

# Producción más Limpia

Paradigma de  
gestión ambiental

Bart van Hoof  
Néstor Monroy  
Alex Saer

Materiales  
adicionales en la



 Universidad de  
los Andes  
Facultad de Administración

 Alfaomega

# Producción más Limpia

Paradigma de  
gestión ambiental

Bart van Hoof  
Néstor Monroy  
Alex Saer



 Universidad de  
los Andes  
Facultad de Administración

 Alfaomega

2008

©Bart van Hoof

Néstor Monroy

Alex Saer

Hoof, Bart Van

Producción más limpia : paradigma de gestión ambiental / Bart Van Hoof, Néstor Monroy, Alex Saer. -- Bogotá : Alfaomega Colombiana, Universidad de los Andes. Facultad de Administración, 2007.

300 p. : il. ; 24 cm.

Incluye glosario.

Incluye bibliografías.

ISBN 978-958-682-724-9

1. Gestión ambiental 2. Contaminación - Prevención 3. Protección del medio ambiente 4.

Control ambiental 5. Conservación de los recursos naturales 6. Procesos de manufactura

- Aspectos ambientales 7. Producción limpia - Estudio de casos I. Monroy, Néstor II. Saer,

Alex III. Tit.

333.716 cd 21 ed.

A1147654

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

©Alfaomega Colombiana S.A.

©Universidad de Los Andes, Facultad de Administración, Comité de Publicaciones, 2008

Teléfonos 3394949 ext. 3079, fax 3324551

publicaciones@uniandes.edu.co

<http://administracion.uniandes.edu.co/publicaciones>

Ediciones Uniandes

Carrera 1 No. 19-27, Aulas 6, A.A. 4976, Bogotá, Colombia

Teléfonos 3394949 ext. 2133, fax extensión 2158

infeduni@uniandes.edu.co

<http://edicion.uniandes.edu.co>

ISBN 978-958-682-724-9

Todos los derechos son reservados. Esta publicación no puede ser reproducida total ni parcialmente. No puede ser registrada, ni transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, fotocopia o cualquier otro, sin el permiso previo y por escrito de la editorial.

Hecho en Colombia • Printed and made in Colombia

Este libro se terminó de imprimir en enero de 2008

### Empresas de Grupo:

**Colombia:** Alfaomega Colombiana S.A. carrera 15 No. 64 A 29 - PBX: (57-1) 210 0122 Fax: (57-1) 606 8648

e-mail: [sciente@alfaomega.com.co](mailto:sciente@alfaomega.com.co)

**México:** Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. - Pitágoras 1139, Col. Del Valle México D.F. - C.P. 03100

Tel.: (52-55) 5089 7740 - Fax: (52-55) 5575 2420 - 5575 2490 - Sin costo: 01-800-020-4396

e-mail: [libreriapitagoras@alfaomega.com.mx](mailto:libreriapitagoras@alfaomega.com.mx)

**Argentina:** Alfaomega Grupo Editor Argentino S.A. (AGEA) - Paraguay 1307 P.B. of. 11, Buenos Aires, Argentina

Tel/Fax.: (54-11) 4811 7183 / 8352 / 0887 - e-mail: [ventas@alfaomegaeditor.com.ar](mailto:ventas@alfaomegaeditor.com.ar)

**Chile:** Alfaomega Grupo Editor S.A. - Dr. Manuel Barros Borgoño 21 Providencia, Santiago, Chile - Tel.: (56-2) 2354248

Fax: (56-2) 2355786 - e-mail: [agechile@alfaomega.cl](mailto:agechile@alfaomega.cl)

[www.alfaomega.com.co](http://www.alfaomega.com.co)

# MENSAJE DE LOS EDITORES

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES

El Comité de Publicaciones de la Facultad de Administración tiene como objetivo promover una política activa de publicaciones de excelente calidad, en concordancia con propósitos que han estado vigentes y que requieren preservarse, actualizarse y ampliarse de acuerdo con las nuevas necesidades generadas por el crecimiento de la Facultad y de sus diferentes programas.

