso es comprobar, mediante monitoreo y al cabo de un tiempo preestablecido en el plan de acción, los beneficios que proporciona cada una de las medidas de PML implementadas.

Las actividades que el Comité debe realizar para el efecto, son:

- Usar indicadores útiles y sencillos para evaluar los resultados de la implementación del programa de PML. Algunos ejemplos de indicadores útiles y sencillos, son:
  - Porcentaje de reducción del consumo de materias primas, agua y/o energía, entre otros insumos, respecto a consumos históricos de la planta; y también, pueden expresarse en términos de la cantidad de materia y energía reducidas por unidad de producto.
  - Porcentajes de reducción en la generación de residuos respecto a las cantidades de desecho históricos; y también pueden expresarse en términos de la cantidad de desechos que fue reducida por año o por unidad de producto.

<sup>1</sup> Para los fines de esta guía, "monitoreo" significa: obtención y evaluación sistemática de información.

- Identificar y evaluar el posible efecto de las medidas de PML implementadas sobre las operaciones unitarias vinculadas, a través de consultas con los trabajadores, encargados de producción, calidad, ventas, etc.
- Elevar informes periódicos a la gerencia y, de ésta, a los empleados.

Rol del Comité de PML: Es aconsejable que el Comité de PML designe y/o contrate personal independiente para la evaluación final de las medidas de PML implementadas, estableciendo términos de referencia basados en los indicadores utilizados para definir la eficiencia de las operaciones y la reducción de desechos. Asimismo, y como parte de los términos de referencia, es aconsejable que se definan los métodos a ser utilizados en las mediciones.

Con relación al equipo de diagnóstico, éste normalmente no tiene un rol directo en el seguimiento y evaluación final de las opciones de PML implementadas, salvo que se haya establecido un contrato independiente con la planta para este fin. Sin embargo, al igual que en el anterior paso, el equipo de diagnóstico queda disponible para aclaraciones y consejos a la planta, sólo en lo que concierne a los resultados del diagnóstico, y siempre y cuando, éstos no requieran de una carga significativa de trabajo.

**Paso 19. Asegurar la continuidad del programa de  
producción más limpia**

El Comité de PML debe usar los éxitos logrados en la evaluación final de las medidas de PML implementadas, para motivar y respaldar ante la gerencia de la empresa la continuidad del programa de PML en la planta.

Asimismo, para dar continuidad al programa de PML, se debe identificar problemas asociados a la implementación de las medidas recomendadas, que no han sido resueltos, o mejoras que pueden ser introducidas en otras áreas de la planta. En este sentido, las actividades que pueden ser encaradas como parte de una siguiente fase del programa de PML, incluyen:

- Operaciones unitarias que no fueron evaluadas en detalle.
- Las medidas de PML implementadas que no dieron los resultados esperados.
- Otras actividades de planificación y desarrollo técnico de la empresa (mantenimiento, adquisiciones, estudios de nuevos productos, y otros), que no formaron parte del diagnóstico de PML.

Rol del Comité de PML: El Comité de PML debe considerar la posibilidad de desarrollar el programa de PML en el marco más amplio de la gestión ambiental de la empresa. Para el efecto, se recomienda que dicho comité asuma las siguientes responsabilidades:

- Motivar a la Gerencia General de la empresa a crear un sistema de gestión ambiental (SGA) como parte del sistema global de gestión de la empresa (ver la Sección 3.5), a fin de ampliar el alcance del programa de PML y permitir su mejora continua.

El Comité de PML puede asumir la responsabilidad de coordinar el desarrollo del SGA y de administrarlo.