

# MANUAL DE PRODUCCION LIMPIA

Claudio A. Zaror  
Universidad de Concepción

## 1) EL CONCEPTO DE PRODUCCION LIMPIA

Durante muchos años, gran parte de los esfuerzos de control ambiental en la industria, estuvieron centrados en el tratamiento de los residuos líquidos, gaseosos y sólidos. Sin embargo, las graves crisis ambientales sufridas por muchos países en las últimas décadas y las presiones impuestas por el creciente costo de las materias primas, energía y agua, han modificado drásticamente tales enfoques.

Los problemas ambientales generados por las emisiones de residuos de producción, por el excesivo consumo de recursos naturales y por los accidentes en el transporte y procesamiento de materiales peligrosos, han tenido repercusiones que van más allá de las fronteras de los países individuales. Ello se ha traducido en fuertes presiones económicas y legales, a nivel internacional, para lograr niveles de desempeño ambiental cada vez más exigentes, en todos los sectores industriales.

En particular, los crecientes costos asociados al tratamiento y vertido de residuos, han motivado la elaboración de nuevos enfoques de control ambiental. La Figura 1 muestra que los residuos generados en los procesos productivos son pérdidas netas de recursos materiales y energéticos, que no han sido incorporados en el producto final. Resulta lógico, por lo tanto, llevar a cabo todos los esfuerzos necesarios, **para reducir tales pérdidas de recursos e incrementar la productividad global del proceso**. De este modo, se logra una reducción de los residuos generados y también una disminución de los recursos consumidos por unidad de producto.

Este concepto de **eco-eficiencia** es uno de los pilares de las estrategias modernas de control ambiental, ya que al incrementar la eficiencia de utilización de los recursos, se reduce el impacto ambiental del proceso de producción:

$$\text{ECO-EFICIENCIA} = \frac{\text{PRODUCTOS}}{\text{RECURSOS CONSUMIDOS}}$$

**La Producción Limpia consiste en la aplicación continua de una estrategia ambiental preventiva e integrada a los procesos, productos y servicios, con el objeto de incrementar la eficiencia, la productividad y reducir los riesgos para el ser humano y el medioambiente, incrementando simultáneamente la productividad y la competitividad.**

El concepto de Producción Limpia se debe aplicar a través de todo el ciclo de vida del producto, desde la selección de materias primas hasta la disposición final de los residuos generados, considerando:

- selección de materias primas cuyo uso genere un menor impacto ambiental negativo
- promoción de la eficiencia de los procesos productivos

- aplicación y/o desarrollo de tecnologías más eficientes
- prevención de la contaminación
- aseguramiento de la inocuidad de los productos
- reutilización, recuperación y reciclaje de insumos y residuos
- mejoramiento de las condiciones de seguridad e higiene laboral
- capacitación del personal en materias de PL

Ello involucra la introducción de medidas tecnológicas y de gestión, orientadas a reducir los consumos de materiales y energía, prevenir la generación de residuos en su fuente misma, reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de todo el proceso de producción.

Esta estrategia preventiva tiene la ventaja de que considera el control ambiental como parte integral del proceso de producción, y surge como consecuencia de una gestión productiva más eficiente. El control ambiental coincide con un mejor aprovechamiento de las materias primas, insumos materiales y energéticos utilizados, en base a un eficiente sistema de gestión, donde se aprovecha al máximo el potencial de la tecnología existente y se identifican, permanentemente, oportunidades de mejoramiento en todas las áreas y actividades de la empresa.

Las modificaciones tecnológicas e innovaciones a los procesos industriales aparecen como conclusión de un proceso de búsqueda de un mejor desempeño productivo, que persigue reducir costos e incrementar la eficiencia de dichos procesos, generando un aumento en los beneficios económicos de la empresa.

Todos estos elementos se integran en el concepto de Producción Limpia<sup>1</sup>. Lo que en la década de los 80 surgió como un nuevo paradigma de los países de mayor desarrollo industrial, se ha constituido en un principio fundamental para el desarrollo de la actividad industrial, en el contexto de una real sustentabilidad económica y ambiental.

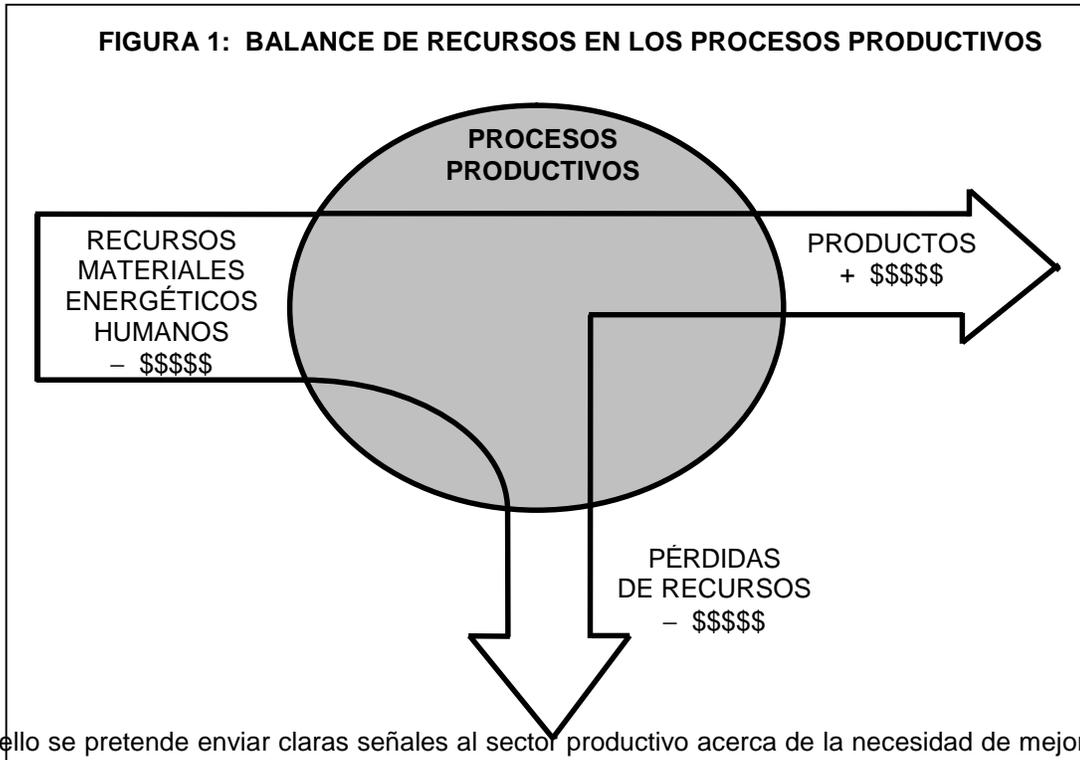
#### **Los Desafíos:**

La Agenda 21 acordada en Río de Janeiro y las conclusiones del Tercer Foro de Desarrollo Productivo realizado en 1997, han fomentado la producción limpia como componente básico de una política de desarrollo económico-social. Estas políticas tienen como propósito general catalizar, incentivar y facilitar el aumento de la competitividad y el desempeño ambiental de las empresas, apoyando el desarrollo de la gestión ambiental preventiva para generar procesos de producción más limpios, incluyendo el uso eficiente de la energía y el agua. En concreto, ello implica:

- Promover la eficiencia de los procesos productivos, mejorando la competitividad de la empresa.
- Promover la prevención de la contaminación, minimizando la generación de residuos y emisiones lo más cercanamente a la fuente.
- Promover el uso eficiente de la energía y el agua.
- Incentivar la reutilización, la recuperación y el reciclaje de residuos
- Contribuir al desarrollo de tecnologías de abatimiento más eficientes, cuando éstas sean la única opción económicamente viable.

---

<sup>1</sup> Otros sinónimos utilizados comúnmente para expresar este concepto son :  
 “producción mas limpia”, “procesos limpios”, “tecnologías limpias”, “procesos menos contaminantes”.



Con ello se pretende enviar claras señales al sector productivo acerca de la necesidad de mejorar los procesos para un real aprovechamiento de todos los recursos, actuales y potenciales:

- ***Cada residuo debe ser visto como una oportunidad de nuevos negocios, de nuevos subproductos.***
- ***Cada pérdida debe ser identificada y minimizada, pues atenta directamente contra la competitividad de la empresa.***
- ***Cada producto fuera de especificación o sub-estándar debe ser visto como una amenaza a la existencia de la empresa.***

## **2) CONSIDERACIONES DE DISEÑO DE PROCESOS LIMPIOS**

El diseño de procesos limpios se basa en el uso de las herramientas clásicas de la ingeniería, para concebir un esquema de producción que considere tanto los aspectos técnico-económicos como los ambientales y de seguridad y salud ocupacional. En este sentido, la experiencia acumulada en las últimas décadas ha permitido establecer algunos principios básicos orientadores, dentro de los cuales, se deben buscar las oportunidades para satisfacer los objetivos económicos y ambientales. La Tabla 1 resume tales principios técnicos generales, algunos de los cuales se exponen con mayor detalle más adelante.

Los impactos ambientales asociados a cada alternativa de proceso deben ser evaluados oportunamente y considerados en la selección de las opciones más atractivas, desde el punto de vista técnico, económico y ambiental.