La producción intelectual de los profesores de la Facultad está contenida en Libros, Monografías, Mejores Proyectos de Grado, Cátedra Corona, Actualidad: Discusiones y propuestas, Casos (serie virtual), Galeras de Administración, Apuntes de Clase de Administración, capítulos en libros nacionales y extranjeros y artículos en revistas académicas nacionales y extranjeras.

ALFAOMEGA

Los conocimientos son esenciales para el buen desempeño de los profesionales. Estos les permiten adquirir habilidades indispensables para competir laboralmente. Durante el paso por la universidad o por las instituciones de formación para el trabajo, se tiene una gran oportunidad de adquirir conocimientos, que debe ser aprovechada para más tarde cosechar un beneficio propio y en el de quienes nos rodean.

El avance de la ciencia y de la técnica hace necesario mantener conocimientos actualizados, a riesgo de perder competitividad laboral y, eventualmente, bienestar. Cuando se toma la decisión de capacitarse para actuar como trabajadores profesionales, se firma un compromiso de por vida con los conocimientos que conforman un oficio específico.

**Alfaomega** se ocupa de presentarles a los lectores los conocimientos dentro de lineamientos pedagógicos que faciliten su utilización y les ayuden a aprender y a desarrollar las competencias requeridas por una profesión determinada. Así mismo, combina las diferentes tecnologías de la información y las comunicaciones (IT) para facilitar su aprendizaje. Alfaomega espera ser su compañera de por vida en este viaje por el conocimiento.

Nuestros libros impresos están complementados por una página Web en donde el alumno y su profesor encontrarán materiales adicionales, información actualizada, tests de autoevaluación, diapositivas y vínculos con otros sitios Web relacionados. Visualmente, las obras contienen numerosos gráficos, tablas y párrafos cortos bien desarrollados, para que el estudiante “navegue” durante su estudio, facilitándole la comprensión y apropiación del conocimiento.

Los libros de **Alfaomega** están diseñados para ser utilizados dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y pueden usarse como textos guía del curso o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional. Cada capítulo tiene objetivos y metas cognitivas concretas, la estructura de relato es fácilmente comprensible; al final de cada capítulo se encuentran actividades pedagógicas, además de extensa bibliografía, palabras clave y resumen.

**Alfaomega** desea que cuando el acervo cognitivo conjuntamente con el desarrollo de las destrezas le permitan ser profesional exitoso(a), no olvide su responsabilidad social y así lograr conjuntamente construir un país mejor.

# WEB DE APOYO

La página Web de este libro, cuenta importantes ayudas que le permitirán trabajar simultáneamente los ejercicios y ejemplos planteados en el libro.

Tendrán a disposición casos, ejemplos, anexos con documentos afines al tema, ejercicios, formularios de evaluación, lista de sitios Web relacionados y ayudas permanentemente actualizadas.

Ayudas para docentes que incluyen presentaciones del tema en PowerPoint.

Para acceder a la Web de Apoyo, deberá ingresar a nuestra página Web: [www.alfaomega.com.co](http://www.alfaomega.com.co) en la cual encontrará un link llamado Web de Apoyo, este a su vez lo llevará a nuestra plataforma virtual y al libro Producción más Limpia. Para ingresar a las ayudas, utilice la clave incluida en el libro y regístrese como usuario, una vez registrado, siga las instrucciones dadas en la Web.

Los usuarios que accedan con el código asignado, podrán utilizar todas las ayudas virtuales, excepto las que están dedicadas a los docentes. Éstas, requieren una contraseña adicional que deberá solicitar el docente al promotor o directamente a nuestro correo electrónico:

**Colombia:** [clubdelconocimiento@alfaomega.com.co](mailto:clubdelconocimiento@alfaomega.com.co)

**México:** [libreriapitagoras@alfaomega.com.mx](mailto:libreriapitagoras@alfaomega.com.mx)

**Argentina:** [ventas@alfaomegaaeditor.com.ar](mailto:ventas@alfaomegaaeditor.com.ar)

[www.alfaomega.com.co](http://www.alfaomega.com.co)

Este libro fue hecho gracias al esfuerzo de muchas personas que sacrificaron su tiempo, su autoría y su capital para que fuera posible esta obra que enriquecerá el conocimiento de muchos estudiosos del tema. Igualmente, Usted ha invertido en la compra de este ejemplar, porque es conciente de la inmensa riqueza intelectual que aporta un libro original, no lo facilite para la fotocopia.

