



# Uso de Tecnologías Limpias:

## Experiencias Prácticas en Chile

Ministerio de Economía  
2000



Proyecto Producción Limpia SEPL-GTZ

## **Uso de Tecnologías Limpias: Experiencias Prácticas en Chile**

**Este estudio fue elaborado por:**

Ing. Jorge Castillo G.,  
Ing. Eje. Quím. Dolores Rodríguez V.,  
Ing. Quím. Ana María Rivera C.,  
Ing. Gabriel Zamorano S.,  
Ing. Humberto Acuña D.,

Contraparte:  
Marcela Lara M.,  
Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia del Ministerio de Economía.

Claudia Fernández E.,  
GTZ.

## PRESENTACION

Los objetivos del desarrollo productivo que se ha planteado el Gobierno apuntan a incrementar la competitividad de las empresas chilenas, vía aumentos de productividad y calidad, promoviendo e incrementando la innovación tecnológica y la capacitación permanente de la fuerza de trabajo.

Los factores que inciden en el desarrollo de esos objetivos son diversos y se refieren tanto a la presión ejercida por los propios mercados como a las estrategias de desarrollo definidas. A esas exigencias se suma hoy, a nivel mundial, la demanda creciente por proteger el medio ambiente. En este campo la responsabilidad del sector privado tiene como contrapartida la obligación del Estado de generar los instrumentos y las políticas que faciliten los procesos de adaptación y eviten trabas innecesarias que puedan desincentivar la inversión.

Para estos efectos, el Ministerio de Economía ha venido ejecutando desde 1997 la Política de Fomento a la Producción Limpia, que se ha expresado en diversas iniciativas de alto impacto

El presente documento es parte de esta Política de Fomento y del trabajo desarrollado por la Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia del Ministerio de Economía.

En este documento se describe en forma simple los principales problemas ambientales originados por los procesos productivos y las soluciones que han sido implementadas bajo el enfoque de Producción Limpia, detallando los costos y beneficios asociados a éstas.

Su generación se basa principalmente en el criterio de que las primeras soluciones que se aplican bajo la estrategia de Producción Limpia, son simples, genéricas y replicables en cualquier proceso de cierta similitud. Los casos presentados muestran que la aplicación de esta estrategia preventiva de la contaminación, permite solucionar problemas ambientales con beneficios que exceden ampliamente los costos, los que en su mayoría además resultan accesibles.

Quiero agradecer a todas aquellas empresas que basadas en un espíritu constructivo, hicieron posible la elaboración de este documento, respondiendo a los requerimientos de información realizados. Asimismo, quiero valorar especialmente la colaboración del gobierno alemán prestada a través de la GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit) que permitió recopilar y estructurar dicha información.

Espero que este documento permita que las empresas, en particular medianas y pequeñas se familiaricen con la estrategia de la Producción Limpia, impulsándolas a seguir por este camino, que aportará de manera fundamental al desarrollo sustentable de nuestro país.

**José De Gregorio**  
**Triministro de Economía, Minería y Energía**

## **INDICE**

<b>Presentación</b>	<b>3</b>
<b>Indice</b>	<b>4</b>
<b>1.Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2.Alternativas de Manejo de Residuos</b>	<b>6</b>
<b>3.Instrumentos de Fomento aplicables a la Producción Limpia</b>	<b>10</b>
<b>4.Experiencias Nacionales en Producción Limpia</b>	<b>12</b>
<b>1. Sector Alimentos</b>	<b>13</b>
1.1. Rubro Cecinas	13
1.2. Rubro Lácteos	14
1.3. Rubro Mataderos	18
1.4. Rubro Pesquero	19
<b>2. Sector Curtiembre y Textil</b>	<b>21</b>
2.1. Rubro Curtiembre	21
2.2. Rubro Textil	24
<b>3. Sector imprentas</b>	<b>27</b>
3.1. Rubro Imprentas	27
<b>4. Sector Metalmecánico y Otros</b>	<b>28</b>
4.1. Rubro Galvanoplastia	28
4.2. Rubro Fundición	29
4.3. Rubro Metalmecánico	32
<b>5. Sector Químico</b>	<b>34</b>
5.1. Rubro Desembarque de Productos Químicos	34
5.2. Rubro Fabricación y Empleo de Anhídrido Sulfuroso	35
5.3. Rubro Pinturas	38
<b>Fuentes de Información</b>	<b>41</b>

## 1. INTRODUCCION

En el último tiempo, el sector industrial chileno se ha visto sometido a una gran presión para reducir en forma significativa sus emisiones contaminantes. La que se origina principalmente por las restricciones impuestas en mercados internacionales, así como por la evolución que ha tenido la regulación y fiscalización a nivel nacional. Esto se suma a una creciente sensibilidad social, que se ha traducido en una mayor conciencia de los ciudadanos, consumidores, trabajadores y empresarios sobre la existencia de la contaminación y su impacto sobre la salud y la calidad de vida.

Sin embargo, la dimensión ambiental, no tiene porque ser asumida sólo como un costo para los empresas. De hecho, a mayor emisiones o descargas, es posible constatar una mayor ineficiencia en los procesos productivos, que al ser corregida, puede incluso generar beneficios para la empresa, más allá de lo que implica cumplir con las normativas.

Esta es la esencia del concepto de Producción Limpia, que consiste básicamente en solucionar un problema ambiental a través de una estrategia ambiental preventiva, que al ser aplicada a los productos, procesos y organización del trabajo, permite usar con mayor eficiencia los recursos materiales y energéticos, y con ello incrementar la productividad y competitividad de la empresa. En forma simultánea, se minimizara las emisiones y/o descargas en la fuente, reduciendo el impacto negativo para el medio ambiente.

El gobierno, consciente de las ventajas de introducir este enfoque en el sector industrial chileno y en los organismos públicos vinculados a la regulación, la fiscalización y el fomento, dictó la Política de Fomento a la Producción Limpia. Esta Política, tiene por objetivo acelerar el proceso de aprendizaje de las empresas, para que introduzcan este concepto en su gestión prontamente, aprovechando sus ventajas en términos de hacer ganancias en la dimensión ambiental y productiva.

En este contexto, este documento busca en su primera parte clarificar algunos conceptos acerca de Producción Limpia, en tanto que en la segunda parte se orienta a dar ejemplos claros y concretos acerca de experiencias exitosas que han llevado a cabo diversas empresas, que pueden ser perfectamente replicadas por empresas con procesos productivos y/o problemas ambientales similares.

## 2. ALTERNATIVAS DE MANEJO DE RESIDUOS

En relación al manejo de residuos existen tres grandes alternativas de gestión ambiental para la industria, habiéndose demostrado en la práctica, que hay una clara jerarquización respecto del orden en que éstas deben aplicarse, de acuerdo a sus ventajas y desventajas.

En orden de conveniencia, es posible distinguir las siguientes alternativas:

- Reducción de Residuos en el Origen, que involucra cambios en los productos y cambios en los procesos productivos (sustitución de materia primas e insumos, cambios tecnológicos y la aplicación de buenas prácticas en la gestión de operaciones).
- Reciclaje (reúso de materiales o residuos).
- Tecnología de Control, que se aplica al final del proceso («end of pipe») y que comprende el tratamiento de los residuos y su disposición final.

La solución de los problemas ambientales debe ser buscada a través de la aplicación secuencial de las alternativas señaladas, en el mismo orden descrito. Las dos primeras alternativas pueden generar importantes beneficios para la industria, que se traducen en una mayor productividad y competitividad. En cambio, el tratamiento y disposición final de los residuos sólo involucra costos.

Mediante la primera alternativa, generalmente la más simple de aplicar, es posible mejorar algunos sistemas y procedimientos que permiten reducir los volúmenes de desechos en la industria, con lo cual se disminuye en forma ostensible la necesidad de reutilizar o reciclar, y se reduce o elimina la necesidad de un sistema de tratamiento y disposición final.

Adicionalmente a las ventajas directas o indirectas en términos ambientales de la reducción de residuos en el origen, éstas normalmente redundan en una reducción de costos de producción a través de un mejor manejo de materiales y una mayor eficiencia del proceso.

La aplicación de la segunda alternativa, el reciclaje o reutilización, todavía puede generar beneficios tangibles para la empresa, aunque en menor grado que aplicando la reducción en el origen. Finalmente, el tratamiento y disposición final sólo está asociado a costos, en términos de inversión y de operación.

### 2.1. Reducción en el origen

La reducción en el origen elimina o disminuye la necesidad de tratamiento y disposición de los residuos. Incluye el uso racional de los recursos, materias primas, insumos y energía, y el uso de materiales menos nocivos para el medio ambiente. De este modo, la reducción en el origen es una de las alternativas menos costosas para la solución de problemas ambientales, y en muchos casos genera rentabilidades atractivas y bajos niveles de inversión. Esta alternativa, por incluir el mejoramiento de los procedimientos de operación y las denominadas buenas prácticas productivas, genera productos de

mejor calidad y con menos problemas ambientales. Algunas de las modalidades de esta práctica son las siguientes:

**a) Cambios en las materias primas o insumos**

Corresponde al uso de materias primas e insumos que no generen o que generen un nivel inferior de residuos indeseables o peligrosos. El resultado de estos cambios es una minimización de los residuos y una menor exposición de los trabajadores a contaminantes producidos en el proceso manufacturero.

**b) Cambios de tecnología**

Esto significa modificar sistemas obsoletos o costosos por tecnologías adecuadas donde la inversión es recuperada en el corto plazo, por el ahorro de materias primas e insumos y/o mejoramiento de la productividad. Estos cambios generan beneficios ambientales ya que el uso más eficiente de las materias primas e insumos tiene como consecuencia una disminución en la cantidad de residuos.

**c) Cambios en las prácticas de operación**

La aplicación de buenas prácticas de gestión de operaciones en la empresa se basa en la aplicación de una serie de procedimientos y/o políticas organizacionales y administrativas destinadas a mejorar y optimizar los procesos productivos y a promover la participación del personal en actividades destinadas a lograr la minimización de los residuos.

Dentro de estas prácticas se incluyen las políticas de personal, como capacitación o uso de incentivos, las medidas de prevención de pérdidas y las mejoras en los procedimientos como la implantación de sistemas de documentación adecuados, la optimización del manejo y almacenamiento de materias primas, el control de inventarios, la programación de la producción, etc.

Es importante mencionar que en el desarrollo de este tipo de gestión se entrecruzan los principios desarrollados en las Normas ISO 9.000 (Aseguramiento de Calidad) e ISO 14.000 (Gestión Ambiental).

Como ejemplo de buenas prácticas de operación se puede mencionar las siguientes:

- Capacitación permanente del personal sobre condiciones del proceso, seguridad industrial, manejo de materiales y salud ocupacional.
- Uso de incentivos al personal, no sólo de tipo monetario. Los empleados se comprometen más con la aplicación de medidas de prevención si saben que obtendrán algún beneficio, directo o indirecto, o un reconocimiento por su desempeño.
- Desarrollo de manuales de operación y procedimientos incluyendo desde listas de verificación o figuras de llamado de atención para los operarios, hasta manuales para el personal profesional, con el fin de clarificar y/o modificar operaciones del proceso para aumentar la eficiencia y controlar las pérdidas. En general, este punto es uno de los más débiles dentro de las industrias.
- Optimización de operaciones de almacenamiento y manejo de materias primas (desarrollando por ejemplo sistemas FIFO: lo primero que entra es lo primero que sale),

así como del control de inventarios. Mantención de un stock mínimo de materiales, sobretodo si éstos son perecibles, para evitar pérdidas innecesarias. Uso de las materias primas e insumos en las cantidades exactas para cada trabajo. Evitar tránsito excesivo en las zonas de almacenamiento y producción.