**TABLA 1: CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO Y OPERACIÓN DE PROCESOS LIMPIOS**

<ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizar la evaluación de impacto ambiental como herramienta en todas las fases de un proyecto y considerar los impactos inducidos en todo el ciclo de vida del producto.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Minimizar la generación de residuos en su fuente, a partir de tecnologías de mayor eficiencia, gestión de producción adecuada y buenas prácticas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Seleccionar recursos materiales y energéticos con menor impacto ambiental potencial.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reducir los requerimientos materiales y energéticos, a través de la incorporación extensiva de procesos más eficientes y de sistemas de recuperación de recursos.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Implementar sistemas de control robusto, que minimicen las desviaciones de las condiciones de operación fuera de los rangos aceptables.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Privilegiar la reducción de riesgos de accidentes, durante todas las fases del proyecto.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Implementar sistemas de tratamiento de residuos de alta eficiencia, con menores impactos ambientales secundarios, actuando sobre líneas residuales segregadas.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Adaptar las especificaciones de los productos, para facilitar la recuperación y el reciclado de los residuos derivados de su consumo.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Segregar los diferentes flujos de materiales, de modo que sea posible recuperar, reciclar o reutilizar los recursos presentes en las líneas residuales</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Implementar sistemas de gestión integral: medio ambiente, calidad, seguridad y salud ocupacional, incluyendo a todos los actores sociales internos y externos.</li></ul>
<b>ACERCA DE LAS MATERIAS PRIMAS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Abundancia de materias primas en el sistema. Fuentes y tasas de renovación.</li><li>• Impactos ambientales durante la extracción, transporte y almacenamiento de dichas materias primas.</li><li>• Niveles de toxicidad, reactividad, inflamabilidad, volatilidad y otras características relevantes para la salud, la seguridad y el ambiente.</li><li>• Presencia de componentes potencialmente contaminantes que no son consumidos durante el proceso de manufactura y que pueden generar residuos no deseados. Características de dichos componentes.</li><li>• Potencial reciclable de los residuos.</li></ul>
<b>ACERCA DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Requerimientos energéticos del proceso, fuentes primarias de energía y su impacto ambiental.</li><li>• Disponibilidad local de los recursos energéticos: combustibles y electricidad.</li><li>• Costos asociados a los recursos energéticos</li><li>• Eficiencias de utilización energética.</li><li>• Impactos ambientales asociados con su generación y consumo, riesgos de accidente, etc..</li><li>• Valor estratégico de los recursos energéticos requeridos.</li></ul>
<b>ACERCA DE LOS RECURSOS TECNOLÓGICOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Eficiencia de utilización de los recursos materiales y energéticos.</li><li>• Controlabilidad y estabilidad operacional.</li><li>• Riesgos operacionales; áreas críticas del proceso; factores de seguridad utilizados; materiales peligrosos, etc..</li><li>• Nivel de complejidad tecnológica. Requerimientos de entrenamiento, mantención y gestión de producción.</li><li>• Sistemas de tratamiento de residuos gaseosos, líquidos y sólidos; estabilidad operacional; efectos potenciales de compuestos inhibidores en los residuos; residuos secundarios; cambios de fase.</li></ul>
<b>ACERCA DE LOS PRODUCTOS</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Naturaleza del producto; composición, estabilidad, peligrosidad.</li></ul>

- Riesgos en el almacenamiento, transporte y consumo de los productos.
- Residuos secundarios generados en el consumo. Características, peligrosidad, riesgos asociados a su recolección y vertido. Potencial reciclable. Mercado potencial. Costos de recolección y transporte, incentivos económicos, etc..

### **Importancia de la Gestión Ambiental**

El desarrollo de procesos y tecnologías con menor impacto ambiental, ha ido acompañado de la generación de nuevos conceptos acerca de la gestión de procesos. La importancia de este aspecto ha sido ampliamente reconocida, ya que ninguna tecnología, por muy "limpia" que sea, podrá cumplir con su objetivo de diseño, si no existe una gestión adecuada, que:

- Asegure un alto grado de compromiso, motivación y entrenamiento de todo el personal, en todos los niveles de la empresa,
- Desarrolle e implemente una política integral, que incluya los requerimientos de respeto al medio ambiente, calidad, y altos estándares de seguridad y salud ocupacional,
- Asegure una efectiva planificación e implementación de las actividades requeridas para cumplir con los objetivos.
- Realice mediciones y seguimiento de las acciones realizadas, corrija las desviaciones y anticipe problemas mediante medidas preventivas.
- Permita un mejoramiento continuo de su accionar, adaptándose en forma proactiva a los cambios internos y externos.

### **3) PRODUCCIÓN LIMPIA EN PROCESOS EXISTENTES**

En muchos casos, se debe enfrentar la tarea de mejorar el desempeño de empresas que llevan años de operación y que no presentan los estándares ambientales requeridos. El mejoramiento del desempeño ambiental de una empresa se logra mediante la implementación de:

- Medidas de gestión
- Modificaciones tecnológicas.

En una primera fase se pueden alcanzar beneficios ambientales significativos a través de medidas de muy bajo costo, destinadas a mejorar la capacidad de gestión. Las modificaciones mayores implican grandes inversiones, por lo que sólo se deben implementar una vez que se hayan agotado las medidas de gestión tendientes a obtener el máximo potencial de la base tecnológica existente.

En la gran mayoría de los casos, la implementación de medidas de gestión va acompañada de modificaciones tecnológicas menores relativamente sencillas y de bajo costo, destinadas a:

- Mejorar las competencias del personal en materias técnicas ambientales, prevención de riesgos laborales y otras donde existan brechas importantes.
- Reemplazar y/o reparar aquellas unidades críticas que afectan la eficiencia operacional, la calidad del producto, la seguridad y el desempeño ambiental.
- Evitar pérdidas obvias de materiales y energía.
- Mejorar la capacidad para medir las principales variables de proceso e implementar sistema de control donde sea necesario.

- Facilitar la gestión y tratamiento de los residuos mediante una segregación racional que privilegie un mejor aprovechamiento de los recursos.

Para llevar a cabo tales medidas, es necesario identificar las principales debilidades y fortalezas de la empresa en materia productiva, ambiental, seguridad y salud ocupacional, incluyendo las oportunidades y amenazas que enfrenta.

Típicamente, la revisión (auditoría) inicial puede comprender los siguientes objetivos:

- Identificar los requisitos legales y reglamentarios relacionados con medio ambiente, seguridad y salud ocupacional, u otros requisitos impuestos por el mercado. Interesan tanto los requisitos actuales, como aquellos que se prevén a mediano plazo, en el país e internacionalmente.
- Identificar, caracterizar y cuantificar los residuos sólidos, líquidos, atmosféricos, sustancias peligrosas, consumos de agua y energía, u otros aspectos relevantes asociados a las actividades de la empresa, los principales peligros operacionales y evaluar los niveles de riesgos respectivos. Verificar el cumplimiento con la normativa ambiental.
- Identificar aquellas actividades y/o unidades críticas desde los puntos de vista productivo, ambiental, seguridad y salud ocupacional.
- Evaluar el desempeño ambiental, incluyendo seguridad y salud ocupacional, en base a criterios desarrollados internamente, normas externas, reglamentos, códigos de práctica y conjuntos de principios y guías pertinentes.
- Identificar las prácticas y procedimientos de gestión ambiental, calidad y seguridad existentes en la empresa.
- Identificar opciones de mejoramiento ambiental, seguridad y salud ocupacional
- Evaluar los puntos de vista de las partes interesadas internas y externas.
- Identificar aquellos elementos dentro de la estructura orgánica de la empresa que pueden ayudar o impedir el mejoramiento en el desempeño ambiental.

#### **4) ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS**

La generación de residuos materiales y energéticos se puede reducir por diferentes vías complementarias, cuyos principios básicos son:

- Prevenir o evitar la generación del residuo en su fuente misma.
- Reducir en su origen, el volumen de residuos generados.
- Reciclar y reutilizar aquellos residuos inevitables, con valor potencial de uso.
- Reducir los consumos de energía y agua.
- Segregar los desechos para una mejor reutilización y/o tratamiento.
- Utilizar sistemas de tratamiento de mayor eficiencia de depuración, para líneas residuales segregadas.
- Integrar conceptos ambientales y prevención de riesgos laborales a la gestión de producción.

#### 4.1) REDUCCIÓN DE RESIDUOS

La reducción del volumen de residuos generados tiene un impacto directo, tanto en el costo de tratamiento final, como en la productividad global del proceso. Las opciones existentes para lograr tal objetivo implican medidas de tipo tecnológico y de gestión en la fuente misma.

##### **- Prevenir / Evitar**

El primer curso de acción a seguir para reducir las emisiones de residuos consiste en prevenir su generación o minimizarlos en su fuente misma, actuando sobre las materias primas y productos, medidas de gestión o modificaciones a los procesos:

- Cambio de especificaciones en materias primas o productos
- Medidas de conservación de recursos
- Aumento de eficiencia de los procesos
- Sistema de gestión integrados
- Cambios en procesos
- Cambios en equipos
- Control operacional
- Optimización de procesos
- Prevención de pérdidas materiales y energéticas
- Prevención de accidentes
- Gestión de materiales
- Planificación de producción
- Capacitación del personal

##### **- Recuperar y Reutilizar o Reciclar**

En seguida, aquellos residuos que no puedan ser prevenidos, deben ser reducidos y gestionados para facilitar su recuperación y reutilización o reciclado. La reutilización y el reciclaje son procesos mecánicos, manuales o automáticos, mediante los cuales se puede recuperar diferentes tipos de residuos. La reutilización es una técnica de reaprovechamiento de un material o producto, sin cambiar su forma o naturaleza original. El reciclaje, por su parte, es la transformación de ciertos materiales en materia prima para procesos productivos. Ambos procesos se presentan como una alternativa para reducir los volúmenes de residuos a ser dispuestos, transformándolos en un insumo más dentro de la cadena productiva que los generó. Estos procesos no son aplicables a todos los residuos, debido a que algunos no son recuperables, otros no tienen demanda, o porque no existe la tecnología necesaria para su tratamiento.

