

---

➤ **Asignatura:** Producción y consumo sustentable

---

➤ **Módulo 3:** Producción Sustentable: El enfoque de producción más limpia como nuevo paradigma del desarrollo

---

➤ **Lección 3:** Selección de soluciones PML: ¿Qué podemos hacer?

---

## Introducción

A diferencia de lo que pudiera pensarse, las empresas no necesitan hacer a un lado sus actuales prácticas y procesos de producción para convertirse en empresas ecoeficientes; por el contrario, la ecoeficiencia motiva una innovación empresarial para adaptar y readecuar los sistemas productivos existentes a las necesidades del mercado y del medio ambiente, y de esa forma consolidar niveles más altos de desarrollo económico, social y ambiental. Para la priorización de las alternativas de actuación ambiental se propone utilizar el enfoque metodológico AHP (Analytic Hierarchy Process), que provee objetivos matemáticos a procesos inevitablemente subjetivos, en donde pueden manifestarse preferencias personales o grupales en torno a la toma de una decisión, minimizando el efecto de dicha subjetividad y la posibilidad de incurrir en errores asociados a la pluralidad de criterios. Ya que el enfoque PML tiene como premisa fundamental la aplicación integral del concepto de mejoramiento continuo, las alternativas de actuación deben ser evaluadas y monitoreadas en cuanto a su efecto en el desempeño ambiental organizacional. Por este motivo se incluye en esta lección un esquema práctico de formulación y aplicación de indicadores ambientales que permiten determinar el grado de avance resultante de la aplicación de las medidas de actuación implementadas, o la brecha entre los resultados esperados y los resultados obtenidos.

## Tema 1: Generación de oportunidades de PML

En general, se parte de la premisa de que los resultados obtenidos en la fase de diagnóstico son concluyentes y que han sido identificadas las principales actividades o procesos unitarios de la organización que generan aspectos e impactos ambientales.

Este es el punto de partida para la identificación de oportunidades de PML. La primera aproximación a las oportunidades de PML requeridas por la organización la constituyen los hallazgos relacionados con el incumplimiento total o parcial, actual o potencial de alguna(s) regulaciones ambientales, seguidas de los hallazgos en términos de ineficiencias en el manejo o consumo de materias primas y recursos naturales y flujos contaminantes.

Las principales líneas estratégicas de selección de oportunidades de PML son: Buenas Prácticas: medidas con alto potencial de ahorro a bajo costo, orientadas a prevenir pérdidas de insumos o recursos, minimización de residuos, ahorro de agua, energía y mejoramiento de la institución. Estas acciones voluntarias se pueden aplicar con el objetivo de racionalizar, reducir, reutilizar y/o reciclar, y mejorar las condiciones de trabajo.

Sustitución de materias primas o insumos: reemplazo de materiales existentes por otros ambientalmente amigables. Es el cambio de sustancias contaminantes o potencialmente tóxicas utilizadas en las actividades productivas, por otras menos peligrosas que den lugar a la reducción del volumen y grado de peligrosidad de las mismas, de sus residuos asociados o del producto en sí mismo al momento de concluir su vida útil.

Cambios en el procedimiento: modificación de las condiciones de los procedimientos, minimizando el consumo de recursos y la generación de residuos y emisiones, sin detrimento de la calidad del entorno organizacional ni del producto terminado o del servicio prestado.

Mejoras tecnológicas: modificación de equipos existentes e instalación de equipos nuevos. Consiste en la sustitución de maquinaria y equipos de tecnología que presentan baja eficiencia ambiental, baja productividad o eficiencia, por equipos y maquinaria con tecnología de punta que propendan por la reducción del consumo de insumos, materia prima y energía, minimicen la generación de cargas contaminantes y mejoren las eficiencias.

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.