- Optimización de los programas de producción y mantención preventiva de los equipos con el fin de evitar accidentes, escapes, derrames y/o falla de los equipos. Esto incluye el chequeo y revisión de bombas, válvulas, empaques, estanques de retención, filtros, equipo de seguridad, etc.
- Control de calidad de materias primas en la recepción para verificar que cumplen las especificaciones requeridas. Esto incluye la calidad de los insumos y la exigencia de certificación de la calidad y devolución de los materiales si éstos no cumplen los requisitos establecidos.
- Desarrollar listas de programación para cada tipo de producto, con tiempos estimados de inicio y término de cada lote de producción, con el fin de controlar el inventario de las materias primas activas y mejorar la eficiencia de utilización de los equipos, para así lograr una adecuada cobertura de la demanda de los productos.

## **2.2. Reutilización y reciclaje**

Una vez agotadas todas las alternativas de reducción en el origen, se debe poner atención a las posibilidades de reutilizar o reciclar materiales o insumos, dentro o fuera de la industria. Esto permite reducir los volúmenes de residuos a ser dispuestos, transformándolos en un insumo más dentro del mismo proceso productivo u otro.

Aunque la reutilización y el reciclaje de residuos generalmente no son tan efectivos como la reducción en el origen, estas alternativas permiten reducir los volúmenes de residuos a ser dispuestos, transformándolos en un insumo más dentro del mismo proceso productivo u otro, y pueden tener un retorno económico que puede exceder o no los costos involucrados. Aún cuando los retornos asociados directamente al reciclaje o reutilización sean inferiores a los costos, en el análisis económico se debe incluir los costos de manejo, tratamiento o disposición de residuos que estarían asociados a la alternativa de manejo tradicional de residuos

Cuando no es posible reutilizar o reciclar los residuos dentro de su lugar de origen, conviene agotar las posibilidades de que los residuos se conviertan en insumos para otra industria, para lo cual puede ser de gran ayuda la centralización de información en una bolsa de residuos.

## **2.3. Tratamiento**

Sólo al final del proceso, cuando ya no es posible la reducción en el origen, ni el reciclaje o reutilización de materiales y se tienen problemas de descargas o emisiones que superan las normas aplicables, se debe considerar la opción de tratamiento y disposición de los residuos.

Aparte de los usualmente altos costos asociados a los sistemas de tratamiento y la dificultad tecnológica por la inexistencia de procesos universales que sean capaces de remover cualquier tipo de residuo, estos sistemas son ambientalmente ineficientes, porque típicamente separan los contaminantes de un medio, por ejemplo el aire, agua o suelo, obligando a disponerlos en otro, pero sin que necesariamente se reduzca su presencia en términos netos. Por ejemplo, la remoción de contaminantes gaseosos mediante un "scrubber" húmedo generará un residuo líquido que, si se somete a tratamiento, generará, a su vez un lodo o contaminante sólido, que eventualmente deberá ser dispuesto en el suelo, conteniendo los mismos contaminantes que fueron separados del medio gaseoso y que, potencialmente, pueden contaminar el agua.

### 3. INSTRUMENTOS DE FOMENTO APLICABLES A PRODUCCION LIMPIA.

A partir de lo expuesto, se puede considerar que, como resultado de la aplicación de medidas de producción limpia, las empresas obtienen beneficios que se proyectan hacia la relación empresa-comunidad, empresa-trabajadores y hacia el cumplimiento de los requisitos ambientales. Por otra parte, para aquellos empresarios que desean exportar u optar a mejores mercados, la gestión productiva permite encontrar mayores y mejores oportunidades de negocios.

Para apoyar al sector empresarial en este tema, especialmente a las pequeñas y medianas empresas, Corfo pone a su disposición instrumentos de fomento en modalidad de cofinanciamiento, los que se presentan a continuación:

#### Posibles aplicaciones de los Instrumentos de Fomento en Producción Limpia.

INSTRUMENTO	OBJETIVO	APLICABILIDAD AMBIENTAL
<b>Fondo de Asistencia Técnica (FAT)</b>	Apoyar la modernización empresarial, mediante el desarrollo de consultoría especializada, con el propósito de optimizar su gestión empresarial y su productividad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnóstico y auditorías ambientales.</li> <li>- Estudios técnico-económicos para el diseño de soluciones a problemas ambientales.</li> <li>- Declaración de impacto ambiental.</li> <li>- Estudio de reconversión o relocalización industrial.</li> <li>- Estudio de calificación técnica.</li> <li>- Definición de programas de producción limpia.</li> </ul>
<b>Proyectos de Fomento (PROFO)</b>	Fomentar la asociación entre empresarios de manera que, en conjunto, se realice la búsqueda de soluciones a problemas comunes que, dada su magnitud o naturaleza, no puedan (o no resulta conveniente) ser resueltos en forma individual. Con esto, se busca potenciar su participación y competitividad en los diferentes mercados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa grupales de implementación de sistemas de gestión ambiental y certificación de normas ISO 14.000 y también ISO 9.000.</li> <li>- Programas grupales de minimización de residuos.</li> <li>- Plantas colectivas de tratamiento de residuos.</li> <li>- Programas colectivos de reconversión industrial.</li> <li>- Programas grupales de relocalización industrial.</li> <li>- Programas grupales para prospectar nuevas tecnologías ambientales.</li> </ul>
<b>Programa Desarrollo de Proveedores (PDP)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aumentar la competitividad de las cadenas productivas nacionales, a través de creación y consolidación de relaciones de subcontratación estables entre grandes y pequeñas empresas, generando vínculos de confianza que posibilitan procesos de especialización y complementación productiva, en beneficio de ambas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programas grupales de implementación de sistemas de gestión ambiental y certificación de normas ISO 14.000 y también ISO 9.000.</li> <li>- Programas grupales de entrenamiento colectivo.</li> <li>- Programas grupales de minimización de residuos entre proveedores.</li> <li>- Plantas colectivas de tratamiento de residuos.</li> <li>- Programas grupales para prospectar nuevas tecnologías ambientales.</li> </ul>

<b>Programa de Apoyo a la Gestión de Empresas (PAG)</b>	Apoyar los esfuerzos para mejorar la competitividad de las empresas productivas, mediante el diseño e introducción de cambios en su gestión, que les permitan alcanzar una mayor productividad y calidad.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desarrollo del análisis del ciclo de vida del producto.</li> <li>- Aplicaciones a la problemática relacionada con el reciclaje de envases y embalajes.</li> </ul>
<b>Fondo Innovación Tecnológica (FONTEC)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Financiamiento para Proyectos de Innovación Tecnológica. (Línea 1)</li> <li>- Financiamiento para Proyectos de Infraestructura Tecnológica. (Línea 2)</li> <li>- Financiamiento para Proyectos de Transferencia Tecnológica Asociativa. (Línea 3)</li> <li>- Financiamiento para Entidades de Gestión y Centros de Transferencia Tecnológica. (Línea 4)</li> <li>- Estudios de Prevención para Escalamiento Productivo en Proyectos de Innovación. (Línea 5)</li> </ul>	Desarrollo de innovaciones tecnológicas, transferencia tecnológica, infraestructura y escalamiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Modificación procesos.</li> <li>- Desarrollo sistemas de recuperación de residuos/emisiones.</li> <li>- Creación de nuevos productos a partir de residuos.</li> <li>- Creación de nuevos productos a partir de análisis de ciclo de vida.</li> <li>- Creación de servicios a terceros para reciclaje/reuso de residuos.</li> <li>- Productos orgánicos.</li> <li>- Envases y embalajes.</li> </ul>

## 4. EXPERIENCIAS NACIONALES EN PRODUCCION LIMPIA

Este documento incluye la descripción de una serie de experiencias exitosas de aplicación de producción limpia en la industria nacional, agrupadas en seis sectores productivos que a su vez comprenden a 16 rubros de acuerdo al detalle que se presenta a continuación:

- **Sector Alimentos**

- Rubro Cecinas
- Rubro Lácteos
- Rubro Mataderos
- Rubro Pesquero

- **Sector Curtiembre y Textil**

- Rubro Curtiembre
- Rubro Textil

- **Sector Imprentas**

- Rubro Imprentas

- **Sector Metalmecánico y Otros**

- Rubro Galvanoplastia
- Rubro Fundición
- Rubro Metalmecánico

- **Sector Químico**

- Rubro Desembarque de Productos Químicos
- Rubro Fabricación y Empleo de Anhídrido Sulfuroso
- Rubro Pinturas

Los casos que se presentan a continuación han sido seleccionados de acuerdo a su carácter didáctico en términos de ejemplificar las ventajas que representa la aplicación de los conceptos de gestión ambiental. Al mismo tiempo se ha buscado que las medidas indicadas sean replicables en otras industrias.

En cada caso, se han cuantificado los beneficios económicos netos que derivan de la aplicación de las medidas que en la mayoría de los casos, se explican por la mayor eficiencia en el uso de las materias primas e insumos y por la reducción en la cantidad de residuos, lo que genera una disminución en los costos del tratamiento y disposición final.

Sin embargo, hay una serie de beneficios de la aplicación de la producción limpia que no pueden ser cuantificados económicamente, tales como el cumplimiento de los requisitos ambientales que, a su vez, permite mejorar las relaciones con la comunidad vecina al generar menos molestias, mejorar los ambientes de trabajo y disminuir la exposición de los trabajadores a los contaminantes y, por último, facilitar el acceso a nuevos mercados.

# 1. SECTOR ALIMENTOS

## 1.1. RUBRO CECINAS

La industria de fabricación de cecinas se caracteriza por su potencial capacidad de producir problemas ambientales asociados a la generación de residuos líquidos y sólidos. Las emisiones a la atmósfera no constituyen una preocupación ambiental importante en las industrias de cecinas, excepto por la eventual generación de malos olores provenientes de la descomposición de residuos cárneos.

Los contaminantes líquidos que se generan provienen básicamente de las aguas de lavado de equipos, de la limpieza de zonas de producción y de aguas de refrigeración y cocción. Los residuos sólidos generados contienen principalmente restos de carne y grasas, con y sin aditivos, provenientes de los procesos de picado, mezclado y embutido.

En la industria de cecinas Celme, ubicada en Chiguayante, se detectó un nivel considerable de descargas de aguas de enfriamiento, las cuales eran evacuadas, junto con las aguas de proceso, al sistema de alcantarillado de la industria. Estas aguas de enfriamiento no entran en contacto ni con productos, ni con residuos sólidos ni otras aguas residuales, por lo que son limpias. También se constató la generación de residuos sólidos, los cuales son evacuados a vertederos.