##### **- Tratamiento y disposición final**

Finalmente, los residuos que no puedan seguir los destinos anteriores deberán ser tratados para su posterior disposición final, de acuerdo a las normas vigentes. Los residuos segregados pueden ser tratados en sistemas de tratamiento de mayor eficiencia depurativa.

En general, existen dos mecanismos generales a través de los cuales se puede lograr una reducción de las emisiones de residuos:

##### **a) Medidas de Prevención:**

En la mayoría de los casos, el manejo cuidadoso de las operaciones, una buena supervisión, un alto nivel de entrenamiento y motivación, la mantención preventiva, mediciones de consumos de recursos y de otras variables críticas y, en general, prácticas adecuadas, pueden conducir a una reducción sustancial de las pérdidas materiales y energéticas. Es importante recalcar la importancia que tiene la mantención

preventiva de los equipos clave y la ejecución de auditorías periódicas. Estas últimas permiten identificar claramente aquellas operaciones y procedimientos causantes de pérdidas de recursos.

#### **b) Modificaciones al Proceso:**

Durante el diseño de los procesos y equipos, se debe tener presente minimizar las pérdidas de materiales y energía, y la carga contaminante de las emisiones finales al ambiente. Cuando se trata de instalaciones industriales que ya están en su fase operacional, se debe identificar las modificaciones necesarias para lograr dichos objetivos. Normalmente, dichas modificaciones son técnicamente sencillas y de bajo costo.

Es muy importante recuperar todo recurso potencialmente utilizable, presente en los residuos, mediante medidas de segregación y separación apropiadas. Los residuos recuperados pueden ser reutilizados en el proceso o transformados para producir nuevos productos. Por ejemplo:

- En la industria láctea, se puede recuperar en forma higiénica el suero de leche para su posterior comercialización como concentrado o producto seco. La proteína del suero de leche puede comercializarse como suplemento alimenticio de alto valor. La lactosa del suero puede ser fermentada para producir enzimas (ej.: pectinasa)
- Las grasas del procesamiento de animales pueden tener mercado como materia prima para la industria química.
- Las levaduras y granos residuales de la industria cervecera pueden ser usados como alimento animal.
- Las cáscaras fibrosas u otros residuos lignocelulósicos pueden ser transformados en carbón activado de alta calidad a través de procesos termoquímicos.
- Los lodos de tratamiento biológico pueden ser transformados en abono agrícola, mediante compostado.
- Los residuos de madera pueden ser utilizados como materia prima para producción de fibra, o como combustible para generación de vapor y energía eléctrica.
- La fibra recuperada de los efluentes de la máquina papelera puede ser reciclada, utilizada como combustible o para fabricación de cartones.
- El  $H_2S$  generado en los procesos de hidrogenación catalítica del petróleo, puede ser separado del resto de los gases y utilizado para producir sulfidrato de sodio, azufre elemental o sulfatos.
- Los residuos líquidos de curtiembre que contienen cromo pueden ser segregados y procesados para recuperarlo.
- Los residuos de pescado de la industria conservera pueden ser utilizados como materia prima para la producción de harina de pescado.
- El  $SO_2$  de los residuos gaseosos de las plantas refinadoras de mineral de cobre sulfurado puede ser separado y utilizado para producción de  $H_2SO_4$ .

En el caso de la industria de alimentos, es importante mantener prácticas de segregación adecuadas, para asegurar los estándares de higiene y una alta concentración requeridos para posibilitar la recuperación de los materiales de valor.

La factibilidad de estos procesos está determinada por consideraciones técnicas y económicas, tales como, escala de producción, costos de recuperación, procesamiento secundario, precios, etc.. Los dos primeros juegan un papel determinante. Además, se debe considerar la reducción de los costos de tratamiento, debido a la eliminación de parte de la carga contaminante original. Este aspecto se discute brevemente, al final de este documento.

## 4.2) EJEMPLOS DE MEDIDAS PRÁCTICAS PARA REDUCIR LOS RESIDUOS

Existen innumerables ejemplos de modificaciones a procesos industriales que han generado significativos incrementos en la productividad y una drástica reducción en la generación de residuos. Algunas de las medidas de interés, implementadas en la industria de procesos, se enumeran a continuación:

### a) Reducción de Pérdidas Innecesarias de Materiales

- Mejorar los sistemas de carga y almacenamiento (tanques con control de nivel; uso de cañerías, válvulas y bombas que no presenten pérdidas de líquidos).
- Instalar sistemas más efectivos de control de calidad de materias primas e insumos, para evitar el uso de materiales que no cumplan con las especificaciones del proceso (composición, propiedades físico-químicas, presencia de contaminantes potenciales, etc.).
- Establecer procedimientos de mantención para evitar el deterioro de los controladores, y equipos de almacenamiento y transporte de materiales que pueden ser fuente de pérdidas
- Implementar sistemas eficientes de control de inventarios, para coordinar el volumen de las adquisiciones con los requerimientos de producción, teniendo en cuenta la vida útil de los recursos (muy importante en el caso de materiales biodegradables y/o químicamente inestables); además, se debe contar con sistemas de identificación de materiales y sistemas de adquisición y procesamiento de datos que faciliten la gestión.
- Reducir las pérdidas entre lotes (en operaciones discontinuas), recuperando los materiales antes de las operaciones de lavado, después de la descarga del producto.
- Seleccionar sistemas de válvulas y cañerías con baja retención de líquido durante el drenaje.
- Reducir las pérdidas durante las operaciones transitorias de la planta (puesta en marcha y detención, cambios de niveles de producción, cambios en las materias primas y condiciones de operación, etc.).

### b) Reducción de los Requerimientos Energéticos

- Implementar una mejor integración energética (ej. precalentamiento de las corrientes de alimentación, utilizando corrientes de alta temperatura que requieren ser enfriadas, diseño mejorado de los sistemas de intercambiadores de calor).
- Utilizar los desechos combustibles para generar energía *in-situ*. No incinerar materiales con contenido halogénico o alto contenido de compuestos de azufre. Mantener sistemas eficientes para controlar las emisiones de combustión.
- Usar aislación adecuada en cañerías y estanques de almacenamiento de fluidos a temperaturas extremas.
- Operar los equipos eléctricos (motores, compresores, astilladores, equipos de molienda mecánicos, tornos, etc) en horarios donde el precio de la energía eléctrica sea menor (no operar durante horas punta).
- Buscar opciones técnicas para reducir los consumos eléctricos (por ejemplo, en sistemas de iluminación utilizando ampolletas eficientes).

### c) Selección de Materiales de Menor Impacto Ambiental

- Usar materias primas e insumos que no generen residuos no deseados (ej. combustibles con bajo contenido de azufre y cenizas).
- Seleccionar solventes que sean recuperables o que no contaminen las corrientes residuales no recuperables.
- Seleccionar materiales que, debido a sus propiedades, puedan ser utilizados con mayor eficiencia o ser recuperados económicamente.

#### **d) Modificaciones al Proceso de Transformación**

- Mejorar el diseño de los reactores, para permitir una mayor productividad y utilización de los recursos materiales y energéticos.
- Uso de herramientas de modelación y optimización, para seleccionar las condiciones de operación, con vistas a minimizar las pérdidas.
- Implementar controladores que permitan mantener las condiciones de operación óptimas.

#### **e) Implementar Sistemas de Separación y Purificación Eficientes**

- Reducir las pérdidas de materiales en los sistemas de lavado de los productos intermedios (ej. lavadores de difusión radial de alta eficiencia).
- Evitar la generación y emisión de componentes orgánicos volátiles durante las operaciones de secado y/o eliminación de solventes (ej.: usando secado indirecto con sistemas de depuración de los gases residuales).
- Eliminar agua u otros solventes, usando sistemas que faciliten su recuperación y reduzcan las emisiones.
- Recuperar los solventes en los procesos de extracción líquido-líquido.
- Reducir el contenido de agua de los residuos sólidos.

#### **f) Reducción del Consumo de Aguas y del Volumen de Efluentes Líquidos**

- Implementar sistemas de uso de agua en contracorriente, usando las aguas limpias sólo en áreas donde sea estrictamente necesario.
- Reducir el consumo de agua de lavado, usando sistemas de alta presión, selección adecuada de detergentes, pre-lavado en seco, etc..
- Reciclar y reutilizar el agua; recuperar las aguas de enfriamiento y condensados.
- Segregar las corrientes de aguas limpias (reutilizables) de aquellas contaminadas.

#### **g) Segregación de Líneas Residuales**

- Separar corrientes que contengan materiales que sean recuperables, de aquellas que no lo sean. Ello permite recuperar recursos.
- Separar corrientes con materiales tóxicos, patogénicos o explosivos, para una gestión efectiva.
- Separar líneas de alto volumen y baja concentración, para reutilización de aguas.
- Separar los residuos biodegradables, para facilitar su tratamiento biológico en sistemas de menor volumen.
- Separar las líneas que contengan material combustible, sin contenido halogénico y con bajo contenido de azufre, para aprovechar su contenido energético.