# LOS AUTORES

**BERNHARDUS VAN HOOFF**, ingeniero industrial con Magíster en Ingeniería Industrial. Candidato al doctorado de Ecología Industrial. Actualmente es profesor de la Facultad de Administración de la Universidad de Los Andes. Consultor de agencias internacionales como la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte (CCA) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en temas relacionadas con la gestión ambiental en PYME.

**NÉSTOR MONROY**, ingeniero mecánico con Magíster en Ingeniería Industrial. Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Minuto de Dios, profesor catedrático de la Facultad de Administración de la Universidad de Los Andes. Con 30 años de experiencia en el sector empresarial, director de varias empresas del sector manufacturero, profesor asociado de la Universidad de Los Andes en varias áreas como estrategia de producción, gerencia empresarial, producción más limpia, ecodiseño, logística, entre otras. Miembro del comité directivo del Centro de Artes Grafms del SENA, regional Bogotá.

**ALEX SAER**, ingeniero industrial y politólogo, con experiencia en promoción y aplicación del ecoeficiencia y otros temas ambientales relacionados con la industria, la academia y las instituciones públicas. Investigador de la Organización para el Desempeño Empresarial Sostenible (ODES), investigador del Centro de Investigación en Ingeniería, (CIFI) de la Universidad de Los Andes, asistente en docencia de la Universidad de Los Andes y el ICESI. Anteriormente fue consultor de la Corporación para la Promoción de la Pequeña y Mediana Empresa Ecoeficiente Latinoamericana PROPEL.



# CONTENIDO

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Mensaje de los editores ..... | iii |
| Web de Apoyo .....            | v   |
| Los autores .....             | vii |
| Introducción .....            | xv  |

## Capítulo 1 ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN MÁS LÍMPIA

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Objetivos .....                                                                            | 1  |
| Introducción .....                                                                         | 1  |
| 1.1 La importancia de la cuestión ambiental en el contexto del desarrollo sostenible ..... | 2  |
| 1.2 La problemática ambiental de los sectores productivos .....                            | 4  |
| 1.3 Diferencias sectoriales .....                                                          | 6  |
| 1.3.1 Sector manufacturero .....                                                           | 7  |
| 1.3.2 Sector agropecuario .....                                                            | 10 |
| 1.3.3 Sector minero .....                                                                  | 11 |
| 1.3.4 Sector de servicios .....                                                            | 12 |
| 1.4 Impacto ambiental <i>versus</i> capacidad empresarial .....                            | 15 |
| 1.5 Instrumentos para la promoción de la gestión ambiental .....                           | 16 |
| 1.6 Los antecedentes de la Producción más Limpia y su definición .....                     | 19 |
| Conclusiones .....                                                                         | 23 |
| Ejercicios .....                                                                           | 23 |
| Referencias bibliográficas .....                                                           | 37 |
| Páginas web recomendadas .....                                                             | 39 |

## Capítulo 2 PML COMO ESTRATEGIA DE COMPETITIVIDAD

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Objetivos .....                                                             | 41 |
| Introducción .....                                                          | 41 |
| 2.1 Factores de competitividad empresarial .....                            | 42 |
| 2.1.1 Estrategias para la competitividad empresarial .....                  | 43 |
| 2.1.2 La incidencia de la problemática ambiental en la competitividad ..... | 45 |
| 2.2 Gestión ambiental y la Producción más Limpia .....                      | 45 |