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 costos unitarios de producción y costos de operación asociados al tratamiento final de residuos. Como tercera prioridad, y después de haber agotado las dos anteriores, se puede considerar el implementar un sistema destinado al tratamiento final de residuos

(CPTS, 2003). Para el logro del propósito de este componente se debe contar con la mejor información disponible procedente de la fase diagnóstica y de otras fuentes como:

Lluvia de ideas en el equipo de trabajo (Superar obstáculos, promover ideas innovativas, etc) Solicitar ideas fuera del equipo del proyecto (Cubrir todos los niveles de la empresa).Ejemplo de opciones (Bases de datos, manuales, etc.).Chequeo de tecnologías y benchmarking.El principal objetivo en esta fase del APL es generar opciones de minimización de residuos y del consumo de materiales y recursos

## **Tema 2: Selección de soluciones PML – Método de Análisis Jerárquico**

Establecidas las oportunidades de PML, y luego de implementar las opciones obvias, se debe identificar el orden o jerarquía de estas, dependiendo de los aspectos tecnológicos, financieros y ambientales relacionados con las mismas. No todas las oportunidades de PML tienen un carácter urgente ni presentan alto potencial de impacto en cuanto al desempeño ambiental organizacional, mientras que algunas son demasiado demandantes para su implementación, requiriendo plazos más largos para ser llevadas a cabo.El método de evaluación y decisión multicriterio seleccionado fue el AHP (The Analytic Hierarchy Process- Proceso Analítico Jerárquico). Este método, por medio de la construcción de un modelo jerárquico, descompone una situación compleja, la evalúa y entrega una ordenación de las alternativas de solución desde la mejor hasta la peor. El AHP ordena esos elementos en un Modelo Jerárquico, realiza comparaciones binarias (De a pares) y atribuye valores numéricos a los juicios (Preferencias) realizados por las personas (Respecto a la importancia relativa de cada elemento) y los sintetiza, agregando las soluciones parciales en una sola solución (Avila R. 2000). El AHP provee objetivos matemáticos a procesos inevitablemente subjetivos, en donde se manifiesten preferencias personales o grupales en la toma de una decisión.

En este procedimiento, el tomador o tomadores de la decisión deben hacer un juicio sobre la importancia relativa de cada uno de los objetivos y, acto seguido, definir cierta preferencia para cada una de las alternativas en relación con cada objetivo. El resultado es una clasificación con prioridades, que indica la preferencia general para cada una de las alternativas de decisión.La principal ventaja del AHP radica en que además de analizar cada uno de los aspectos de interés, comparándolos con los demás, de manera individual, permite obtener resultados y objetivos a procesos subjetivos; este método logra la participación de todos los niveles y miembros de la organización en el proceso, que mediante este método tienen la oportunidad de intervenir en la forma en que se orientará el proyecto o la aplicación de las oportunidades de PML en un orden lógico eficaz.El primer paso para la selección del modelo a implementar, mediante AHP, es la determinación de los factores y las variables que influirán en el proceso de selección. Estos son la base de aplicación de los criterios con respecto a los cuales se realizará la

jerarquización, a través de comparación por pares. Luego de contar con el listado de alternativas u oportunidades de PML, el primer paso para la selección del modelo a implementar mediante AHP, es la determinación de los factores y las variables que influirán en el proceso de selección. Estos son la base de aplicación de los criterios con respecto a los cuales se realizará la jerarquización, a través de comparación por pares. El primer nivel de la jerarquía indica que la meta general es seleccionar la mejor oportunidad de PML, asignando un nivel de jerarquía a las demás disponibles o identificadas. En el segundo nivel se señalan los criterios (Ambientales, Tecnológicos y Financieros, como mínimo) que contribuirán a lograr la meta general. El tercer nivel corresponde a subcriterios para cada uno de los cuatro criterios y el cuarto nivel se refiere a cada alternativa de decisión factible (p.e. para evaluar los criterios ambientales podría tenerse en cuenta el potencial de las oportunidades de PML para minimizar la generación de residuos, su potencial para reducir el consumo de recursos, entre otros. Para los criterios tecnológicos pueden incluirse como subcriterios la complejidad o grado de dificultad en la ejecución o puesta en marcha de las oportunidades de PML planteadas, el grado de formación especializada del personal para su operación, entre otros. Para el caso de los subcriterios financieros podrían tenerse en cuenta los costos de inversión, los costos de operación y mantenimiento, la capacidad de endeudamiento de la organización, entre otros). Definidos los criterios y subcriterios se procede a la comparación por pares (uno a uno) de los mismos para asignarles pesos relativos en el proceso de decisión. Al terminar, este procedimiento se repite, pero en esta ocasión se comparan las oportunidades de PML previamente identificadas y caracterizadas entre sí. Estos procedimientos de comparación se realizan a través de matrices y con la aplicación de juicios numéricos en una escala que va de 1/9 a 9. Esta escala fue establecida por Saaty (1.980), no en forma arbitraria, sino como producto de todo un estudio de base experimental, donde se ha confirmado que una escala de nueve elementos es razonable y refleja de manera suficiente los distintos grados o niveles en los cuales una persona puede discriminar la intensidad de la relación entre elementos de un conjunto dado. De esta manera, todas las comparaciones, y por ende las mediciones, cuando se usa esta técnica y las variables, no son cuantificables; se hacen en la misma escala. (ARAPE 2000). Una vez que se tienen las matrices de comparación por pares, podemos calcular la prioridad de cada uno de los elementos que se están comparando. El procedimiento matemático exacto para efectuar la síntesis involucra el cálculo de vectores característicos. Una aproximación casi exacta de estos valores se puede lograr mediante el siguiente procedimiento: Paso 1. Sumar los valores de cada columna de la matriz de comparación por pares. Paso 2. Dividir cada uno de los elementos de la matriz de comparación por pares entre el total de su columna; la matriz resultante se conoce como matriz de comparación por pares normalizada. Paso 3. Calcular la media de los elementos de cada fila de la matriz normalizada; estas medias nos dan una estimación de las prioridades relativas de los elementos que se están comparando. Relación de consistencia Una consideración importante acerca de la calidad de la decisión final se relaciona con la consistencia en los juicios, demostrada por el tomador de decisiones