#### **h) Sistemas de Tratamiento de Residuos**

- Implementar sistemas de tratamiento adecuados a la naturaleza de los desechos.
- Considerar el tratamiento de residuos al mismo nivel de importancia que las operaciones del proceso principal. Usar herramientas avanzadas de diseño, modelamiento, simulación, optimización y control. Mantener una operación óptima y estable, con alta eficiencia de remoción.
- Control efectivo de las emisiones gaseosas y líquidas.
- Tratamiento y disposición de sólidos, con mínimo impacto ambiental.
- Identificar residuos secundarios generados durante el tratamiento. Diseñar sistemas para su manejo y tratamiento posterior.

#### **i) Reducir los Riesgos de Accidentes**

- Gestión segura de los materiales peligrosos presentes en el proceso.
- Realizar análisis de riesgos periódicos.

- Contar con planes de prevención, medidas para afrontar emergencias, planes de contingencia.
- Sistemas eficientes de entrenamiento de personal en todos los aspectos operacionales asociados a medio ambiente y seguridad.
- Implementar un programa sistemático de mantenimiento preventiva de equipos y controladores críticos.
- Privilegiar aquellos diseños que minimicen los riesgos de accidentes (incendio, explosión o emanaciones tóxicas).

**j) Implementar un Sistema de Gestión Integral**

- Implementar un sistema de gestión que tenga como objetivo llevar a cabo las políticas de la empresa en materias de medio ambiente, calidad, seguridad y salud ocupacional.
- Entrenamiento e información.
- Mantener procedimientos documentados y actualizados.
- Medir los consumos de recursos y generación de residuos en las operaciones críticas.
- Mantener niveles de instrumentación adecuados y calibrados, para una gestión efectiva.
- Evaluar el desempeño ambiental y de seguridad periódicamente.
- Mantener actualizada la información sobre tendencias en la legislación.
- Sugerir cambios en los procesos y especificaciones de las materias primas y productos, para un mejoramiento del desempeño.
- Mantención preventiva de los equipos e instrumentos críticos.
- Mejoramiento continuo.

**4.3) SEGREGACIÓN DE RESIDUOS**

Como se mencionó anteriormente, la segregación de las líneas residuales facilita un manejo más racional y permite diseñar sistemas de tratamiento, de acuerdo a las características específicas de cada línea. La segregación de residuos permite reducir los costos de capital de los sistemas de tratamiento y vertido, debido a la disminución del volumen de desechos que requieren atención.

A continuación se presenta algunas categorías generales para residuos líquidos, sólidos y gaseosos, en el contexto de establecer medidas de segregación.

**Residuos Líquidos:**

En general, las categorías generales de residuos líquidos, aplicables a toda industria, corresponden a:

- **Aguas de Lavado de Equipos e Instalaciones:** Constituyen una fracción significativa de la demanda de agua en la industria de procesos. En particular, el sector agro-alimenticio es un importante consumidor de aguas de lavado, ya que se requiere un alto nivel de higiene en sus operaciones. Las aguas residuales del lavado contienen compuestos disueltos y sólidos suspendidos que reflejan la naturaleza de los materiales utilizados en los procesos. En muchos casos, se incluyen detergentes y compuestos químicos biocidas, utilizados para mantener condiciones de higiene en el equipamiento. Por su naturaleza, dichas aguas constituyen la mayor fuente de contaminación del efluente final y deben ser tratadas antes de su vertido a los cuerpos receptores.
- **Aguas de Lavado de Materias Primas y Productos:** Las operaciones de lavado de materias primas y productos son muy frecuentes en la industria de alimentos sólidos de origen agrícola, donde es necesario limpiar la materia prima previo a su procesamiento y asegurar las condiciones de higiene del producto final. En otros casos, la materia prima se trata con agua para mantener un alto contenido de humedad, como por ejemplo el riego de trozas de madera en la industria forestal. Las

aguas residuales de estas operaciones contienen compuestos solubles y sólidos suspendidos provenientes de los materiales sometidos a lavado.

- **Aguas de Limpieza de Derrames:** Esta fuente de residuos líquidos es muy importante en aquellos casos donde los derrames corresponden a compuestos químicos tóxicos, reactivos, inflamables o corrosivos. Esta fuente de agua residual está asociada a fallas en el funcionamiento de los equipos involucrados en el almacenamiento, transporte y procesamiento de materiales (ej.: cañerías, bombas, correas transportadoras, estanques, reactores, etc.). Se debe priorizar la recuperación de estos materiales, estableciendo las medidas de contención apropiadas y evitando que se mezclen con otras líneas líquidas. Estos eventos se pueden prevenir, mediante un correcto dimensionamiento de los equipos, un efectivo control operacional y una adecuada mantención preventiva.
- **Aguas de Lavado de Gases:** Estas son frecuentes en aquellas industrias que generan gases solubles o condensables, los que pueden ser recuperados a través de absorción en medio acuoso. Las aguas residuales de este proceso contienen parte de los compuestos absorbidos, además de aditivos que se haya utilizado para incrementar la solubilidad.
- **Aguas de Procesamiento:** Aquí se incluyen aquellas aguas utilizadas en procesos de cocción, escaldado, impregnación, transporte hidráulico, reacción en medio acuoso, flotación y lixiviación de minerales, u otras que implican un contacto directo con las materias primas, insumos y productos intermedios. Las aguas residuales de estas operaciones son fuente de pérdidas de materiales y son altamente atractivas para la recuperación de tales recursos. Se incluyen aquí las aguas provenientes de los laboratorios de investigación y desarrollo, control de calidad u otros que pueden generar residuos líquidos con alta carga de reactivos químicos.
- **Aguas de Enfriamiento / Calentamiento:** Debido a su alto calor específico y calor latente de vaporización, el agua es el principal medio de transporte de energía calórica en la industria de procesos. Estas aguas no deberían contener materiales disueltos provenientes del proceso, ya que el intercambio de calor se efectúa, normalmente, a través de paredes que separan el agua del medio a enfriar o calentar. Sin embargo, en muchos casos, ellas presentan un nivel de temperatura demasiado alto para su vertido directo en los medios receptores, debiendo ser enfriadas previamente mediante torres o lagunas de enfriamiento. Por otra parte, estas aguas contienen un potencial energético que puede ser recuperado a través de una adecuada integración en el proceso. Esto es particularmente relevante, para aquellas industrias que utilizan extensivamente el agua como agente térmico (por ejemplo, refinación del petróleo, producción de celulosa y papel).
- **Aguas Sanitarias:** Estas aguas son las que provienen de los servicios sanitarios de la planta, casino, cafetería, etc.. Normalmente, son descargadas a los sistemas de alcantarillado locales o tratadas internamente. Contienen organismos fecales y pueden constituir un riesgo de infección en la planta si son manejadas en forma inadecuada. En la mayoría de las plantas modernas, estos efluentes se mantienen totalmente segregados de aquellas líneas residuales que presentan un potencial para recirculación, reutilización y/o recuperación de recursos.
- **Aguas para el Control de Incendios:** Aquellas industrias que procesan materiales combustibles se encuentran expuestas al peligro de incendio. En caso de producirse dicha emergencia, se consumirán importantes cantidades de agua para combatir el fuego, generando aguas residuales con alta carga contaminante. Dichas aguas no se producen como parte de la operación normal de la planta y se debe contar con planes de contingencia para su adecuada gestión.

### **Residuos Sólidos:**

Los residuos sólidos de origen industrial pueden generarse a partir de diferentes fuentes:

- **Materias primas no utilizables:** Generalmente, ello es debido a que están fuera de especificación o constituyen pérdidas durante el procesamiento. Son un objetivo primario de gestión, ya que son un claro indicativo de fallas en el sistema de aseguramiento de calidad y en el control de procesos.
- **Residuos provenientes de partes no utilizables de las materias primas:** Son componentes de la materia prima que no pueden ser incorporados directamente en el producto final; por ejemplo, la corteza en la industria forestal. En algunos casos, pueden ser usados como recurso en otros procesos o, cuando sea posible, reducidos mediante una selección apropiada de la materia prima.
- **Productos elaborados o semielaborados, fuera de especificación:** En general reflejan fallas en los sistemas de control de procesos y en los procedimientos operacionales. Si no tienen valor comercial, se deben reducir mediante un buen control de las condiciones de operación.
- **Residuos finales de los procesos:** Son residuos generados en los procesos, tales como, escorias y cenizas de combustión, adsorbentes agotados, catalizadores desactivados, compuestos sólidos intermedios sin valor.
- **Sólidos residuales secundarios:** Se generan en los sistemas de tratamiento de residuos líquidos (ej.: lodos de sedimentación, lodos biológicos) y/o gaseosos (ej. cenizas y polvos de los filtros, precipitadores o ciclones).
- **Envases y otros contenedores de materias primas e insumos.** Se debe privilegiar el reciclado de los envases a los proveedores. En muchos casos, son la principal fuente de residuos sólidos peligrosos (ej.: envases de solventes orgánicos, de compuestos biocidas, de soluciones con metales pesados, etc.).