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.21 El desarrollo de la gestión ambiental empresarial.....                              | 46 |
| 2.2.2 La Producción más Limpia como estrategia de la gestión ambiental empresarial ..... | 47 |
| 2.3 Los conceptos básicos de la Producción más Limpia .....                              | 48 |
| 2.4 Niveles de aplicación de la Producción más Limpia en la empresa .....                | 51 |
| 2.4.1 Aplicación en procesos .....                                                       | 51 |
| 2.4.2 Aplicación a nivel de productos .....                                              | 54 |
| 2.4.3 Aplicación a nivel de servicios.....                                               | 56 |
| 2.5 Barreras para la aplicación de la Producción más Limpia en la empresa .....          | 57 |
| 2.5.1 Barreras del entorno de la empresa.....                                            | 57 |
| 2.5.2 Barreras internas de la empresa.....                                               | 60 |
| Conclusiones .....                                                                       | 63 |
| Ejercicios .....                                                                         | 63 |
| Referencias bibliográficas .....                                                         | 69 |
| Páginas web recomendadas .....                                                           | 70 |

## Capítulo 3 MERCADOS VERDES

|                                           |    |
|-------------------------------------------|----|
| Objetivos.....                            | 71 |
| Introducción .....                        | 71 |
| 3.1 El concepto de mercadeo Verde .....   | 72 |
| 3.2 Clientes verdes .....                 | 74 |
| 3.3 Productos verdes .....                | 79 |
| 3.4 Definición de mercados objetivo ..... | 82 |
| 3.5 Las coetiquetas .....                 | 85 |
| 3.6 Perspectivas del mercado verde .....  | 90 |
| Ejercicios .....                          | 92 |
| Referencias bibliográficas .....          | 94 |
| Páginas web recomendadas .....            | 95 |

## Capítulo 4 PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA Y SISTEMAS DE GESTIÓN

|                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos.....                                                             | 97  |
| Introducción .....                                                         | 97  |
| 4.1 Introducción a los sistemas de gestión ambiental.....                  | 98  |
| 4.2 El aprendizaje organizacional y los Sistemas de Gestión Ambiental..... | 100 |
| 4.3 Los sistemas de gestión ambiental .....                                | 104 |
| 4.3.1 Definición y conceptos de los SGA .....                              | 105 |
| 4.3.2 Beneficios de los SGA .....                                          | 106 |
| 4.3.3 Diferentes SGA .....                                                 | 107 |
| 4.3.4 Elementos e implementación de un SGA .....                           | 107 |

|                                                                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.5 Funciones de una empresa que pueden ser modificadas (e incluso afectadas) por la implementación de un SGA ..... | 118 |
| 4.4 Los diferentes sistemas de gestión ambiental .....                                                                | 118 |
| 4.4.1 La serie ISO 14000 .....                                                                                        | 119 |
| 4.4.2 Responsabilidad integral .....                                                                                  | 121 |
| 4.4.3 Sistema Comunitario de Gestión y Auditoría Medioambiental (EMAS) .....                                          | 122 |
| 4.4.4 Gestión de la seguridad y salud ocupacional - OHSAS 18000 .....                                                 | 123 |
| 4.4.5 Norma Ekoscan .....                                                                                             | 124 |
| 4.4.6 Otros sistemas de gestión ambiental.....                                                                        | 125 |
| Conclusiones .....                                                                                                    | 126 |
| Referencias bibliográficas .....                                                                                      | 126 |
| Páginas web recomendadas .....                                                                                        | 127 |