durante la serie de comparación por pares. Debe aceptarse que es difícil conseguir consistencia perfecta y que puede aceptarse alguna falta de consistencia en prácticamente cualquier juego de comparaciones por pares. AHP brinda un método para medir el grado de consistencia; si el grado de consistencia es aceptable, el proceso de decidir puede continuar, de lo contrario, el tomador de decisiones debe reconsiderar y posiblemente revisar los juicios de comparación por pares, antes de seguir adelante en el análisis. El juicio de consistencia se diseña de tal manera que los valores de relación por arriba de 0.10 indica juicios inconsistentes. Valores de relación de consistencia de 0.10 o inferiores, se consideran con un nivel razonable de consistencia. La relación de consistencia se puede calcular mediante el siguiente procedimiento:

**Paso 1.** En la matriz de comparación por pares multiplique cada uno de los valores de la primera columna por la prioridad relativa del primer elemento considerado; multiplique cada valor de la segunda columna por la prioridad relativa del segundo elemento y así cada columna por el elemento correspondiente. Sume los valores ubicados a lo largo de los renglones para obtener un vector de valores conocido como suma ponderada.

**Paso 2.** Divida los elementos del vector de sumas ponderadas, obtenido en el paso 1, entre el valor de prioridad correspondiente.

**Paso 3.** Calcule la media de los valores encontrados en el paso 2; esta se identificará como  $\lambda_{\max}$ .

**Paso 4.** Calcule el índice de consistencia (CI), que se define como:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$n - 1$$

Donde:  $n$  = Número de elementos que se comparan

**Paso 5.** Calcule la relación de consistencia (CR) que se define como:  $CR = CI / RI$  Donde RI, como se describió anteriormente es el índice aleatorio de consistencia de una matriz de comparación por pares generada al azar. Este valor ha sido definido empíricamente, resultando los siguientes valores con un aceptable nivel de ajuste, de acuerdo al autor de la metodología:

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	21
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	2.1

La síntesis provee las prioridades relativas para las oportunidades de PML respecto a cada uno de los subcriterios y criterios analizados.

## Tema 3: Evaluación de la viabilidad de las soluciones PML

Tras jerarquizar las oportunidades de PML o de forma simultánea el proceso de jerarquización, estas deben ser evaluadas en términos de su viabilidad técnica, financiera y ambiental. Estos análisis deben involucrar el cruce de variables que permitan identificar