### **Residuos Atmosféricos**

- **Gases de combustión:** La mayor parte de los residuos gaseosos de origen industrial son gases de combustión, generados en hornos, calderas y motores de combustión interna, donde se utilizan combustibles orgánicos (ej. gas natural, leña, petróleo, diesel, carbón, biomasa, etc). Dichos gases son emitidos a la atmósfera a través de chimeneas, previo tratamiento depurativo para cumplir con las normas respectivas.
- **Gases de Proceso:** En otros casos, los gases residuales se derivan directamente del procesamiento de las materias primas, ofreciendo interesantes oportunidades para su segregación y tratamiento diferenciado. Por ejemplo:
  - Mercaptanos y otros sulfuros reducidos (TRS) generados en los procesos de producción de celulosa kraft. Se pueden recolectar de las diferentes fuentes e incinerar en hornos especiales.
  - Aminas volátiles, generadas durante la pirólisis de proteínas en el tratamiento térmico de harina de pescado. Pueden ser recolectadas e incineradas.
  - Acido sulfídrico generado en el hidrotreamiento del petróleo. Su recuperación permite su utilización como materia prima para fabricación de sulfhidrato de sodio, azufre, o sulfato.
  - Dióxido de azufre generado en la piro-refinación de cobre. La opción más utilizada es producir ácido sulfúrico a partir de dichos óxidos.

Todas estas categorías de residuos constituyen opciones de segregación que pueden facilitar su manejo. Es importante identificar y segregar aquellos residuos peligrosos, es decir, aquellos que sean tóxicos, inflamables, corrosivos o reactivos. Su separación del resto de los residuos, tanto sólidos como líquidos, permite una mejor gestión a más bajo costo. Además, facilita la identificación de opciones para reducir su tasa de generación en la fuente misma.

La naturaleza de la segregación depende también de factores económicos y técnicos, los cuales deben ser tomados en consideración en etapas preliminares del ejercicio de diseño.

La Tabla 3 enumera algunos criterios para segregar los residuos:

**TABLA 3: CRITERIOS PARA LA SEGREGACIÓN DE RESIDUOS**

Componentes Tóxicos
Solventes Orgánicos
Grasas/Aceites
Iones Metálicos Pesados
Material Orgánico Biodegradable
Materiales Recalcitrantes (no-biodegradables)
Acidos/bases Fuertes
Residuos Líquidos con Alto Contenido de Sólidos Suspendidos
Proteínas y otros materiales valiosos
Compuestos con Alto Poder Calorífico

En general, se pueden identificar 3 objetivos en la segregación de líneas residuales, los que se revisan brevemente a continuación:

#### **a) Recuperación de Recursos Materiales**

Es frecuente encontrar que algunas líneas residuales contienen una considerable carga de compuestos que pueden ser recuperados para su reutilización en el proceso, comercialización como subproductos o procesamiento para generar nuevos productos de mayor valor agregado. La recuperación de dichos recursos materiales resulta atractiva en aquellos casos donde los costos asociados a los procesos de separación y purificación son inferiores a los beneficios por concepto de ahorro de recursos e ingresos por comercialización.

Los procesos de separación se encuentran ampliamente implementados a nivel industrial y aprovechan las diferencias de tamaño, solubilidad, volatilidad, carga electrostática, densidad, u otras propiedades físico-químicas de los compuestos a separar. En general, a medida que aumenta la concentración de los compuestos a recuperar, los procesos de separación presentan menores dificultades técnicas, con costos de operación más bajos. La segregación de las líneas residuales de interés permite mantener una concentración más alta de los compuestos de valor y, a su vez, evitar la contaminación de dichas corrientes con compuestos no deseados provenientes de otras operaciones de la planta.

## **b) Recirculación y Reutilización de Agua**

Es frecuente encontrar líneas residuales cuyas características físico-químicas les permiten ser utilizadas en otras áreas del proceso. En muchos casos, dichas aguas pueden ser reutilizadas directamente, mientras que en otras situaciones se requiere su acondicionamiento a través de una operación relativamente simple y de bajo costo (ej.: eliminación de sólidos gruesos, neutralización, enfriamiento).

Por ejemplo, en la industria de envasado de frutas, se puede usar agua fresca en las etapas finales del proceso (ej.: lavado de los productos), y luego reutilizarla en las operaciones precedentes (ej.: transporte hidráulico y lavado de materias primas). Así mismo, el lavado preliminar de los equipos e instalaciones de proceso se puede llevar a cabo usando agua de enfriamiento y otras líneas residuales con baja carga contaminante. Estos aspectos se presentan con más detalle en la siguiente sección.

Finalmente, se debe tener en consideración que el cierre de los circuitos de agua se encuentra limitado por la acumulación de materia y energía térmica. Se debe extraer parte de los materiales y energía acumulados para mantener niveles aceptables, compatibles con los requerimientos de calidad de las operaciones donde dicha agua se reutilizará. La purga debe ser calculada en base a un balance de materia y energía en torno al sistema de recirculación.

## **c) Tratamiento Depurativo de Mayor Efectividad**

Las mayores exigencias impuestas a las emisiones de residuos, en términos tanto de la carga contaminante como de su concentración en el residuo final, han tenido como consecuencia un incremento significativo en los costos de tratamiento. En este sentido, la segregación de las líneas residuales permite reducir los flujos volumétricos a tratar, requiriendo equipos de menor tamaño y de más bajo costo.

El diseño conceptual de sistemas de tratamiento para corrientes segregadas debe tomar en consideración los aspectos económicos del proceso, ya que la segregación implica una mayor complejidad en el sistema de almacenamiento y transporte de aguas residuales. A su vez, se abre una gran oportunidad para introducir operaciones unitarias de mayor nivel de sofisticación y efectividad, como por ejemplo:

- Tratamientos físicos y químicos avanzados.
- Procesos biológicos de alta eficiencia.
- Oxidación catalítica de compuestos orgánicos
- Destrucción térmica a alta temperatura.
- Estabilización y solidificación, etc.

Ello obliga a introducir herramientas de diseño y optimización de procesos comúnmente utilizadas en ingeniería de reactores.

## **5) MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE AGUA**

La escasez de agua alcanza niveles críticos en muchas regiones debido a cambios climáticos y sequías prolongadas, particularmente durante períodos La Niña.. Generalmente, el consumo de agua industrial constituye un aspecto ambiental altamente significativo debido a:

- La presión que ello puede ejercer sobre sistemas hídricos frágiles.

- La competencia con otros usuarios por el recurso hídrico (por ejemplo, usos agrícolas, fuente de agua potable, fuente de energía eléctrica, usos recreativos).

Más aún, el costo de tratamiento de los residuos líquidos está directamente asociado al volumen de agua a tratar. Como consecuencia, existe un creciente incentivo para invertir en sistemas que permitan reducir el consumo de agua. Estos esquemas, normalmente, incluyen:

- Medidas para una reducción efectiva del consumo en su fuente.
- Recuperación, recirculación y reutilización de las aguas de proceso.

La reducción del consumo de agua constituye uno de los principales desafíos de diseño en la industria de procesos. La Tabla siguiente enumera una serie de medidas recomendadas normalmente para reducir el consumo de agua. Estas medidas deben ser aplicadas a las diferentes categorías de aguas residuales mencionadas anteriormente. En particular, los requerimientos de aguas de lavado pueden ser reducidos drásticamente si se incorporan medidas para disminuir las pérdidas innecesarias de materiales líquidos.

Es importante destacar que una de las medidas más efectivas para reducir el consumo de agua se basa en la reutilización de aguas residuales en diferentes operaciones, consumiendo agua fresca sólo en aquellas áreas u operaciones donde sea estrictamente necesario. Este aspecto representa uno de los principales objetivos de una gestión racional del recurso agua en la industria.

A modo de ejemplo, la industria de envasado de frutas debe usar agua fresca para lavar el producto en las etapas finales del proceso. Dado que el contenido contaminante de dicha agua de lavado, es relativamente bajo, ésta se puede reutilizar en operaciones precedentes que no requieran agua limpia (ej.: transporte y lavado de la materia prima).

El requerimiento de agua de enfriamiento o calentamiento puede ser reducido implementando principios de integración energética y un adecuado diseño de los sistemas de aislación térmica. El precalentamiento de corrientes de alimentación usando fluidos de alta temperatura que requieren ser enfriados, es una técnica de integración energética muy efectiva, ya que permite reducir la necesidad de agua de enfriamiento. En otros casos, las aguas de enfriamiento pueden ser recirculadas al sistema de intercambio de calor o reutilizadas en el proceso, luego de su condicionamiento térmico en torres de enfriamiento.

Es importante tener en cuenta que la recirculación de agua en los procesos industriales está limitada por la acumulación de material orgánico e inorgánico disuelto, riesgos de contaminación microbiana y otros cambios no aceptables en las propiedades del agua recirculada (ej: características organolépticas, color, etc.). En esos casos, es fundamental diseñar un sistema de purga y *make-up* que mantenga la concentración de los materiales acumulables dentro de límites aceptables.

Es importante destacar que una de las medidas más efectivas para reducir el consumo de agua se basa en la reutilización de aguas residuales en diferentes operaciones, consumiendo agua fresca sólo en aquellas áreas u operaciones donde sea estrictamente necesario. Este aspecto representa uno de los principales objetivos de una gestión racional del recurso agua en la industria.

**TABLA 4: MEDIDAS PARA CONSERVACIÓN DE AGUAS INDUSTRIALES <sup>2</sup>**

- Usar el agua en forma cuidadosa; sólo el mínimo necesario.
- Mantener los residuos sólidos separados de los residuos líquidos y eliminarlos en forma concentrada, reduciendo así los requerimientos de agua de lavado.
- Usar agua a alta presión en volúmenes reducidos, en las operaciones de limpieza. Usar los detergentes en la proporción apropiada y seleccionar aquellos que requieran de un mínimo enjuague.
- Reciclar el agua en aquellos casos en que los requerimientos de higiene lo permitan. Para estos efectos, tal vez sólo se requiera de operaciones sencillas tales como: enfriamiento, neutralización o eliminación de sólidos gruesos.
- Usar controladores automáticos para volumen, temperatura y presión. Los controles manuales resultan en mayores pérdidas. Usar válvulas que se cierran automáticamente cuando se detiene el flujo de agua.
- Estudiar cada proceso, para identificar los cambios que sean requeridos para reducir los requerimientos de agua.