Desde el punto de vista de la productividad de la empresa, tanto las pérdidas de agua como las pérdidas de materias primas y productos, constituían costos elevados, no asociados a ningún beneficio productivo.

A continuación se describen las medidas de producción limpia adoptadas en este caso.

### A. Recuperación y reutilización de aguas de enfriamiento

El elevado consumo de agua y generación de residuos líquidos se abordó mediante la recuperación de las aguas de enfriamiento y su reutilización en otras etapas del proceso, implementando un sistema de canalización y captación de este recurso. Esta medida, si bien se aprecia como muy simple, una vez materializada, arrojó beneficios importantes para la empresa.

El costo total de implementación del sistema de recuperación correspondió a US\$ 1.898, mientras que el ahorro anual obtenido fue de US\$ 2.110. En este ahorro sólo se incluye la reducción de aquellos costos tangibles asociados a la producción y al problema ambiental, tales como la disminución de descargas de agua de enfriamiento en aproximadamente un 30%, y la disminución en los costos de consumo de agua y tratamiento de los residuos generados. Sin embargo, existen otros beneficios no contabilizados, como por ejemplo, el cumplimiento de normativas ambientales.

Los beneficios tangibles obtenidos por aplicación de la medida de producción limpia identificada permiten tener un retorno de los costos al cabo de sólo 11 meses, produciendo así un incremento de los ingresos por recuperación de recursos perdidos o mal utilizados.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 1.898
Ahorro anual	US\$ 2.110
Tiempo de retorno	11 meses
Reducción de contaminantes	Minimización y reuso de agua

## B. Disminución de la generación de residuos sólidos

La disminución de la generación de residuos sólidos se abordó en la planta industrial a través de un programa en dos etapas. La primera consistió en un reestudio de todos los procesos, procedimientos y fórmulas, involucrando en esta tarea principalmente al personal de producción y de ventas. Algunas de las ideas que fueron puestas en práctica son las siguientes: instalación de bandejas debajo de los mesones para evitar que las carnes que se desgrasan y preparan caigan al piso y no puedan ser reutilizadas; almacenamiento oportuno de estas carnes en cámaras de frío para evitar su deterioro organoléptico; reciclaje de una fracción importante de los envoltorios de los productos congelados, previo lavado; cambios en las técnicas de desposte para reducir la cantidad de huesos que se generan como residuos sólidos; adquisición de carnes ya despostadas.

Mediante la aplicación de estas medidas de producción limpia se consiguió una disminución en un 90% de los residuos sólidos generados por la empresa.

El costo total estimado de aplicación de estas medidas fue despreciable, generándose ahorros no evaluados asociados a la disminución en los costos de manejo y disposición de los residuos sólidos. También existen otros beneficios de las medidas de producción limpia tampoco evaluados en términos económicos, como son un mayor aprovechamiento de las materias primas e insumos, que trae consigo un aumento de la productividad de la industria.

La segunda etapa, consistió en la adquisición de una máquina proporcionadora de chuletas, disminuyendo así la generación de aserrín de hueso resultante del corte con sierra circular, de un 7,2 a un 1%.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	Despreciable
Ahorro anual	No evaluado
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución de la producción de residuos sólidos en un 90%

## 1.2. RUBRO LÁCTEOS

Como en la mayoría de las industrias de alimentos, los principales problemas ambientales originados por las industrias del sector lácteo están asociados a la generación de residuos líquidos y sólidos, siendo poco significativos los problemas ambientales relacionados con emisiones a la atmósfera.

Los residuos líquidos generados por la industria de lácteos provienen, entre otras fuentes, del agua de lavado de equipos, utensilios e instalaciones, del suero residual de la fabricación de queso, y de las soluciones ácidas y alcalinas y el agua utilizada en la limpieza de camiones, estanques y líneas de pasteurización. Estos residuos se caracterizan por una alta carga orgánica y de sólidos suspendidos y una carga media de aceites y grasas.

La generación de desechos sólidos proviene principalmente de los recortes de queso, además de otros residuos tales como maderas, papeles, plásticos utilizados en envases de materias primas, insumos y productos terminados. Las emisiones a la atmósfera son producidas básicamente por las calderas y por el polvo generado en los procesos de formulación y secado de leche y suero.

A continuación se presentan algunos casos de aplicación de medidas de Producción Limpia para la solución de problemas ambientales específicos en la industria de lácteos Industrial y Comercial Los Fundos Ltda., ubicada en Talagante. Esta está clasificada como industria grande y produce quesos envejecidos y frescos, mantequilla, crema y leche pasteurizada.

#### **A. Disminución del consumo de agua destinada a limpieza**

En esta empresa, se detectó que el consumo de agua era superior al nivel de consumo recomendado para este tipo de industrias, que es de 2 a 4 litros de agua por litro de leche procesada. Una gran parte del agua consumida era utilizada para lavados y limpieza de equipos y pisos. Esto se explicaba en parte por la existencia de considerables volúmenes de agua que escurrían, sin estar asociados a ningún uso, debido a descuidos o a falta de mantenimiento de equipos y conducciones.

Como consecuencia del uso desmedido del agua se generaba una gran cantidad de residuos líquidos caracterizados por una alta carga orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno y aceites y grasas.

Para abordar el problema identificado se instalaron pitones con cierre automático en todas aquellas mangueras que eran utilizadas para las tareas de lavado, con lo cual la limpieza es más efectiva y se reduce considerablemente el consumo de agua.

El costo total de la instalación de los pitones en las mangueras fue de apenas US\$ 150, mientras que el ahorro anual obtenido se estimó en US\$ 16.750. Este ahorro incluye sólo el menor costo por la disminución del consumo de agua, y la disminución en los costos de disposición de los residuos generados. Sin embargo, no incluye otros beneficios intangibles, como los asociados a una limpieza más efectiva y al cumplimiento de los requerimientos ambientales.

Los beneficios anuales medibles son muy superiores a la inversión efectuada, en este caso, y el tiempo de retorno de la inversión es de un mes. De esta forma, una medida sencilla permitió un avance sustantivo en términos ambientales y, al mismo tiempo, un considerable ahorro en los costos de producción.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 150
Ahorro anual	US\$ 16.750
Tiempo de retorno	Un mes
Reducción de contaminantes	Disminución del consumo de agua y la generación de residuos líquidos.

### **B. Reciclaje de soluciones de soda cáustica y ácido en lavados CIP**

Otro de los problemas ambientales generado por esta industria residía en el hecho de que no todas las soluciones de soda cáustica y ácido, utilizadas en los lavados mediante sistemas del tipo CIP, eran recirculadas y reutilizadas en nuevas operaciones de lavado. En algunos casos, como en el lavado de los camiones que transportan la leche, sí se hacía recirculación de las soluciones de soda y ácido, las que se utilizaban para el lavado de varias unidades, y se descargaban cuando alcanzaban cierto grado de suciedad. En otros casos, por ejemplo para el lavado de los equipos pasteurizadores, las soluciones utilizadas no eran recirculadas, por lo que se usaban una sola vez y luego se descargaban como residuos líquidos.

Esto daba lugar a altos costos debido al consumo de sustancias químicas, a la necesidad de tratar un gran volumen de residuos líquidos y a la producción de lodos en el sistema de tratamiento.

En este caso, la medida de producción limpia consistió simplemente en el cambio de los procedimientos de lavado, permitiendo que, en todos los casos, las soluciones de soda cáustica y ácido fueran recirculadas y reutilizadas varias veces. En los casos en que ya se reutilizaban estas soluciones, se determinó que era posible usar la misma solución en un mayor número de lavados. Lo anterior permitió disminuir el volumen y carga contaminante de los residuos líquidos generados.

El costo de inversión asociado a esta medida fue de US\$ 925, en tanto que los beneficios obtenidos se estimaron en US\$ 1.828 por año. La inversión incluye el equipamiento hidráulico para hacer posible la reutilización de las soluciones y el ahorro incluye la disminución de costo asociada al menor consumo de agua, soda cáustica y ácido, y la disminución del costo del tratamiento de los residuos líquidos. El tiempo de retorno de la inversión es de sólo seis meses en este caso.

Esta medida de producción limpia, simple y rentable, permitió mejorar la productividad de la empresa y al mismo tiempo reducir el problema ambiental asociado a los residuos industriales líquidos.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 925
Ahorro anual	US\$ 1.828
Tiempo de retorno	Seis meses
Reducción de contaminantes	Disminución de residuos líquidos descargados al sistema de tratamiento.

### C. Disminución de residuos de mantequilla en lavado del batidor

Otra oportunidad de reducción de contaminantes en su origen se detectó en el proceso de transporte de la mantequilla desde el equipo batidor hasta los estanques de acumulación. Los restos de mantequilla adheridos al batidor eran retirados mediante lavados con abundante agua y detergente. Esto, junto con generar pérdidas de producto, generaba un efluente con alta carga orgánica y alto contenido de aceites y grasas, que se descargaba en el sistema de tratamiento de los residuos líquidos, aumentando su costo de operación.

El problema descrito se abordó mediante la aplicación de una medida de producción limpia muy simple, consistente en el raspado y recuperación de la película de mantequilla adherida al batidor, antes de su lavado con agua y detergente. El sólido recuperado se almacenó en estanques para su posterior reutilización. Bajo el nuevo procedimiento, sólo una vez que se retira la mayor parte posible de la mantequilla adherida en el equipo batidor, se procede al lavado con agua y detergente.

Esta medida permitió un ahorro del agua y detergentes requeridos para el lavado del batidor e incidió en una disminución de los costos de operación del sistema de tratamiento y disposición final de residuos líquidos, al disminuir su volumen y carga contaminante.

El costo total de aplicación de esta medida fue de sólo US\$ 100, mientras que el ahorro anual obtenido fue de US\$ 11.200. En este ahorro se incluye la reducción del costo del agua y detergente utilizados en el lavado del batidor y la disminución de los costos de tratamiento y disposición final de residuos industriales líquidos. La inversión requerida en este caso se recupera aproximadamente en el lapso de un mes.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 100
Ahorro anual	US\$ 11.200
Tiempo de retorno	Un mes
Reducción de contaminantes	Disminución de grasas y aceites en los residuos líquidos

### D. Mejoramiento de la contención del queso en la operación de relleno de moldes

En el proceso de moldeado de quesos se detectó un problema que redundaba en generación de residuos y sub-aprovechamiento del producto. El diseño inadecuado del sistema de contención de los moldes daba origen a derrames de producto, los que eran limpiados y arrastrados con agua, generando, de este modo, residuos líquidos con alta carga orgánica, sólidos suspendidos y aceites y grasas.

El problema fue abordado mediante el rediseño de los moldes y su sistema de contención para evitar derrames y/o goteos. La solución adoptada permitió reducir notablemente los residuos generados en este sector y disminuir los requerimientos de agua para lavar y arrastrar estos residuos. Al mismo tiempo se aumentó el rendimiento del proceso, es decir, la cantidad de queso producida.

El costo de inversión de esta medida fue de US\$ 9.135, permitiendo aumentar en un 3% la cantidad de queso obtenida del proceso productivo, además de generar beneficios adicionales por la disminución de la cantidad y carga contaminante de los residuos líquidos.