qué aspectos o componentes de la organización son insuficientes para el abordaje de las diferentes oportunidades de PML desde una perspectiva práctica. En este sentido, los tomadores de decisiones (Equipo de PML) deberían analizar, desde lo técnico, aspectos como la disponibilidad e integridad del equipo PML, requisitos para los servicios, monitoreo del proceso y control, requerimientos de mantenimiento, habilidades técnicas requeridas (operadores, técnicos), entre otros aspectos. Desde lo financiero, se podrían considerar aspectos como los costos de inversión (Equipo, construcción, entrenamiento, puesta en marcha, etc.), costos y beneficios operacionales (Antes y después de la comparación); comparando las diferentes oportunidades de PML desde una aproximación metodológica que involucre criterios económicos y financieros como el Valor Presente Neto, la Tasa Interna de Retorno, los Costos de Oportunidad, entre otros. Por último, desde lo ambiental se pueden evaluar aspectos como la reducción de la toxicidad de emisiones y residuos; la sustitución de materiales no renovables; la reducción de la cantidad de contaminación y residuos generados; la reducción de energía, consumo de material y agua; reducción de la carga contaminante en la producción, entre otros. Luego de evaluada la viabilidad de las diferentes oportunidades de PML, se procede a su implementación o puesta en marcha. Este paso debe desarrollarse cuidadosamente, evaluando detalladamente los requerimientos de las diferentes oportunidades de PML en cuanto a especificaciones técnicas, instrucciones de puesta en marcha o planos (Si aplica); evaluando comparativamente las ofertas de diferentes proveedores o las diferentes alternativas de abordaje metodológico, aplicando una correcta planeación para reducir el tiempo requerido para su ejecución. Así mismo, debe controlarse el proceso de implementación para que esta se desarrolle adecuadamente y prepararse para la "puesta en marcha", disponiendo de alternativas de actuación frente a contingencias, cambios inesperados y otros sucesos que no hagan parte del funcionamiento normal de las medidas. Al tiempo se debe contar con un cronograma de mantenimiento preventivo o de retroalimentación y ajuste de las medidas y contar con el personal requerido debidamente preparado y capacitado. Sin embargo, las medidas implementadas no darán los resultados requeridos o en caso de hacerlo no nos enteramos de su efectividad a menos que se cuente con instrumentos que nos permitan evaluar su desempeño. Cabe entonces implementar mecanismos que nos permitan evaluar las mejoras obtenidas en cuanto al desempeño ambiental organizacional como efecto de la implementación de las medidas derivadas de las oportunidades de PML, a través de un sistema de indicadores, que nos permita comparar los beneficios medibles con los esperados y empezar a explorar otras oportunidades de PML para continuar el ciclo del Mejoramiento Continuo. En el Módulo 2 nos referimos a algunos indicadores ambientales como son la huella hídrica y la huella ecológica, ahora vamos a hablar sobre los indicadores de desempeño ambiental, que son indicadores que brindan la información requerida para una gran variedad de datos ambientales. Ellos permiten a quienes toman decisiones tener una rápida visión del progreso y de los problemas de protección ambiental que todavía deben ser resueltos. Sobre estas bases, objetivos realistas de mejora de desempeño ambiental pueden ser identificados y

cuantificados, lo cual es necesario para controlar los logros. (Jasch, 2002.) En términos generales, los indicadores medioambientales se encargan de resumir datos extensos en información clave, significativa y comparable, con el fin de presentar el comportamiento de una organización de manera exhaustiva y cuantificable, como medida de gestión de la política medioambiental. Dentro del conjunto de indicadores que se pueden definir, se debe diferenciar entre los indicadores en términos absolutos, que no indicarán el consumo de recursos y sus emisiones y los elaborados en términos relativos, que se encargará de considerar la eficiencia de la producción, para el análisis de la mejora. (Jiménez, 2009.) Es particularmente importante mantener indicadores de desempeño ambiental, tanto en rangos absolutos, como en rangos normalizados, por unidad de consumo o de producción en forma que puedan ser comparables. Ya que mientras las figuras absolutas nos dan información sobre la escala del impacto ambiental, las figuras normalizadas nos proveen de información sobre la eficiencia de las operaciones de la organización. Los indicadores de desempeño ambiental deben incluir todos los flujos de materiales y energía que ingresan o egresan a la organización, la forma en que lo hacen así como el medio en que lo hacen. Para la formulación de indicadores de desempeño ambiental se debe considerar:

**Listado de materiales:** entendidos estos como cualquier producto físico que se utilice en las operaciones de la organización, sin importar si es de forma directa o indirecta. La organización debe mantener un listado actualizado de todos los materiales actualizados y su procedencia.