A modo de ejemplo, la industria de envasado de frutas debe usar agua fresca para lavar el producto en las etapas finales del proceso. Dado que el contenido contaminante de dicha agua de lavado, es relativamente bajo, ésta se puede reutilizar en operaciones precedentes que no requieran agua limpia (ej.: transporte y lavado de la materia prima).

El requerimiento de agua de enfriamiento o calentamiento puede ser reducido implementando principios de integración energética y un adecuado diseño de los sistemas de aislación térmica. El precalentamiento de corrientes de alimentación usando fluidos de alta temperatura que requieren ser enfriados, es una técnica de integración energética muy efectiva, ya que permite reducir la necesidad de agua de enfriamiento. En otros casos, las aguas de enfriamiento pueden ser recirculadas al sistema de intercambio de calor o reutilizadas en el proceso, luego de su condicionamiento térmico en torres de enfriamiento.

Es importante tener en cuenta que la recirculación de agua en los procesos industriales está limitada por la acumulación de material orgánico e inorgánico disuelto, riesgos de contaminación microbiana y otros cambios no aceptables en las propiedades del agua recirculada (ej.: características organolépticas, color, etc.). En esos casos, es fundamental diseñar un sistema de purga y *make-up* que mantenga la concentración de los materiales acumulables dentro de límites aceptables.

## **6) CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

La evaluación económica juega un papel muy importante en la toma de decisiones, en el contexto del diseño de procesos limpios. Una vez que los impactos ambientales asociados a una opción de proceso son aceptables, se debe proceder a evaluar su factibilidad económica. La evaluación económica de un proyecto se basa tradicionalmente en un análisis de costos y beneficios. En el caso de proyectos de mejoramiento ambiental, los costos y beneficios deben cubrir todos aquellos aspectos afectados, positiva o negativamente, por la implementación de las medidas propuestas. En este sentido, es fundamental identificar correctamente tales costos y beneficios, ya que ello determina el resultado del análisis y la toma de decisiones.

<sup>2</sup> Recomendadas por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA)

La siguiente lista puede servir como guía para identificar los costos y beneficios, además de aquellos considerados tradicionalmente en todo proyecto productivo:

**a) Beneficios Potenciales**

- Ahorro de materias primas.
- Ahorro de energía (electricidad, combustible, etc.).
- Ahorro en el consumo de agua.
- Aumento de la productividad global (reducción de pérdidas materiales, aumento de producción, reducción de fallas en equipos, reducción de accidentes, operación estable, mejor gestión de procesos, etc.).
- Retorno adicional, debido a la recuperación y venta de subproductos.
- Disminución del costo de tratamiento y/o disposición final de los residuos.
- Disminución de los costos de operación de la planta de tratamiento.
- Disminución en costos legales asociados a problemas ambientales y de seguridad (multas, indemnizaciones, seguros).
- Mejor imagen de la empresa

**b) Costos Potenciales**

- Inversiones asociadas a modificaciones en el proceso, unidades más sofisticadas, nuevos sistemas de control, etc..
- Aumento de los costos de producción, al utilizar materias primas e insumos de menor potencial de impacto, pero más caras.
- Costos de nuevos programas de entrenamiento, mantención preventiva, gestión ambiental, personal adicional, etc..

Esta lista no pretende ser completa, pero constituye una guía adecuada para identificar costos y beneficios directamente asociados a medidas de control ambiental.

**c) Costos Privados y Costos Sociales**

Al considerar los aspectos económicos asociados a un proyecto de mejoramiento ambiental, es importante distinguir entre los costos (o beneficios) privados y los costos (o beneficios) sociales. Los primeros se refieren a aquellos costos (y beneficios) que recaen directamente sobre los proponentes o ejecutantes del proyecto. Por su parte, los costos (o beneficios) sociales incluyen, además, las externalidades al proyecto. Las externalidades son aquellos costos o beneficios, derivados de las acciones del proyecto, que recaen sobre la comunidad, el Estado u otros individuos o instituciones. Por ejemplo, el costo resultante del deterioro de la calidad del aire debido a las emisiones de una industria es un costo externo que recae sobre las personas afectadas por ese deterioro ambiental. Si la empresa incorpora un sistema de control de emisiones, con vistas a evitar la contaminación, se reduce el costo externo, a expensas de un incremento del costo privado.

A medida que el proyecto incorpora medidas más sofisticadas y de mayor requerimiento de inversión, con vistas a un control ambiental más efectivo, se puede esperar una reducción de los costos externos asociados a los impactos ambientales.

A medida que incrementan las exigencias de protección ambiental, se reducen los costos asociados al deterioro ambiental, pero a expensas de un aumento de los costos privados. De acuerdo a ello, existiría un nivel de exigencia ambiental donde el costo social alcanza un valor mínimo.

## ANEXO

### PRINCIPIOS DE AUDITORÍA AMBIENTAL

La auditoría ambiental constituye una de las herramientas con que se cuenta para identificar las áreas ambientalmente críticas de un proceso, al mismo tiempo que permite formular aquellas soluciones tecnológicas y de gestión que sean apropiadas. La literatura especializada ha acuñado el término, bajo la siguiente definición:

***Auditoría Ambiental***<sup>3</sup> : *Es una herramienta de gestión que consiste en una evaluación sistemática, documentada, periódica y objetiva de la efectividad de la organización, la gerencia y los equipos ambientales, para proteger el medio ambiente mediante un mejor control de las prácticas ambientales, y la evaluación del cumplimiento de las políticas ambientales de la empresa, incluyendo los requerimientos legales.*

La auditoría ambiental es un examen metódico que implica análisis, tests y comprobaciones de las prácticas y procedimientos ambientales de una empresa o parte de ella. En sí mismo, el término “auditoría” es sinónimo de revisión y verificación de diversos aspectos de una empresa. En su expresión más moderna, la auditoría ambiental es el componente clave de un sistema de gestión ambiental (SGA). La auditoría ambiental permite obtener información acerca de la efectividad del sistema de gestión, identificar problemas asociados a su funcionamiento, identificar nuevos desafíos ambientales y proponer medidas de prevención y mitigación apropiadas.

### TIPOS DE AUDITORÍAS AMBIENTALES

Existen diferentes tipos de auditoría ambiental, dependiendo de las condiciones que enmarcan dicho ejercicio, los objetivos específicos que la motivan y el nivel de desarrollo de la empresa. Por ejemplo, auditorías internas, auditorías externas, auditorías de diagnóstico, auditorías de verificación de cumplimiento legal, auditorías de residuos, auditorías energéticas, auditorías del sistema de gestión ambiental, etc. Aún cuando todas ellas comparten el objetivo común de entregar información documentada y validada sobre diferentes aspectos de la situación ambiental de una empresa, se puede identificar objetivos y contenidos particulares que marcan un sello especial a cada auditoría.

Las auditorías de diagnóstico preliminar y de residuos son las de mayor relevancia para la realidad actual de la pequeña y mediana empresa nacional. La auditoría de diagnóstico permite identificar las principales fuentes de pérdidas y visualizar posibles alternativas de solución. En aquellas empresas con mayor trayectoria de control ambiental, la auditoría se orienta a la identificación de alternativas para la minimización de residuos, reducción de riesgos e identificación de opciones de mejoramiento continuo.

---

<sup>3</sup> Declaración sobre Auditoría Ambiental, International Chamber of Commerce, 1989. Coincide con la definición de BS7750 e ISO14000

## CONTENIDOS DE UNA AUDITORÍA AMBIENTAL

En términos generales, las áreas temáticas abordadas por la auditoría dependerán de las condiciones específicas de cada ejercicio, y podrán incluir todos o algunos de los siguientes tópicos:

### ASPECTOS TÉCNICOS

*Objetivo:* Reunir, analizar y evaluar información sobre la naturaleza del proceso y los problemas ambientales asociados a los desechos materiales y energéticos. Permite evaluar si la tecnología, los procesos, desechos y productos finales son apropiados o no. Este es un componente clásico de la auditoría ambiental.

- Caracterizar el Proceso Auditado: Identificar las operaciones/procesos unitarios. Diagrama del proceso.
- Identificar y cuantificar las materias primas, insumos, combustibles y servicios.
- Identificar, caracterizar y cuantificar los residuos sólidos, gaseosos y líquidos.
- Caracterizar el sistema de gestión, tratamiento y disposición final de los desechos de producción.
- Caracterizar el almacenamiento y gestión de materiales peligrosos.
- Elaborar un balance de materia y energía: Determinación de entradas, salidas, consumos, pérdidas y eficiencia de utilización (materias primas, insumos, agua, energía).
- Determinar los niveles de ruido.
- Identificar las condiciones de operación peligrosas y ambientalmente relevantes (alta temperatura, presión, pH extremo, compuestos peligrosos).
- Identificar las áreas del proceso con mayor impacto potencial.
- Comparar con otras alternativas tecnológicas (estado del arte).

### ASPECTOS DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

*Objetivo:* Identificar, analizar y evaluar las áreas de riesgo potencial.