No se cuenta con antecedentes cuantitativos de los beneficios anuales asociados a esta medida de producción limpia, aunque se estima que éstos deberían ser mayores a la inversión efectuada, con un período de retorno inferior a un año.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 9.135
Ahorro anual	3% de aumento en la producción
Tiempo de retorno	Inferior a un año
Reducción de contaminantes	Disminución de contaminantes al sistema de tratamiento y disposición a vertederos

### 1.3. RUBRO MATADEROS

En el caso de los mataderos, los principales problemas ambientales están asociados a la generación de residuos líquidos y sólidos. También es posible que se generen malos olores, producto de la descomposición de restos de animales o de las fecas de éstos.

Los residuos líquidos provienen principalmente de las aguas de lavado de productos, equipos e instalaciones. Estos residuos se caracterizan por una alta carga orgánica y altos contenidos de sólidos suspendidos, aceites, grasas y nutrientes. Los residuos sólidos provienen de las fecas recogidas en el sector de corrales, de animales o partes de animales decomisados (no aptos para su consumo) y otros restos, como huesos, pezuñas y cuernos.

La empresa Lo Valledor posee uno de los mataderos más grandes del país, ubicado en la Región Metropolitana. Este matadero procesa aproximadamente 2.500 cabezas de ganado al día, produciendo 400 ton/día de carne.

#### A. Racionalización del uso del agua

En esta empresa el agua era utilizada en exceso y con muy poco control. Al no existir medición de la cantidad de agua consumida, proveniente de los pozos profundos con que cuenta la industria, no había posibilidad de evaluar que los consumos de agua eran excesivos, ni detectar la existencia de fugas y pérdidas. Se constató que se utilizaban cantidades excesivas de agua en las operaciones de lavado, por ejemplo, dejándose que algunas mangueras escurrieran mientras no estaban en uso.

El consumo de agua excesivo daba lugar a un gran volumen de residuos líquidos, encareciendo, de esta forma, las alternativas de manejo, tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos.

Una de las medidas de producción limpia aplicadas, consistió en la instalación de pitones de cono abierto con un gatillo de cierre automático en todas las mangueras. Estos pitones, además de evitar el escurrimiento de agua mientras ésta no se usa, producen un chorro que facilita la limpieza y una disminución de consumo que, a su vez incrementa la presión del agua. También se instalaron válvulas de corte en todos los

sistemas individuales que consumen agua, para evitar que se desperdicie este recurso en los sectores que no están en servicio.

Adicionalmente a las medidas descritas, se instalaron medidores a la salida de cada pozo y en el ingreso del sistema de agua potable para monitorear y controlar el consumo de agua, lo que permitió mantener niveles adecuados de consumo y verificar por separado la cantidad y calidad de agua obtenida de los pozos y la red pública.

Todas estas medidas produjeron una disminución de la cantidad de agua consumida, con el consiguiente ahorro en la facturación de los servicios de agua potable y alcantarillado y en el consumo de energía asociado a la extracción de agua de los pozos profundos de la industria.

El costo total de instalación de medidores, pitones, válvulas de corte y otros implementos fue de US\$ 3.000, mientras que el ahorro anual obtenido fue de US\$ 29.000. Este último valor considera sólo los ahorros producidos por el menor consumo de agua y energía. Sin embargo, hay otros ahorros no considerados, como la disminución de la inversión requerida para el tratamiento de los residuos líquidos. En este caso, el tiempo de retorno de la inversión es de poco más de un mes.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de implementación	US\$ 3.000
Ahorro anual	US\$ 29.000
Tiempo de retorno	1 mes
Reducción de contaminantes	Disminución del consumo de agua y generación de residuos líquidos

#### 1.4. RUBRO PESQUERO

Chile es un de los mayores productores y exportadores de harina de pescado del mundo. La producción total supera los 1,2 millones de toneladas anuales, y representa más del 4% del total de exportaciones. Debido a que el 60% de la producción se concentra en una región, y descarga anualmente unas 65.000 toneladas de demanda bioquímica de oxígeno en una pocas bahías, la industria de la harina de pescado contribuye significativamente a la degradación ambiental en dicha región.

El proceso de producción de harina de pescado consta, básicamente, de las siguientes etapas: descarga del pescado, molienda, cocinado mediante inyección de vapor, prensado continuo en un tornillo, secado con vapor indirecto, y empaçado. El proceso es seguido de centrifugación del líquido producto del prensado, para separar el aceite de la materia suspendida proteica, y se completa con la reducción de humedad por evaporación de este material, el cual se vende, o bien, se retorna al proceso de secado.

La Universidad de Concepción, la Asociación Regional de Productores de Harina de Pescado, varias agencias del gobierno y la Organización para el Desarrollo Industrial de las Naciones Unidas (UNIDO), iniciaron un proyecto conjunto para investigar las posibilidades de aplicar medidas de producción limpia, consistentes básicamente en minimizar los residuos y mejorar la eficiencia de recuperación de sólidos, para lo cual se evaluó diversas alternativas a nivel de laboratorio y de planta piloto.

#### A. Recuperación de materia orgánica en la industria de harina de pescado.

En la Pesquera San Pedro se aplicaron básicamente tres cambios tecnológicos, que corresponden al cambio de bombas centrífugas a bombas de vacío en el proceso de descarga de los pescados; la instalación de procesos adicionales para recuperar materia orgánica sólida mediante el empleo de mallas, seguido por su reciclado a través de la incorporación en las operaciones de centrifugación, evaporación y secado; y el cambio desde calentamiento por vapor directo a calentamiento en secadores rotativos con calentamiento indirecto, mediante chaquetas de vapor.

Los resultados preliminares indican que mediante la adopción de las medidas descritas se produce una reducción de la descarga de demanda bioquímica de oxígeno del orden de un 80%. El cambio del sistema de bombeo de la descarga requirió de una inversión de US\$ 3.000.000, generando un retorno anual de US\$ 1.600.000, lo que corresponde a un período de retorno de 23 meses. La recuperación de sólidos involucró una inversión de US\$ 120.000, con ahorros anuales por recuperación de materia prima de US\$ 240.000, lo que equivale a un período de retorno de 6 meses. Finalmente, el cambio desde calentamiento mediante vapor directo a vapor indirecto significó una inversión de US\$ 600.000, generando un ahorro anual de US\$ 3.400.000, equivalente a un período de retorno de sólo un par de meses.

La inversión total fue de US\$ 3.720.000 y el retorno anual de US\$ 5.240.000, por lo que, en promedio, el período de retorno fue de 9 meses.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 3.720.000
Ahorro anual	US\$ 5.240.000
Tiempo de retorno	9 meses
Reducción de contaminantes	Recuperación de residuos sólidos contenidos en el agua como producto

## **2. SECTOR CURTIEMBRE Y TEXTIL**

### **2.1. RUBRO CURTIEMBRE**

Las empresas de curtido de cueros generan problemas ambientales significativos asociados tanto a residuos líquidos, como a emisiones a la atmósfera y a residuos sólidos. Estos problemas ambientales son similares en las distintas curtiembres, por lo que las actividades preventivas basadas en producción limpia pueden ser aplicables a la mayoría de ellas.

Los contaminantes que se generan en la producción de cueros curtidos provienen básicamente de agua de remojos, lavados y curtidos de las pieles, junto con restos de pelos, tintas, grasas y productos químicos utilizados en las distintas etapas del proceso, los cuales se fijan en un 90% al cuero, quedando el resto incorporado a los residuos. Además, en el proceso de pintado de los cueros normalmente se utilizan lacas que contienen solventes orgánicos, por lo que se producen emanaciones de estos compuestos.

En la empresa de curtido de cueros de cabra para calzado y vestimenta Jordec, clasificada como empresa mediana, ubicada en la Región Metropolitana, se producen cueros de piel de cabra. El proceso consiste inicialmente en el remojo de las pieles secas saladas, su posterior lavado para la remoción de sustancias e impurezas, para luego continuar con el pelambre, enjuague y ablandamiento. Una vez que se terminan estas etapas se procede al curtido, que se realiza utilizando sales de cromo. Una vez curtidas las pieles se tiñen, engrasan y recurten, de acuerdo al tipo de producto que se quiera fabricar.

En los puntos siguientes se presentan las medidas de producción aplicada en esta industria.

#### **A. Curtido en sales de cromo con alto agotamiento**

En el proceso de curtido se descartan importantes volúmenes de soluciones de cromo gastadas. Estas soluciones se utilizan para transferir el cromo a las pieles. Con el proceso utilizado, se conseguía transferir el 75% del cromo contenido en la solución, y el resto se descartaba junto con los residuos líquidos. El cromo, especialmente en su estado de oxidación hexavalente, es altamente tóxico.

Para abordar el problema identificado se optó por utilizar el sistema de curtido de alto agotamiento, mediante el cual se consigue transferir más del 95% del cromo al cuero, reduciendo así la utilización de sales de cromo y la masa de cromo descargada en el efluente. La técnica consiste en aplicar el curtido con un baño equivalente a sólo un 40% del cuero, en peso, denominado baño corto, reduciendo la concentración de sulfato de cromo de 8% a 6%, aumentando la temperatura final del curtido a 45°C y utilizando un nuevo besificante de cromo a base de óxido de magnesio y ácido dicarboxílico, para ayudar a transferir al máximo el cromo al cuero.

Esta medida, con un costo total de aplicación prácticamente nulo, permitió reducir el consumo de cromo en un 25%, lo que equivale a una reducción de 9.000 kilos anuales de sales de cromo, con una economía de aproximadamente US\$ 7.000 anuales.

Adicionalmente a los beneficios económicos asociados a la mejor utilización del cromo, se

producen importantes beneficios ambientales por reducción del contenido de cromo en los residuos líquidos del fulón, en aproximadamente un 75% del que había originalmente.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	Nulo
Ahorro anual	US\$ 7.000
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución de la cantidad de cromo descargado en los residuos líquidos en un 75%

### **B. Depilado de la piel con bajas concentraciones de sulfuro**

En el depilado o apelmbrado de las pieles se agrega cal y sulfuro de sodio para disolver la epidermis, el folículo piloso y el pelo, produciéndose un residuo líquido muy alcalino y con un alto contenido de sulfuros.

En este caso la medida de producción limpia consistió en reemplazar los sulfuros por sales amínicas menos contaminantes, bajándose en un 50% la cantidad de sulfuro en el pelambre.

El costo anual de las sales amínicas fue de US\$ 7.000, mientras que el ahorro anual obtenido en términos de sulfuro de sodio y cal se estimó en US\$ 10.000, consiguiéndose, por lo tanto, un ahorro de US\$ 3.000 anuales. Además de este beneficio, se redujo en un 55% el contenido de sulfuros en el efluente, con el consiguiente ahorro en el tratamiento y disposición final de los residuos industriales líquidos, más otros beneficios ambientales, tales como la menor exposición de los trabajadores a los contaminantes tóxicos.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo anual de aplicación	nulo
Ahorro anual	US\$ 3.000
Tiempo de retorno	inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución de la descarga de sulfuros en el efluente líquido y reducción de emisión de sulfuros a la atmósfera

### **C. Reducción del consumo de agua en los procesos**

El curtido de cuero utiliza agua en sus distintos procesos, para la preparación de soluciones, enjuagues, etc. La alimentación de agua en cada una de estas operaciones era controlada en forma manual. Esto daba lugar a pérdidas y derrames de agua y soluciones, lo que generaba un residuo líquido con alto contenido de sustancias utilizadas en estas soluciones, algunas tóxicas.