**Uso de la energía,** tanto directo como indirecto: se debe considerar toda la energía utilizada por la organización sin importar cómo esta es adquirida, utilizando una medida estándar para su cuantificación. El uso directo de la energía hace referencia a la energía utilizada tanto para sus propios fines como para comercializar productos de energía (Recibe combustible para vender electricidad) y la energía indirecta, es decir la utilizada para producir energías secundarias (Convertir electricidad en calor). Se debe tener cuantificada la energía utilizada, su uso principal y las fuentes de donde se obtiene, asignando los respectivos porcentajes. Se debe establecer si existen programas o iniciativas encaminadas al uso eficiente y ahorro de energía, por parte de la organización, teniendo en cuenta cuál es el ahorro y los beneficios ambientales.

**Uso del agua:** es uno de los principales indicadores y debe tenerse en cuenta el consumo total de la organización, así como el consumo por cada una de las actividades, productos y servicios. Se debe tener claramente qué ecosistemas se ven afectados por el uso del agua en la organización, teniendo en cuenta las alteraciones físicas y químicas que se alteran después de los procesos o las actividades realizadas por la organización. Es importante también identificar y cuantificar la cantidad de agua reutilizada y reciclada.

**Localización y cantidad de superficie utilizada en hábitats con alta biodiversidad:** con relación a la biodiversidad existe una gran cantidad de indicadores de desempeño ambiental encaminados a identificar los impactos que la organización genera sobre los seres vivos y las interrelaciones de estos con el medio. Los indicadores están dirigidos a evitar operar en zonas megadiversas o de alta diversidad, puesto que el operar allí ya genera un impacto. Los impactos sobre áreas protegidas o sensibles son de mayor prioridad y deben ser supervisados en forma

independiente. Así mismo, los impactos en hábitats naturales deben tener mayor análisis que los generados en áreas intervenidas o impactadas (No se genera el mismo impacto con la disposición de un litro de petróleo en el drenaje de una ciudad que tiene sistema de tratamiento de aguas residuales, que en un ecosistema natural, un río, una quebrada, etc.). Se debe prestar especial interés a aquellas especies en peligro de extinción o especies, tanto de plantas como animales, que se encuentren protegidos por algún programa, teniendo en cuenta su vulnerabilidad. Toda salida de la organización debe ser supervisada a fin de que su manejo, después de dejar la organización, no cause impactos ambientales y se tenga en cuenta para la formulación de indicadores, emisiones, efluentes y desperdicios.

**Desempeño ambiental de proveedores:** el proveedor es todo aquel que suministra a la organización bienes o servicios. La organización debe conocer el desempeño ambiental de sus principales proveedores con evaluaciones directas o con datos suministrados por ellos mismos. Es una ventaja y un buen indicador el requerir que los proveedores cuenten con un sistema de gestión ambiental.

**Impactos ambientales significativos de productos y servicios:** los productos y servicios de la organización pueden causar impactos ambientales durante toda su vida útil. Indicadores de cómo se manejan esos productos y servicios y su impacto sobre el medio ambiente son prioritarios para determinar la responsabilidad social de la organización en la dimensión ambiental; los impactos ambientales deben ser identificados, analizados y controlados, tanto como sea posible.

**Los porcentajes del producto (En peso)** que son potencial o realmente reutilizables y/o reciclables son indicadores que nos permiten evaluar el desempeño intencional de la organización, así como su eficiencia en la intención.

**Cumplimiento legal:** el cumplimiento de la legislación ambiental hace que una organización presente un buen indicador de desempeño y sea socialmente responsable.

**Actividades de incumplimiento:** un accidente no implica una irresponsabilidad, siempre y cuando sea supervisado y sus impactos remediados. Reportes de multas y amonestaciones son indicadores de la intención del cumplimiento de la organización. Se debe tener en cuenta la legislación a nivel internacional, nacional, regional y local.

**Impactos ambientales del transporte utilizado:** los impactos asociados al transporte, utilizados por la organización deben ser supervisados y controlados; deben incluir valoraciones absolutas como relativas al producto, operación, uso y tipo de transporte. Se debe tener en cuenta también el transporte utilizado para cuestiones administrativas.

**Otros:** existen otros aspectos ambientales que cada organización conoce como particulares a sus actividades, productos y servicios y que se deben considerar al establecer indicadores de desempeño ambiental.

---

## Palabras clave

Selección de alternativas

priorización

indicadores ambientales



## Bibliografía

- Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles. (2005). Guía Técnica General de Producción Más Limpia. -, de Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles sitio web: <http://www.cpts.org/publicaciones.php>