- Análisis de Riesgos (incluye varios aspectos técnicos señalados en el listado anterior).
  - Políticas y programas en materia de seguridad y salud ocupacional.
  - Planes de Emergencias
  - Prevención de accidentes.
  - Planes de seguridad, higiene y salud.
  - Programas de entrenamiento.
  - Estadísticas de accidentes.
  - Registros de incidentes ambientales.
- Condiciones del ambiente de trabajo (ruido, composición del aire, temperatura).

### ASPECTOS ECONÓMICO-FINANCIEROS

*Objetivo:* Estructurar un programa de inversiones para el mejoramiento ambiental.

- Costos directos e indirectos debido al incumplimiento de estándares ambientales: multas, cierre de planta, pérdida de clientes, incremento de pólizas de seguros.
- Costos asociados a accidentes: seguros, indemnizaciones, daños a personal y equipos, disminución de producción.
- Costos asociados al tratamiento y disposición de desechos de producción.
- Requerimientos de inversión para mejoramiento ambiental: reemplazo de unidades ineficientes, nuevos sistemas de control de procesos, modificaciones al proceso, nuevas líneas, etc.
- Costos de operación asociados al mejoramiento ambiental: incremento en costo de materiales y energéticos (ej.: de mejor calidad y, por lo tanto, de mayor costo unitario)
- Identificar y valorar potenciales beneficios por ahorros energéticos y de materiales, por incremento de eficiencia, por prevención de desechos; por reducción de accidentes, de incidentes ambientales, de costos de tratamiento y de disposición de desechos; por nuevos subproductos.
- Análisis de costo-beneficio para alternativas de mejoramiento ambiental.

## ASPECTOS LEGALES

*Objetivo:* Verificar la situación de la empresa respecto a la legislación ambiental vigente.

- Identificar las normas y estándares ambientales relevantes, locales, nacionales, regionales e internacionales.
- Comparar los parámetros medidos con los estándares establecidos en las normas que regulan el medio atmosférico, acuático, terrestre, biótico, perceptual, sociocultural y económico.
- Identificar futuros desafíos en el plano legal.

## ASPECTOS DE GESTIÓN AMBIENTAL

*Objetivo:* Evaluar la efectividad del sistema de gestión ambiental de la empresa.

- Organigrama de la empresa, jerarquías, funciones y responsabilidades ambientales.
- Recursos financieros asignados a la gestión ambiental.
- Mecanismos de comunicación: Dentro de la empresa, hacia la comunidad e instituciones ambientales.
- Imagen externa: comunidad, clientes, proveedores, instituciones.
- Mantenimiento, control y accesibilidad de la documentación de relevancia ambiental.
- Programas de entrenamiento en materia de gestión ambiental.
- Niveles de sensibilidad/conciencia ambiental. Actitud de cuadros directivos.
- Verificar el cumplimiento de los objetivos y planes de gestión ambiental.

## METODOLOGÍA DE AUDITORÍA AMBIENTAL

La metodología para realizar una auditoría ambiental depende de las circunstancias específicas para cada ejercicio. Sin embargo, existe un cierto procedimiento más o menos común para todas ellas, cuyas diferentes etapas se pueden agrupar de acuerdo al instante en que ellas se llevan a cabo: actividades previas y actividades en terreno. Todas los tipos de auditoría presentan estas etapas, incluyendo actividades de recolección de información, análisis, elaboración de juicios acerca del desempeño ambiental de la empresa y presentación de informes y planes de acción.

Los principales aspectos metodológicos están establecidos en la NCh 19.011.

A continuación se resume las diferentes etapas de una auditoría.

### Actividades Previas: Planificación de la Auditoría

La planificación de la auditoría se realiza antes de que se lleve a cabo la auditoría en terreno. Incluye la determinación de los objetivos y alcances de la auditoría, la selección del equipo auditor, la selección de los lugares donde se realizará y el cronograma de las actividades a desarrollar. Implica, además, recopilar y analizar información preliminar acerca de los procesos a auditar.

#### *Definición de Objetivos y Alcances*

*Objetivos:* existe un amplio rango de objetivos potencialmente cubiertos por una auditoría ambiental. El objetivo común en todos los casos es *identificar y documentar el comportamiento ambiental de la empresa o actividad auditada*. En el contexto de este trabajo, interesa la auditoría como herramienta de diagnóstico preliminar, y como herramienta de gestión en el seguimiento y mejoramiento continuo.

*Alcances:* En concordancia con los objetivos de la auditoría, se debe definir los niveles de profundidad y detalle, además de los límites en términos espaciales, temporales y funcionales. Generalmente, la definición del alcance de la auditoría es un proceso iterativo, dejando espacio para reformulaciones posteriores en la medida que se gana mayor experiencia respecto a la realidad de la empresa. Se recomienda comenzar por lo más conocido, simple y de menor tamaño, reduciendo a un mínimo el número de áreas funcionales, unidades y procesos a auditar y el número de parámetros a

evaluar. Esto no es trivial, ya que toda empresa posee una amplia variedad de operaciones y unidades: selección y adquisición de materias primas, insumos y energía; almacenamiento y manejo de materiales; procesos de transformación, ensamblaje y embalaje; almacenamiento y manejo de desechos; tratamiento y disposición de desechos de producción; almacenamiento, transporte y distribución de productos y desechos; laboratorios de control de calidad e investigación. Una auditoría puede estar enfocada a algunas de ellas o al total.

#### *Selección del Equipo de Auditoría y Recursos Necesarios*

El equipo de auditores deberá ser seleccionado de acuerdo a la envergadura y naturaleza del ejercicio. Una auditoría simple requerirá, al menos, de dos profesionales con experiencia y conocimientos en aquellos aspectos relevantes, tanto ambientales (es decir, legislación ambiental, impactos ambientales) como de procesos (es decir, de las actividades específicas a auditar). Aparte de las características técnicas de los miembros del equipo auditor, se debe poner énfasis en aquellas facetas personales y éticas, tales como madurez, capacidad de comunicación, discreción y confiabilidad, gentileza en el trato, tacto, responsabilidad, y otras, que facilitan el acceso a la información y la exitosa ejecución de las actividades en terreno (es decir, entrevistas, reuniones).

#### *Selección de los Lugares y Actividades a Auditar*

Estos dependen del tipo de auditoría, sus objetivos y alcances. En el caso de una auditoría en el contexto de un sistema de gestión ambiental, se cubre aquellas instalaciones, procesos o actividades identificadas dentro de la política ambiental de la empresa.

#### *Preparación del Plan y del Equipo Auditor*

El plan de auditoría incluye todas aquellas etapas y actividades requeridas para completar el ejercicio. Una vez definidos los objetivos, alcances, áreas prioritarias, equipo auditor y lugares a auditar, se debe especificar las tareas a desarrollar antes, durante y después de las actividades en terreno.

- *Calendario de actividades, a través de todas las etapas del ejercicio.*

Definir la duración prevista para cada etapa y actividad, además de los recursos humanos y materiales involucrados.

- *Obtención y Análisis de la Información Preliminar Requerida*

Se requiere información preliminar sobre los procesos, procedimientos, legislación vigente, estándares ambientales, y otros datos, que permitan evaluar el desempeño ambiental de la actividad auditada (ver Tabla). Las fuentes de información incluyen archivos legales, documentos contables, expedientes de personal, registros de accidentes, planes de emergencia y de seguridad e higiene ambiental, registros de proveedores y materias primas, diagramas de procesos, bases de datos abiertas (ej.: vía Internet). Una parte importante de dicha información será entregada por la empresa auditada, en forma previa a la realización de las actividades en terreno. Se pueden utilizar listas de verificación como ayuda para orientar la búsqueda de información. Al final de este capítulo se anexa una lista de verificación típica para auditorías ambientales preliminares.

- *Comunicación con la empresa para lograr un clima de cooperación*

La colaboración activa de todos los funcionarios de la empresa auditada es una condición fundamental para el éxito del ejercicio. Para ello, es necesario que el responsable ambiental de la empresa explique claramente los objetivos que se persigue con la auditoría y los pasos a seguir en el ejercicio, evitando que ésta sea vista como una amenaza. La comunicación entre el equipo auditor y el interlocutor interno deberá ser fluida y expedita, de modo que cada acción del equipo auditor se lleve a cabo luego de que ésta haya sido aceptada y comprendida por los responsables de la empresa.

- *Distribución de tareas en el equipo auditor*

La evaluación de la información preliminar obtenida permitirá establecer con mayor precisión el plan de trabajo, así como las prioridades.

- *Análisis preliminar de las actividades a auditar*

La información preliminar deberá ser analizada en profundidad, en conjunto con los factores del entorno que pueden ser afectados por las actividades de la empresa, para identificar y evaluar las relaciones entre ellos. Ello permitirá apoyar el establecimiento de prioridades previo al programa en terreno.

#### INFORMACIÓN REQUERIDA EN LA FASE DE PREPARACIÓN DE LA AUDITORÍA

Descripción de la empresa, productos, prácticas y procesos, modo de operación.
Requerimientos materiales y energéticos.
Historial de problemas ambientales (con la comunidad, autoridades, etc.)
Identificación y cuantificación de los residuos (gases, líquidos, sólidos).
Fuentes de residuos en el proceso. Gestión (segregación, recuperación, reuso).
Tratamiento y control de residuos.
Identificación, cuantificación y gestión de compuestos peligrosos.
Identificación de otros agentes de impacto potencial sobre el medio ambiente.
Planes de emergencia. Historial de accidentes.
Planes de entrenamiento. Información sobre riesgos operacionales.
Informes médicos acerca de seguridad, salud e higiene ocupacional
Controles ambientales existentes, señales de alerta, alarmas, documentación.
Programa de vigilancia ambiental. Grado de cumplimiento.