La medida de producción limpia aplicada en este caso consistió, por una parte, en la instalación de un sistema automático para el control de las cantidades de agua a utilizar en los distintos procesos, es decir, un sistema experto de dosificación y control. Por otra parte, se recirculó parte del agua utilizada en los baños de lavado, bajando el consumo de agua en esta etapa en un 10%, equivalente a un ahorro anual de US\$ 1.500.

El costo total de la instalación del sistema automático alcanzó los US\$ 30.000, mientras que el ahorro anual obtenido por el uso de este sistema se estimó en US\$ 9.000. Este ahorro que en total es de US\$ 10.500, considera sólo la reducción de aquellos costos tangibles, tales como la disminución de consumo de cromo en un 25% y la disminución de consumo de agua. Otros beneficios se producen por la disminución del volumen y de la carga contaminante de los residuos industriales líquidos, lo que conlleva una disminución de los costos de tratamiento y disposición final.

El tiempo de retorno de la inversión es de 34 meses, que es un período largo si se compara con los obtenidos para otras medidas de producción limpia. Sin embargo, se trata de una alternativa que ayuda a resolver un problema ambiental, que tiene beneficios en el mediano plazo y que en ningún caso genera pérdidas para la empresa.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 30.000
Ahorro anual	US\$ 10.500
Tiempo de retorno	34 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de descargas de aguas residuales con tóxicos y sólidos

#### D. Uso de lacas al agua

Una de las últimas etapas de la producción de cueros es el pintado, mediante el cual se da el color y brillo final al producto. Este proceso utiliza normalmente lacas a base de solventes orgánicos las que, al ser aplicadas a los cueros mediante aspersores automáticos, generan una atmósfera cargada de solventes. El empleo de lacas a base de solventes orgánicos para el pintado de los cueros, produce emanaciones de estos compuestos que son nocivas para el ambiente de trabajo y genera residuos que pueden, además, contaminar el ambiente.

La medida de prevención aplicada en este caso consistió en reemplazar las lacas a base de solventes orgánicos por lacas al agua. De esta forma, además de no generarse un ambiente de trabajo con altas concentraciones de solventes orgánicos, se produce un mejoramiento de la calidad de los efluentes líquidos, debido a que contienen restos de un insumo más inocuo como producto de la limpieza de las maquinarias y de las pérdidas de laca.

Este sistema tiene un mayor costo, estimado en aproximadamente US\$ 20.000 anuales, para el nivel de producción de la empresa. Sin embargo, la mejor calidad y aspecto asociadas a la terminación que se obtiene con este nuevo sistema, permite un mejor precio de venta que compensa sin problemas su mayor costo.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 20.000 al año
Ahorro anual	US\$ 20.000 por mejor precio del producto
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución de emanaciones de compuestos orgánicos volátiles y de residuos que contienen solventes

## 2.2 RUBRO TEXTIL

En las empresas del rubro textil existen problemas ambientales significativos asociados a residuos líquidos, emisiones al aire y residuos sólidos. Las medidas de producción limpia enunciadas en este capítulo pueden ser aplicables en otras industrias similares o con problemas ambientales semejantes.

Los residuos líquidos de este tipo de industria provienen de diversas operaciones tales como lavado de lana, telas y aseo general, baños ácidos, enjuagues, tintas y vapores utilizadas en diferentes etapas de la línea de teñido, descruce, blanqueo y neutralizaciones, blanqueo químico, blanqueo óptico, aguas de teñido, acabado húmedo, apresto y enjuagues. La generación de desechos sólidos proviene básicamente de aseos generales, filtros de pelusa y restos de embalajes. Las emisiones a la atmósfera incluyen principalmente polvo y pelusas.

A continuación se presenta la experiencia de las empresas Proquindus e Hilados y Tejidos Garib S.A. (Hitega)., en la solución de sus problemas ambientales mediante la aplicación de medidas de producción limpia.

### A. Programa de mantenimiento para evitar fugas y pérdidas de agua

En la empresa de teñido de telas Proquindus, clasificada como empresa grande y ubicada en la Región Metropolitana, se detectó un nivel considerable de pérdidas de agua provenientes de fugas y goteras en los sistemas de cañerías y en las válvulas de drenaje y trampas de vapor. Estas pérdidas generaban residuos industriales líquidos que eran descargados en el sistema de alcantarillado, además de un sobreconsumo de agua y energía requerida para la producción de vapor.

Para abordar el problema señalado se aplicó un conjunto de medidas de producción limpia consistentes en desarrollar y aplicar un programa de mantenimiento adecuado para la reparación, verificación y control de fugas y goteras de las válvulas existentes. Con esta sencilla medida se consiguió una significativa disminución en la cantidad de agua utilizada y en la cantidad de aguas residuales generadas.

El programa de mantenimiento y las actividades de mejoramiento tuvieron un costo despreciable, mientras que el ahorro anual obtenido se estimó en US\$ 5.876 al año. Este ahorro incluye sólo las disminuciones de los consumos de agua y energía.

Los beneficios obtenidos por esta medida permitieron tener un retorno inmediato de la inversión. De esta forma, mediante una medida muy simple, la empresa obtuvo un considerable ahorro, con el consiguiente aumento de la productividad y que, a la vez, le permitió reducir la cantidad de residuos líquidos generados.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	Despreciable
Ahorro anual	US\$ 5.876
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución del consumo de agua y descarga de aguas residuales al alcantarillado

## B. Prolongación de la vida útil del baño ácido decarbonizante

En la empresa Proquindus, el ácido sulfúrico es utilizado en el proceso denominado baño ácido decarbonizante. En este proceso, necesario para eliminar impurezas de origen celulósico que trae la lana, se originaba un precipitado de sulfatos que era necesario eliminar cuando éste superaba cierto nivel en el estanque. Esto obligaba a una lenta y costosa operación de neutralización del baño, para su eliminación posterior al sistema de alcantarillado, con la consiguiente pérdida de ácido sulfúrico.

En una primera etapa, se decidió implementar un sistema de filtro que hacía circular el baño en forma continua a un estanque pequeño, donde el sulfato decantaba por gravedad. El baño limpio retornaba al estanque principal por rebose y cada dos semanas se retiraba el lodo producido, previamente neutralizado, dentro de bolsas plásticas.

Más adelante, se buscó eliminar el problema desde su origen, es decir, evitando la producción del elemento contaminante. Esto se resolvió finalmente mediante el empleo de agua muy blanda, tanto para el baño decarbonizante como para todos los procesos previos a los que se había sometido la lana. Con ello se evitó la presencia de calcio y magnesio, principalmente, que eran los formadores de los precipitados en presencia de ácido sulfúrico, y se consiguió mantener el baño en buenas condiciones de manera indefinida.

Una vez materializada esta medida, permitió un ahorro de agua y ácido por un monto igual a US\$ 456 al año. La inversión requerida, en tanto, fue despreciable, por lo que el período de retorno de la inversión se estima inmediato.

Además de los beneficios enunciados, esta medida generó otros beneficios tales como un mejoramiento de las condiciones de seguridad ambiental para los trabajadores de ese sector de la empresa y una disminución de los requerimientos de regulación de pH en el efluente de la industria.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	Despreciable
Ahorro anual	US\$ 456
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Disminución de la descarga de residuos líquidos con ácido sulfúrico

## C. Reducción del uso de agua

En la empresa de Hilados y Tejidos Garib S. A. (Hitega), ubicada en la Región Metropolitana, se abordó la gestión de los residuos líquidos mediante la aplicación de medidas de producción limpia orientadas a reducir el uso de agua. Las principales medidas adoptadas son la recirculación del agua de enfriamiento del teñido de conos, la recirculación de agua del sistema de aire acondicionado y el mejoramiento de la regeneración de los ablandadores.

Durante la operación de teñido de conos, el baño de teñido se enfría mediante un flujo de agua blanda que no entra en contacto con otras aguas. También se usa agua blanda

para el enfriamiento de la bomba de recirculación del baño de teñido. Estas aguas de enfriamiento fueron recirculadas, con un costo estimado en US\$ 750, generando un ahorro anual estimado en US\$ 400.

El aire acondicionado que se utiliza en las salas de hilado utiliza agua blanda proveniente del sistema usado para el teñido, la que se evapora aproximadamente en un 50%, mientras el resto se descarga al alcantarillado. Se instalaron ablandadores para uso exclusivo del sistema de aire acondicionado, lo que permite recircular la fracción que no se evapora. El costo de esta medida fue de US\$ 6.700 y el ahorro anual de US\$ 4.900.

Los procesos de lavado, regeneración y enjuague de las resinas de los intercambiadores usados para ablandar el agua en la sala de teñido, utilizaban tiempos excesivos, lo que resultaba en una pérdida de agua blanda. Mediante la aplicación de un sistema digital se permitió determinar en forma más precisa el punto final del lavado, además de obtener la máxima capacidad de los equipos. El costo estimado para esta medida de producción limpia fue de US\$ 3.500, en tanto los ahorros anuales fueron estimados en US\$ 1.700.

El costo conjunto de las medidas de producción limpia aplicadas fue de US\$ 10.950 y el ahorro anual de US\$ 7.000, lo que equivale a un período de retorno de 19 meses.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 10.950
Ahorro anual	US\$ 7.000
Tiempo de retorno	19 meses
Reducción de contaminantes	Reducción del uso de agua y de la generación de residuos líquidos

## 3. SECTOR IMPRENTAS

### 3.1. RUBRO IMPRENTAS

Las empresas del rubro imprentas presentan problemas ambientales en relación a la generación de residuos líquidos, sólidos y en mucho menor medida, a la emisión de contaminantes a la atmósfera. Los residuos líquidos que se generan en este tipo de industria provienen de lavados con detergentes, residuos químicos de limpieza y restos de tintas descartadas. Los residuos sólidos incluyen huapies sucios, piezas de maquinarias en desuso, restos de papelería, cartones y películas. Las emisiones gaseosas se circunscriben a compuestos volátiles, principalmente solventes, que se originan en las diversas etapas del proceso productivo.

A continuación se presenta la experiencia en producción limpia de la imprenta Santa Berta, consistente en mejorar la gestión de los residuos sólidos.

#### A. Selección de residuos sólidos para su reciclaje

La imprenta Santa Berta, empresa pequeña ubicada en la Octava Región, da principalmente servicios de impresión offset y, en menor medida, huecograbado y tipografía, fabricando además una gran variedad de estuches. Los residuos líquidos que se generan en el proceso productivo provienen básicamente de aguas residuales de lavado generadas en el proceso de impresión, aguas de enjuague, compuestos reveladores y fijadores, residuos de tinta, solventes y aceites lubricantes. También se generan residuos sólidos tales como planchas, paños, películas, papel, goma y restos de barniz, huaípe, celofán, aluminio, crack, restos de lijas, polvo de lijado de rodillos, cartones, entre otros, y emisiones a la atmósfera provenientes de los solventes y diluyentes de tintas, solventes utilizados para limpieza, pegamentos y gomas.