- *Identificación de los estándares para evaluar el desempeño ambiental.*

Este aspecto es importante, particularmente en aquellas auditorías que impliquen verificación del comportamiento ambiental. Los estándares son valores que fijan mínimos de calidad ambiental o máximos para las emisiones. Los estándares pueden ser internos (es decir, establecidos por las políticas ambientales de la empresa) o externos (es decir, establecidos por la legislación o normas sectoriales). Es importante acordar desde el principio cuales serán los estándares utilizados, existiendo un consenso al respecto entre el equipo auditor y la empresa auditada.

- *Definición de los métodos y procedimientos a utilizar en terreno*

Los procedimientos de muestreo y análisis serán especificados en esta etapa. Ellos permitirán llevar a cabo el trabajo en terreno para comprobar el grado de veracidad de la información disponible.

- *Preparación de las herramientas de auditoría*

Las herramientas básicas para obtener información en terreno son: los documentos de trabajo, las reuniones, y los análisis u observaciones técnicas. Es fundamental contar con documentos de trabajo que permitan abordar en forma estructurada la auditoría. Las entrevistas deben realizarse personalmente, para así poder apreciar las reacciones del entrevistado y darle mayor interacción a la comunicación. Los cuestionarios sirven para darle una mayor orientación a la entrevista, estableciendo criterios previamente definidos, permitiendo además generar un documento de trabajo. Los resultados de los análisis y observaciones técnicas efectuadas en terreno, deben ser comparados con los estándares correspondientes.

#### Actividades en Terreno

Las actividades específicas a realizar en terreno dependen del tipo de auditoría ambiental, aún cuando ellas tienen una base común: la búsqueda y verificación de información en terreno.

##### *Reuniones de Apertura*

Estas reuniones permiten establecer claramente los objetivos de la auditoría, sus motivaciones, los procedimientos metodológicos a emplear y el programa a desarrollar.

##### *Recopilación de Información en Terreno*

Esta información permitirá verificar el cumplimiento de las leyes, regulaciones, políticas internas u otros estándares ambientales. Esta evidencia se obtiene a partir de 3 fuentes generales:

- *Preguntas (Entrevistas, cuestionarios)*

Las técnicas de conducción de entrevistas y confección de cuestionarios están ampliamente documentadas en la literatura especializada. En general, la entrevista requiere de una cuidadosa planificación y preparación. El entrevistador debe tener un buen nivel de entrenamiento y características de personalidad idóneas. Los cuestionarios deben ser claros y precisos. La Tabla 9.3 muestra algunas recomendaciones básicas acerca de los documentos de trabajo.

- *Observaciones directas (Inspecciones a las instalaciones)*

Las visitas a las instalaciones ofrecen una buena oportunidad para identificar fuentes de emisiones no definidas en los diagramas de proceso (ej.: venteos, derrames, pérdidas). Se recomienda efectuar estas inspecciones en las primeras etapas del ejercicio, para lograr una adecuada familiaridad con los procesos a auditar. Se debe privilegiar inspecciones en condiciones críticas (ej.: cambios de turnos, puesta en marcha o parada de equipos claves, vaciado o llenado de estanques y reactores, etc.). Es importante que el auditor tenga algún registro físico de sus observaciones (ej.: videos, fotografía, dibujos).

- *Verificación de datos (Muestreos y análisis, revisión de cálculos y registros)*

Aquí se incluye: tomas de muestra de efluentes, registros de asistencia a cursos de capacitación, registros de disposición de residuos, validación de análisis de laboratorio, etc. Es importante identificar las deficiencias por ausencia de registros, incumplimiento de los procedimientos, fallas en los sistemas de control, etc..

## **Evaluación de los Resultados**

Las evidencias y documentación obtenidas anteriormente deberán ser evaluadas exhaustivamente en el contexto de los objetivos de la auditoría. Se deberá identificar aquellas deficiencias de carácter general, y aquellas que correspondan a aspectos parciales del sistema de gestión. Además, se debe analizar su nivel de importancia. Los aspectos más importantes a evaluar son:

- Verificar cumplimiento con la legislación ambiental.
- Verificar la efectividad de acciones correctivas.
- Identificar potenciales mejoras.
- Formular recomendaciones.

### *Reunión de Cierre*

Los resultados de las acciones de auditoría son comunicados a la empresa a medida que progresa el ejercicio. Los resultados finales se analizan en conjunto, auditores-empresa, dando cierre a las actividades en terreno, permitiendo aclarar cualquier error o ambigüedad antes de elaborar el informe final.

### *Actividades Finales: Informe Final y Plan de Seguimiento*

Los informes de auditoría ambiental son el resultado final de la ejecución de todos los pasos estipulados en el plan de auditoría. La estructura y contenido son específicos a cada tipología de auditoría.

Las recomendaciones deberán incluir un Plan de Acción, para asegurar el cumplimiento de las medidas destinadas a corregir las deficiencias del sistema de gestión ambiental. El seguimiento del plan de acción permitirá garantizar el cumplimiento de los procedimientos y plazos establecidos.

## **AUDITORÍA DE RESIDUOS**

Es importante señalar que las auditorías para identificar opciones de minimización de residuos siguen un procedimiento similar al descrito anteriormente. En este caso, el análisis de los balances de materia y energía constituye uno de los pilares de este tipo de auditoría, ya que permite evaluar los flujos de recursos a través del proceso e identificar aquellas actividades que presentan mayor potencial de pérdidas. Para llevar a cabo este ejercicio, es conveniente comenzar considerando la totalidad de la planta, definiendo claramente las corrientes de entrada y salida:

Las corrientes de entrada incluyen:

- Materias primas
- Insumos
- Suministros (vapor, agua)
- Combustibles, energía eléctrica

Las corrientes de salida, normalmente incluyen:

- Productos semielaborados
- Productos terminados
- Residuos (líquidos, sólidos, gaseosos, energéticos)

Es importante tener una completa descripción del proceso, el tipo de operación (ej.: continua, discontinua), frecuencia de operación y estacionalidad.

En esta primera fase, el auditor debería tener respuesta a las siguientes preguntas guía:

- ¿Cuáles son los residuos asociados al proceso?
- ¿Dónde se vierten los residuos líquidos?
- ¿Existe un sistema de tratamiento de residuos líquidos?
- ¿Existen sistemas de depuración de gases residuales?
- ¿Cómo se tratan y disponen los residuos sólidos?
- ¿Dónde se verifican los principales consumos de energía?
- ¿Cuáles son los principales usos del agua?
- ¿Cuáles son los insumos químicos peligrosos?
- ¿Existen procedimientos establecidos para su manejo?
- ¿Existe una adecuada identificación de los principales peligros?
- ¿Se observa una efectiva implementación de medidas de prevención de accidentes?
- ¿Existen planes de emergencia para enfrentar las principales contingencias?
- ¿Se conocen los costos asociados al control ambiental?
- ¿Cuál es la impresión sobre el nivel de motivación, entrenamiento y compromiso del personal?
- ¿Cuál es la actitud de la gerencia hacia el control ambiental?
- ¿Existen monitoreos periódicos de los residuos generados?
- ¿Existen planes de mejoramiento ambiental?

Una vez obtenida una primera base de información general acerca del proceso de producción, se procede a dividirlo en sus principales etapas, siguiendo el orden lógico de las operaciones, sin entrar en mayores detalles técnicos. Interesa definir, para cada etapa, los flujos de materiales y energía, así como las condiciones de operación básicas (temperatura, presión, concentraciones). Se debe identificar todas las corrientes de entrada y salida para cada etapa, y los flujos máxicos respectivos (ej. kg/día). Es importante identificar la presencia de compuestos peligrosos (es decir, tóxicos, explosivos, inflamables, corrosivos, etc.) y la existencia de condiciones operacionales extremas (es decir, temperaturas y presiones extremas, reacciones exotérmicas). Ello permite identificar peligros potenciales y evaluar el nivel de riesgo operacional involucrado.

En base a estos resultados, se debe determinar la importancia de cada etapa, en base a la cantidad y tipo de residuos que genera, los recursos consumidos, los niveles de riesgos involucrados y su importancia en el proceso. De este modo, se puede identificar aquellas etapas que deben ser estudiadas con mayor detalle.

En una fase posterior, se detalla las operaciones incluidas en dichas etapas críticas y se identifican y cuantifica sus respectivas corrientes de entrada y salida. Aquellas operaciones que demuestren ser principales fuentes de residuos, de consumo de recursos, de pérdidas y que representan un significativo riesgo operacional, deben evaluarse detalladamente, con la ayuda de expertos en el tema. Al respecto, es importante conocer la opinión de quienes están encargados de operar las unidades críticas y discutir con ellos los cursos de acción posible.

El auditor deberá identificar posibles fallas en los procedimientos de mantención, en los sistemas de medición/monitoreo de variables claves, fallas en el control de calidad, debilidades en el nivel de entrenamiento, falta de motivación/compromiso, u otras causas. Conjuntamente, es necesario recopilar datos sobre las características del entorno y de los recursos directamente afectados por la actividad industrial, para así evaluar los efectos ambientales más significativos. Con dicha información, el auditor estará en condiciones de formular y evaluar diferentes alternativas para minimizar tales pérdidas, y por consiguiente, reducir el impacto ambiental.



## ACTIVIDADES TÍPICAS DE UNA AUDITORÍA DE RESIDUOS