Las medidas de producción limpia aplicadas en la empresa están orientadas a minimizar la generación de residuos de todo tipo, e involucran la instalación de recolectores diversificados para cada tipo de residuo, la modificación de algunos procesos para permitir la separación de residuos de distinta naturaleza y la capacitación del personal.

El costo total de la aplicación de estas medidas de producción limpia se estimó en US\$ 787, mientras que el ahorro anual obtenido, correspondiente al reciclaje de insumos y la venta de algunos residuos, como planchas y cartones, se estimó en US\$ 2.255 al año.

En este caso los beneficios anuales tangibles obtenidos por aplicación de producción limpia son significativamente mayores que la inversión efectuada, teniendo un retorno al cabo de sólo cinco meses.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de implementación	US\$ 787
Ahorro anual	US\$ 2.255
Tiempo de retorno	5 meses
Reducción de contaminantes	Clasificación y reciclaje de residuos sólidos

## **4. SECTOR METALMECANICO Y OTROS**

### **4.1. RUBRO GALVANOPLASTIA**

El principal problema ambiental en las industrias de galvanoplastía es el ocasionado por la generación de residuos industriales líquidos. Las aguas residuales provienen de las etapas de electroenchapado y enjuague, y se caracterizan por sus altos contenidos de metales pesados, principalmente cobre, cinc y cromo. También se generan algunos residuos sólidos como polvo y virutas metálicas, provenientes de procesos tales como esmerilado, pulido y corte.

A continuación se presenta una experiencia de aplicación de producción limpia en una empresa de galvanoplastía.

#### **A. Captura y retorno del arrastre de níquel y cromo a la solución del proceso**

En la empresa de galvanoplastía Cromo-Níquel, clasificada como empresa mediana, ubicada en la Región Metropolitana, se galvanizan parachoques de acero. El proceso incluye las operaciones de remoción de pinturas, decapado electrolítico, desengrase electrolítico alcalino y electroenchapado, siendo las últimas etapas el enjuague y secado al aire.

Los procesos productivos de esta empresa se caracterizaban por la generación de grandes cantidades de residuos líquidos tóxicos provenientes de los electroenchapados de níquel y cromo, residuos que eran descargados en el sistema de alcantarillado de la empresa. El mal manejo de estos residuos producía un deterioro de las condiciones de higiene de los lugares de trabajo, además de originar costos asociados al tratamiento y disposición final.

La medida de producción limpia aplicada en este caso consistió en instalar un sistema de recolección y conducción de las aguas de enjuague, que contienen concentraciones de níquel y cromo. Las aguas del primer enjuague se recirculan a los estanques de recarga, que se utilizan para reponer las pérdidas por evaporación y derrames que experimentan las soluciones utilizadas en el proceso productivo. A su vez, las aguas del segundo enjuague se recirculan hacia el estanque del primer enjuague, siendo reemplazadas por agua limpia.

Mediante esta simple medida se consiguió disminuir tanto la cantidad, como la carga contaminante de los residuos industriales líquidos originados en este proceso y, de paso, reducir en forma considerable el consumo de agua, cromo y níquel.

El monto de la inversión requerida para la aplicación de esta medida fue de US\$ 1.200, mientras que el ahorro anual obtenido, producto de la disminución del consumo de agua, cromo y níquel y la disminución de costos del tratamiento y disposición final de residuos líquidos, se estimó en US\$ 3.600.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 1.200
Ahorro anual	US\$ 3.600
Tiempo de retorno	4 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de descarga de contaminantes al alcantarillado

## 4.2. RUBRO FUNDICION

Los problemas ambientales más significativos producidos por las empresas de este rubro están generalmente asociados a la generación de emisiones atmosféricas y residuos sólidos.

Los contaminantes que puede generar este tipo de industria son emisiones atmosféricas tales como material particulado, proveniente de todas las etapas del proceso; compuestos orgánicos volátiles provenientes de la etapa de producción de moldes y almas, carga de hornos, llenado de moldes, y enfriamiento; monóxido de carbono proveniente de los procesos de fundición, colada y transporte de material; óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes de la fundición y fusión. También se generan residuos sólidos en casi todas las etapas de fundición, como polvos retenidos en filtros de manga, arenas de descarte provenientes del desmoldeo y limpieza, escorias, virutas y chatarra.

A continuación se presenta en forma resumida algunas experiencias de producción limpia aplicadas a dos empresas del rubro. La primera empresa, Gerdau Aza, fabrica barras y perfiles de acero y cuenta con dos plantas de mediano tamaño ubicadas en Renca y en Colina, con una capacidad de producción instalada de 360.000 Ton/año. Su proceso productivo consiste básicamente en el reciclaje de 425 mil toneladas de chatarra al año, el cual es llevado a cabo en etapas denominadas industrialización de la chatarra, horno eléctrico, colada continua, laminación, terminación y despacho.

La segunda empresa, Fungrisa fabrica piezas especiales para agua potable y alcantarillado y tiene una capacidad de producción instalada de 1.200 Ton/año. Su proceso productivo consiste en la fundición de hierro gris.

### A. Segregación de residuos sólidos

Dentro de los problemas ambientales detectados en la Planta Renca de Gerdau Aza en 1997, se constató la necesidad de implantar un programa de gestión de residuos sólidos industriales que debía incluir su segregación y disposición en lugares autorizados. Debido a la falta de este programa, se generaban pérdidas de materias primas, riesgos de derrames, condiciones deficientes de limpieza, mal manejo de residuos, dificultad en el transporte, y sub-aprovechamiento de los residuos que debían reciclarse, con el consiguiente aumento en el costo de disposición de los desechos.

Esta situación repercutía negativamente en el cumplimiento del objetivo que la empresa se había impuesto, consistente en el desarrollo y aplicación de un Sistema de Gestión Ambiental basado en la norma ISO 14001.

Las medidas de producción limpia adoptadas en este caso, incluyeron el desarrollo y ejecución de un plan de concientización del personal para el manejo adecuado de

residuos sólidos y la aplicación de mejoras en el orden y limpieza de los lugares de trabajo. El plan de manejo consistió en la segregación de los residuos mediante la instalación de contenedores diferentes para cada tipo, para su posterior reciclaje interno o externo, o su disposición, en el caso de los residuos peligrosos, en forma segura a través de empresas autorizadas o la venta a empresas externas para alternativas específicas de reciclaje, como es el caso de la recuperación de escoria. Cabe señalar que las medidas descritas fueron implantadas desde el comienzo de la puesta en marcha de la planta Colina, en marzo de 1999.

El costo de aplicación de estas medidas correspondió básicamente a la operación del sistema, tanto por la elaboración de procedimientos, como por la aplicación y disposición de los residuos. El ahorro asociado a estas medidas corresponde a la disminución de las pérdidas de residuos sólidos aprovechables, reciclándose un 30% de éstos, y a la disminución en los costos de disposición, en alrededor de un 18%. Durante 1998, sólo el ahorro debido al reciclaje de laminilla alcanzó a US\$ 36.000.

Los beneficios obtenidos por la aplicación de esta medida son muy superiores al costo de aplicación de la misma. Junto con generar importantes beneficios económicos, se redujo la cantidad de residuos sólidos generados y los problemas ambientales asociados a estos residuos.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	Despreciable
Ahorro anual	US\$ 36.000
Tiempo de retorno	Inmediato
Reducción de contaminantes	Reciclaje del 30% de los residuos sólidos

## **B. Cambio de combustible del horno de recalentamiento por un combustible menos contaminante.**

En la Planta Renca, también perteneciente a Gerdau Aza, se abordó el problema ambiental generado por las emisiones atmosféricas de gases y material particulado provenientes del horno, mediante una medida de producción limpia. En general, las emisiones de gases a la atmósfera producen alteraciones en el suelo y la vegetación circundante, alteraciones de la infraestructura aledaña y toxicidad en los seres humanos, con efectos adversos respiratorios, oftálmicos y dérmicos.

La medida aplicada consistió, en este caso, en instalar quemadores duales y cambiar el combustible del horno de recalentamiento, originalmente petróleo diesel, por gas natural, por ser un combustible menos contaminante. Este cambio permitió disminuir considerablemente las emisiones a la atmósfera producidas en la fundición.

El costo total de implementación se estimó en aproximadamente US\$ 500.000, que corresponde al cambio de quemadores de simples a duales, que permiten el uso del combustible alternativo. El ahorro anual se estimó en US\$ 150.000, valor que sólo incluye el ahorro por el uso de un combustible de menor costo. Otros beneficios no contabilizados son la eliminación de las necesidades de almacenamiento de combustible en la planta industrial y la disminución de las emisiones contaminantes, lo que facilita el cumplimiento de las normativas ambientales. En particular, el cambio de combustible significó para la empresa pasar de una condición de industria afecta a situaciones de pre-

emergencia medioambiental, con la consiguiente necesidad de paralizar eventualmente el proceso productivo, a una situación de industria no afecta. Los altos costos asociados a la paralización de la producción, al ser evitados mediante el cambio de combustible, equivalen a considerables ahorros que hacen altamente rentable la medida de producción limpia adoptada.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 500.000
Ahorro anual	US\$ 150.000
Tiempo de retorno	40 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de emisiones de material particulado a valores entre 15 y 20 mg/Nm <sup>3</sup>

### C. Reciclaje de arenas de moldeo

Dentro del proceso productivo de fundición se desarrolla una etapa denominada moldeo de piezas, en la que se utilizan grandes cantidades de arena que, junto a otros aditivos, constituyen los moldes en los cuales se vierte el metal fundido. Una vez que el metal ha solidificado, estos moldes son destruidos para obtener las piezas, por medio de un proceso mecánico, generándose con esto la denominada arena de descarte.

En la Fundición Fungrisa se tenía implementado un sistema de reciclaje no automatizado de alimentación manual, que permitía reutilizar las arenas de descarte en un 25%. Con este sistema se tenía una constante necesidad de arenas nuevas y, además, se tenía un costo de disposición de arenas de descarte no despreciable.

En forma adicional, se tenía otro problema ambiental dado por las emisiones difusas de material particulado generadas en el proceso de reciclaje antes descrito, que además de afectar al medioambiente en general, también afectaba a los trabajadores.

Este problema fue abordado por esta empresa por medio de la adquisición de una máquina recicladora usada, la que fue habilitada por la misma empresa. Esta máquina es automatizada, desarrollando el proceso que permite reutilizar la arena en forma mecánica y encapsulada, sin intervención manual.

El nuevo proceso permite reciclar la arena en un 95%, con lo cual se ha estimado un ahorro anual en disposición de arenas de descarte de aproximadamente US\$ 7.500, en tanto que el ahorro anual que se genera producto de la menor cantidad de arena nueva que se deberá adicionar al proceso productivo se ha estimado en US\$ 7.500. El costo de la adquisición, habilitación y puesta en marcha de esta máquina se ha estimado en US\$ 16.000.

El proceso productivo ganó en eficiencia, dado que la calidad de las arenas que se utiliza actualmente es superior. Además, se tiene una operación más rápida, dado que el nuevo proceso permite ir satisfaciendo las necesidades de arena en tiempos más reducidos y, al eliminar las áreas de almacenamiento, se ganó espacio para el trabajo de moldeo.

Este cambio en el reciclaje de arenas genera beneficios ambientales en las áreas de residuos sólidos y de emisiones atmosféricas. En la primera área se reduce la generación de arenas de descarte en un 95% en tanto que en la segunda área se eliminan las emisiones fugitivas de material particulado, mejorando la calidad del aire circundante, así como la del ambiente laboral.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 16.000
Ahorro anual	US\$ 15.000
Tiempo de retorno	13 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de emisiones de material particulado y generación de residuos sólidos

### 4.3. RUBRO METALMECANICO

Las empresas del rubro metalmeccánico presentan problemas ambientales significativos asociados a residuos líquidos, emisiones al aire y residuos sólidos. Se generan residuos líquidos tales como aceites y lubricantes usados, líquidos refrigerantes, diluyentes, restos de pinturas y de solventes. También se generan residuos sólidos tales como virutas metálicas, residuos de soldaduras, material de empaque, depósitos de pinturas, huaipes, escorias de fundición y polvo de pintura. Las emisiones aéreas incluyen gases de soldadura, gases de fundición y vapores de solventes.

#### A. Reemplazo del método de soldadura de arco manual a MIG

En la industria metalmeccánica Maestranza Rivas, ubicada en Valparaíso, V Región, se generaban grandes cantidades de residuos sólidos y gases en el proceso de soldadura al arco. Este proceso era realizado con arco manual, utilizando varillas de soldadura.

Para abordar el problema identificado se reemplazó el método de soldadura de arco manual por el método de soldadura continua MIG, sigla correspondiente a Metal Inert Gas, también conocido como GMAW, o Gas Metal Arc Welding. Mediante esta técnica, consistente en proteger de la oxidación la zona del arco mediante una atmósfera artificial producida con un gas inerte, se reduce significativamente la producción de escorias, la necesidad de remover excesos de soldadura y la emisión de gases derivados de la combustión de los electrodos. Adicionalmente, al utilizar electrodos continuos en lugar de varillas, se reduce la pérdida de soldadura en forma de colillas de corta longitud y, por consiguiente, la emisión de residuos sólidos y se obtiene un acabado más uniforme de la soldadura y un incremento en la velocidad del proceso.

Se estima que mediante el empleo del sistema de soldadura MIG la eficiencia en la deposición de soldadura aumenta de 65%, valor típico para la soldadura al arco manual, a 90%, mientras las pérdidas por residuos (colillas), se reducen de 12% a aproximadamente 2%. Asimismo, las emisiones de gases tóxicos, producto de la fusión de las varillas o electrodos y de la combustión de su revestimiento, se reemplazan por emisiones de CO<sub>2</sub> y argón, gases inertes típicamente utilizados en el proceso.

El costo total del cambio de tecnología y cambio de insumos alcanzó los US\$ 22.328, valor que incluye la adquisición de nuevas soldadoras semiautomáticas, que utilizan el proceso MIG. El ahorro anual obtenido se estimó en US\$ 8.288, valor que se explica por la mayor eficiencia en el uso de los insumos y la disminución en los costos de manejo y disposición de residuos sólidos. Este valor no incluye los ahorros derivados del incremento de la velocidad del proceso ni los beneficios asociados a una mejor calidad del producto.

Aunque en este caso la inversión efectuada es superior a los beneficios anuales tangibles obtenidos por aplicación de la medida de producción limpia, éstos permiten recuperar la inversión en un período de aproximadamente tres años, sin considerar los beneficios asociados directamente a un mejoramiento del proceso productivo.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 22.328
Ahorro anual	US\$ 8.288
Tiempo de retorno	35 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de residuos sólidos y gases

## 5. SECTOR QUIMICO

### 5.1. RUBRO DESEMBARQUE DE PRODUCTOS QUIMICOS

El desembarque de productos químicos puede generar residuos industriales líquidos en el proceso de lavado de los estanques. Los estanques sometidos a esta operación, corresponden a los ubicados en los barcos que transportan estas sustancias, a los destinados al traspaso o almacenamiento provisorio ubicados en la estación de recepción de los productos y a aquellos destinados al almacenamiento.

#### A. Recuperación de residuos industriales líquidos

En la empresa Oxiquím S.A., dedicada a la fabricación de diversos productos químicos así como a la prestación de servicios de terminales marítimos, entre otras actividades, se decidió adoptar una estrategia de producción limpia para el manejo integral tanto de los residuos líquidos generados por el transporte del fenol como de los efluentes provenientes de la fabricación de resinas, prestando apoyo a sus clientes para que éstos pudieran adoptar una estrategia similar.

Durante muchos años la empresa importó fenol cristalizado envasado en tambores, lo cual permitía la adición de las aguas residuales al mismo proceso, como aguas de dilución. Posteriormente, ante el aumento de consumo de las resinas a base de fenol, modificó la forma de su importación, transportándolo en barcos a granel al 90%, de manera de poder transferir el producto, desde el barco a los respectivos estanques en tierra. A esta concentración el fenol se mantiene líquido a temperaturas cercanas a los 20°C, por lo que no es necesaria su calefacción.

Al aumentar la capacidad de producción de resinas en base a fenol, se determinó que los residuos líquidos provenientes del lavado de estanques y otros procesos productivos ya no podrían ser incorporados a la materia prima, por su elevado volumen, y se ensayó su procesamiento en plantas de tratamiento con tecnologías novedosas, como su destrucción a través del metabolismo de la phragmites, vegetal que crece en ambientes pantanosos, encontrándose una tasa de procesamiento poco auspiciosa.

Al analizar el problema con la estrategia de producción limpia, se determinó que si la concentración del fenol importado se subía al 99%, que es la manera habitual de comercialización a nivel mundial, los balances de materiales arrojaban un resultado favorable, siendo posible la incorporación de los residuos líquidos al producto. Sin embargo, dado que el fenol con esta concentración posee un punto de cristalización de aproximadamente 45°C, no puede ser manejado como líquido, a menos que se calefaccionen los estanques y las líneas de conducción. Para manejar este producto en forma adecuada, debe lograrse que su temperatura llegue a alrededor de los 50°C.

Para poder implementar esta forma de adquisición, se debió invertir en la aislación y calefacción de una cañería del terminal ubicado en la Bahía de Quintero, con un costo aproximado a los US\$ 150.000.

En la actualidad, las aguas residuales de la fabricación de resinas fenólicas, de la planta de resinas de Viña del Mar, se almacenan y son transportadas al terminal de Quintero cuando llega una embarcación con producto, utilizándose para diluir el fenol concentrado en los estanques de recepción, llevándolo a una concentración de 90%. En forma

adicional el agua proveniente de los lavados de los estanques de las embarcaciones, también son utilizadas como agua de dilución, según lo exige la Organización Marítima Internacional a través de su acuerdo llamado MARPOL, Anexo II, al cual Chile adhirió en su oportunidad.

Las medidas descritas permitieron evitar la construcción de una planta de tratamiento de residuos industriales líquidos que requería una inversión del orden de US\$ 180.000, con un costo de operación estimado en US\$ 100.000/año, lo que equivale a un período de retorno de la inversión de sólo 18 meses. Además del ahorro tangible equivalente al costo de operación de una planta de tratamiento, las medidas adoptadas generan beneficios adicionales derivados de evitar la descarga de un efluente.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 150.000
Ahorro anual	US\$ 100.000
Tiempo de retorno	18 meses
Reducción de contaminantes	Eliminación de descargas de residuos líquidos

## 5.2. RUBRO FABRICACION Y EMPLEO DE ANHIDRIDO SULFUROSO

Algunos de los problemas ambientales significativos en la fabricación, transporte y utilización del anhídrido sulfuroso están asociados a la generación de residuos sólidos y a emisiones a la atmósfera.

La generación de residuos sólidos se produce por la utilización de azufre en colpas, como materia prima, que origina residuos insolubles. Las emisiones a la atmósfera contienen anhídrido sulfuroso que pueden originarse por escapes o fugas en las etapas de fabricación, transporte o uso. Estas emisiones son controladas, en general, mediante operaciones de absorción y de lavado de gases.

A continuación se presentan dos aplicaciones de producción limpia para resolver problemas ambientales, uno asociado a la empresa Quimetal, que fabrica anhídrido sulfuroso, y la otra a la empresa Proquivi, que comercializa sistemas de aplicación de anhídrido sulfuroso para la gasificación de uvas de exportación.

### A. Optimización del procedimiento de inyección de anhídrido sulfuroso a la cámara de gasificación de uvas de exportación

El proceso de gasificación de uvas de exportación en cámaras utilizando anhídrido sulfuroso genera problemas ambientales por emisiones a la atmósfera. En el caso que se presenta a continuación, se desarrolló una nueva tecnología limpia, aplicable a la industria de uva de exportación.

La empresa de fabricación de productos químicos para la industria vinícola, Proquivi, clasificada como empresa mediana, detectó entre sus clientes que se producía un nivel considerable de emanación de anhídrido sulfuroso desde las cámaras de gasificación de uva de exportación. Este proceso se efectuaba convencionalmente en cámaras de gasificación, consistiendo en la carga de una cámara con uvas cosechadas desde el

parronal y la posterior inyección de anhídrido sulfuroso, tras cerrar la cámara. Junto con esto, se hacía funcionar los ventiladores de circulación interna durante un cierto tiempo, para generar una atmósfera modificada. Una vez terminado ese proceso, se abría una escotilla para evacuar los gases de la cámara, produciéndose una pérdida de anhídrido sulfuroso de aproximadamente 90%.

De esta forma se generaba un problema ambiental por las emisiones de anhídrido sulfuroso y un perjuicio económico por la baja eficiencia en la utilización del gas. Además, se generaban condiciones de riesgo para los trabajadores, los que debían ingresar a las cámaras utilizando máscaras, aún después de 20 minutos de abiertas las escotillas.

Para abordar el problema identificado se desarrolló una nueva tecnología para la gasificación de las uvas, consistente en un nuevo dosificador de anhídrido sulfuroso (Dosigas), capaz de producir dosis muy pequeñas con gran precisión, y el desarrollo de un sistema de gasificación directamente en la caja de embalaje. Mediante este nuevo sistema no se producen emisiones de anhídrido sulfuroso a la atmósfera, lo que significa el aprovechamiento de un 100% de éste. Adicionalmente, este sistema permite asegurar una mejor calidad del producto exportado y una uniformidad del proceso de gasificación. Con el nuevo sistema la uva no es manipulada después de la gasificación y, además, es posible eliminar la post-gasificación que se aplicaba a las cajas de uva de exportación.

El costo total de inversión de un equipo Dosigas es de US\$ 2.000, mientras que el ahorro por aplicación del sistema "gasificación caja por caja" se estimó en US\$ 4,57 por cada mil cajas gasificadas. De este modo, la inversión se financia con la gasificación de 437 mil cajas. En el cálculo de este ahorro sólo se incluye la reducción de costos por la disminución del consumo de anhídrido sulfuroso, pero no se contabilizan las economías adicionales por reducción de la inversión en la cámara de gasificación, de las necesidades de mano de obra y de los tiempos muertos que implicaba el sistema tradicional de gasificación en cámara. Se ha estimado que si se considera la reducción de los costos de operación asociados al uso del equipo dosificador, es posible recuperar la inversión con el ahorro generado por el procesamiento de sólo 40.000 cajas de uva.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de implementación	US\$ 2.000
Ahorro	US\$ 4,57 de ahorro en anhídrido sulfuroso y US\$ 50 de ahorro en costos operativos, por cada 1.000 cajas de uva
Tiempo de retorno	Depende de la capacidad de la Empresa
Reducción de contaminantes	Disminución de las emisiones de anhídrido sulfuroso

#### B. Uso de tecnologías ambientalmente seguras para la fabricación de anhídrido sulfuroso

La empresa Quimetal, ubicada a 580 km al sur de Santiago, fabrica anhídrido sulfuroso para empresas productoras de celulosa. El producto era producido originalmente en forma gaseosa y durante su fabricación y distribución se producían importantes emisiones de gas a la atmósfera. El manejo de estas emisiones mediante lavado de gases producía residuos líquidos que requerían de un sistema de tratamiento y disposición final.

De este modo, se producía una pérdida económica importante para la empresa, por las pérdidas de producto, por los requerimientos de manejo de las emisiones de anhídrido sulfuroso (lavado de gases), y por la necesidad de tratar y disponer los residuos líquidos originados en el lavado de gases.

Para abordar el problema identificado se cambió la tecnología de fabricación de anhídrido sulfuroso a un proceso consistente en la oxidación del azufre con aire. La materia prima principal en este sistema es el azufre en colpas que, una vez disuelto, se quema en un horno. Posteriormente, se efectúa la combustión del azufre con aire. El producto obtenido es un gas que contiene 18% de SO<sub>2</sub>, 70,5% de N<sub>2</sub>, 2,5% de O<sub>2</sub> y otros. La combustión es altamente exotérmica y el gas alcanza una temperatura de 1.500°C. El gas se enfría en una caldera de diseño especial, donde se genera vapor a una presión de siete atmósferas. A la salida de la caldera, el gas atraviesa un intercambiador de calor y luego entra a una torre de absorción, que elimina las trazas de SO<sub>3</sub>. Este proceso fue diseñado para producir 4.200 ton/año de SO<sub>2</sub> en forma de gas, con una concentración de 16% a 18%. Este gas constituye la materia prima para la elaboración de tres productos finales: una solución acuosa de anhídrido sulfuroso, anhídrido sulfuroso licuado y bisulfito de sodio.

En este nuevo sistema de fabricación no hay emisiones de gas a la atmósfera, lo que significa el aprovechamiento de un 100% del anhídrido sulfuroso, además de un beneficio ambiental asociado a una mejor calidad del aire. En el proceso de fabricación de SO<sub>2</sub> acuoso se generan gases cuya composición es básicamente nitrógeno y trazas de oxígeno. La concentración de SO<sub>2</sub> es normalmente inferior a 200 ppm, por lo que el gas residual podría ser liberado al ambiente. Sin embargo, previendo que la concentración de gas pudiera experimentar importantes fluctuaciones, como consecuencia de una momentánea anomalía del proceso, el gas de escape es tratado en una torre de lavado con carbonato de sodio, que absorbe cualquier resto de anhídrido sulfuroso.

La aplicación de esta nueva tecnología, más limpia, produjo un menor consumo de materia prima (azufre) y un ahorro de un 94% en el consumo de agua. Además se eliminó el uso de productos químicos tales como soda cáustica y ácido sulfúrico, los cuales se usaban en el proceso antiguo, siendo los responsables de la generación de residuos líquidos. La inversión requerida para materializar el cambio tecnológico fue estimada en US\$ 150.000, en tanto los beneficios directos asociados son del orden de US\$ 25.000 anuales. Aunque el período de retorno de la inversión no es pequeño, de 6 años, el cambio tecnológico es de todas maneras rentable y, lo más importante, está asociado a grandes beneficios del punto de vista ambiental.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 150.000
Ahorro anual	US\$ 25.000
Tiempo de retorno	6 años
Reducción de contaminantes	Eliminación de las emisiones de anhídrido sulfuroso, lo cual equivale a la sustentabilidad de la empresa

### 5.3. RUBRO PINTURAS

Los problemas ambientales ocasionados por la fabricación de pinturas están asociados a la generación de residuos líquidos, emisiones al aire y residuos sólidos.

Los contaminantes que genera la industria de pinturas proviene del lavado de estanques de preparación de pinturas en base solvente y base acuosa, de las emisiones de polvos en las etapas de dispersión, de la generación de desechos líquidos en el transporte de fluidos, del envasado y reciclaje interno de solventes, de la emanación de vapores de solventes usados en el proceso y en el período de espera anterior al envasado, junto con aquellos que se desprenden de la acumulación de borras, costras o residuos de pinturas y lavados de piezas o equipos.

A continuación se presentan ejemplos de aplicación de técnicas de producción limpia para reducir pérdidas de solventes, recuperar solventes usados y reducir la generación de residuos líquidos en las empresas de fabricación pinturas Soquina y Passol.

#### A. Reducción de pérdidas de solventes en la fabricación y envasado de pinturas

En la empresa de pinturas Soquina, clasificada como empresa grande, se detectó un nivel considerable de emanación de vapores de solventes desde los estanques de preparación y acumulación de pintura a base de aceites. Estos estanques no contaban con tapas, por lo que se mantenían abiertos, originado emanaciones de solventes. Esto deterioraba las condiciones ambientales del lugar de trabajo y generaba emisiones hacia fuera de la planta industrial.

Adicionalmente, la pérdida de solvente del producto generaba una película superficial de pintura semisolidificada, que debía ser removida antes del envasado final y, por consiguiente, ser dispuesta como residuo sólido contaminado con metales pesados, solventes y otras sustancias químicas contenidas en las materias primas. Esto, además de generar un problema ambiental, tenía repercusiones económicas por las pérdidas de producto que no podían ser envasados para su venta.

Para abordar el problema identificado se cubrió todos los estanques de preparación de pinturas que se encontrasen descubiertos y se diseñó y fabricó tapas de plástico reforzado con fibra de vidrio para aquellas bateas que permanecían en espera en la etapa anterior al envasado.

Estas simples medidas tuvieron un costo total de implementación de sólo US\$ 1.000, mientras que el ahorro anual obtenido, producto del mayor aprovechamiento del producto y de la disminución de los costos de disposición final de residuos sólidos, se estimó en US\$ 3.060. Existen otros beneficios no contabilizados, tales como el mejoramiento de las condiciones ambientales de los lugares de trabajo.

En este caso los beneficios anuales tangibles obtenidos por aplicación de producción limpia son significativamente mayores que la inversión efectuada, teniendo un retorno de los costos al cabo de sólo 4 meses.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 1.000
Ahorro anual	US\$ 3.060
Tiempo de retorno	4 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles

#### B. Recuperación de solventes sucios por destilación

En la empresa de pinturas Passol, clasificada como empresa mediana, ubicada en la V Región, se produce básicamente pinturas a base de aceites y agua, pasta para afinar muros, lacas y mezclas de solventes. Los principales problemas ambientales corresponden a la emanación de solventes por evaporación, provenientes de estanques, residuos sólidos y líquidos y el descarte de solventes sucios a través del sistema de alcantarillado.

La limpieza de la maquinaria usada para producir pintura a base de aceites requiere del empleo de grandes cantidades de solventes los que, una vez usados, deben ser dispuestos.

Para abordar el problema ambiental identificado, se adquirió un equipo destilador, que permitió recuperar una importante fracción de los solventes contenidos en los residuos líquidos, los que son reutilizados tanto en los productos, como en la limpieza de maquinarias.

El costo total de la adquisición e instalación del destilador se estimó en US\$ 10.000, mientras que el ahorro anual obtenido se estimó en US\$ 20.000. Este ahorro incluye la disminución de costos por la reutilización de los solventes destilados en los productos y en la limpieza de equipos. En cuanto al beneficio ambiental de estas medidas, se eliminó la descarga de solventes al sistema de alcantarillado de 17,5 m<sup>3</sup>/año.

De este caso se desprende que los beneficios anuales tangibles obtenidos por aplicación de producción limpia son significativamente mayores que la inversión efectuada, teniendo un retorno de los costos al cabo de sólo 6 meses, favoreciendo así un incremento de los ingresos por reducción de los recursos perdidos o mal utilizados.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US\$ 10.000
Ahorro anual	US\$ 20.000
Tiempo de retorno	6 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles

#### C. Reducción de residuos líquidos mediante la reutilización en otros productos

Otro problema ambiental originado en la empresa de pinturas Passol, era la generación de grandes cantidades de residuos líquidos provenientes de lavados de estanques y restos de pinturas a base de agua, los que eran descargados al sistema de alcantarillado.

Para abordar el problema identificado, se redujo la generación de residuos líquidos mediante la reutilización del agua de lavado de equipos como parte del agua de formulación de pinturas, mezclada con agua fresca, quedando así incorporada en los productos de la industria. Adicionalmente, se modificó el sistema de lavado con mangueras usado tradicionalmente, utilizando pistones de alta presión, para así reducir el volumen de residuos líquidos generados.

El costo total estimado de la aplicación de estas medidas fue de US \$ 800, mientras que el ahorro anual obtenido se estimó en US\$ 3.000/año, considerando sólo la reducción de costos de tratamiento y disposición final de los residuos industriales líquidos. En este caso, aparte de los beneficios ambientales por reducción de la generación de residuos líquidos, los beneficios anuales tangibles obtenidos por aplicación de una medida de producción limpia son significativamente mayores que la inversión efectuada, teniendo un retorno de los costos al cabo de sólo 3 meses.

INDICADORES	VALORES ESTIMADOS
Costo total de aplicación	US \$ 800
Ahorro anual	US \$ 3.000
Tiempo de retorno	3 meses
Reducción de contaminantes	Disminución de residuos líquidos

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Proyecto FDI-CORFO: Generación de Capacidades Nacionales en Tecnologías Aplicables a Residuos Industriales Líquidos (1995-2000) - Guía Técnica de Producción Limpia. Rubro Pinturas. INTEC-CHILE, 1998.
- Proyecto Apoyo a la Gestión Medioambiental de la PYME a través del Fortalecimiento de la Oferta. Documentos de Difusión de Opciones de Gestión Ambiental. INTEC-CHILE, 1998
- Informe Final Proyecto de Prevención de la Contaminación EP3. Hagler Bailly Consulting, USAID-Chile/USA, Water Environment Federation, WEF-USA, Qualitek Consultores. Santiago, Chile, 1996.
- Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1998.
- Innovaciones en Tecnologías y Sistemas de Gestión Ambientales en Empresas Líderes Latinoamericanas. CEPAL, Santiago de Chile. 1995.
- Encuentro de Producción Limpia. Secretaría de Producción Limpia. Ministerio de Economía. 1999.
- Página WEB de Corfo: [www.corfo.cl](http://www.corfo.cl)
- Página WEB Secretaría Ejecutiva de Producción Limpia: [www.pl.cl](http://www.pl.cl)