## Capítulo 5 HERRAMIENTAS DE LA PRODUCCIÓN MÁS LÍMPIA

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos.....                                                | 129 |
| Introducción.....                                             | 129 |
| 5.1 Definición de herramientas de Producción más Limpia.....  | 130 |
| 5.2 Clasificación de diferentes herramientas.....             | 131 |
| 5.2.1 Según su función .....                                  | 131 |
| 5.2.2 Según el tema de análisis .....                         | 132 |
| 5.2.3 Según el tipo de resultados .....                       | 133 |
| 5.3 Descripción de herramientas de Producción más Limpia..... | 133 |
| 5.3.1 Revisión inicial ambiental .....                        | 134 |
| 5.3.2 Ecomapa .....                                           | 135 |
| 5.3.3 Ecobalances.....                                        | 137 |
| 5.3.4 Análisis de flujo de sustancias.....                    | 139 |
| 5.3.5 Matriz MED y análisis de ciclo de vida .....            | 141 |
| 5.3.6 Buenas prácticas de manufactura .....                   | 143 |
| 5.3.7 Análisis de riesgo (AR) .....                           | 144 |
| 5.3.8 Auditorías ambientales.....                             | 145 |
| 5.3.9 Ecoindicadores .....                                    | 147 |
| 5.3.10 La herramienta de los costos de ineficiencia.....      | 148 |
| 5.4 Metodología de aplicación integral de herramientas.....   | 149 |
| Conclusiones .....                                            | 151 |
| Ejercicios .....                                              | 152 |
| Referencias bibliográficas .....                              | 155 |
| Páginas web recomendadas .....                                | 156 |

## Capítulo 6 COSTOS DE INEFICIENCIA

|                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos .....                                             | 157 |
| Introducción .....                                          | 157 |
| 6.1 Principios básicos de la contabilidad empresarial ..... | 158 |
| 6.2 Diferentes métodos de análisis de costos.....           | 160 |
| 6.3 La contabilidad ambiental .....                         | 166 |
| 6.4 La herramienta de los costos de ineficiencia.....       | 168 |
| 6.5 Ejemplos de costos de ineficiencia .....                | 171 |
| Conclusiones .....                                          | 176 |
| Ejercicios .....                                            | 176 |
| Referencias bibliográficas .....                            | 178 |

## Capítulo 7 LA HERRAMIENTA DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

|                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos .....                                                                   | 179 |
| Introducción .....                                                                | 179 |
| 7.1 El concepto de ciclo de vida y su esencia.....                                | 180 |
| 7.2 La historia y aplicaciones de la metodologíade análisis de ciclo de vida..... | 181 |
| 7.3 La estructura de la metodología de análisis de ciclo de vida .....            | 183 |
| 7.4 Software de ACV .....                                                         | 189 |
| 7.5 Casos de ACV desarrollado en América Latina .....                             | 190 |
| Conclusiones .....                                                                | 196 |
| Ejercicios .....                                                                  | 197 |
| Referencias bibliográficas .....                                                  | 205 |
| Páginas web recomendadas .....                                                    | 206 |

## Capítulo 8 BUENAS PRÁCTICAS

|                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos .....                                                               | 207 |
| Introducción .....                                                            | 207 |
| 8.1 Introducción a las Buenas Prácticas.....                                  | 208 |
| 8.2 Buenas prácticas de manufactura para la optimización de procesos .....    | 208 |
| 8.3 Uso eficiente de energía .....                                            | 210 |
| 8.4 Uso eficiente del agua .....                                              | 214 |
| 8.5 Uso eficiente de materias primas y manejo de residuos.....                | 218 |
| 8.6 Tecnologías más Limpias para la optimización de procesos y productos..... | 220 |
| Conclusiones .....                                                            | 222 |
| Ejercicios .....                                                              | 222 |
| Referencias bibliográficas .....                                              | 224 |

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| Páginas web recomendadas ..... | 225 |
|--------------------------------|-----|

## Capítulo 9 METODOLOGÍA DE APLICACIÓN DE PLM

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos .....                                            | 227 |
| Introducción .....                                         | 227 |
| 9.1 El proceso de aplicación .....                         | 228 |
| 9.2 Sensibilización .....                                  | 229 |
| 9.3 Diagnóstico empresarial integral .....                 | 230 |
| 9.4 Análisis de casos .....                                | 232 |
| 9.5 Identificación de puntos críticos y alternativas ..... | 233 |

## Anexo A DINÁMICA DE PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| Objetivos .....                                              | 243 |
| 1. Introducción a la dinámica .....                          | 243 |
| 2. Desarrollo de la dinámica .....                           | 244 |
| 3. Reglas de la dinámica .....                               | 246 |
| 4. Evaluación de la dinámica .....                           | 248 |
| 5. Análisis de la dinámica .....                             | 248 |
| 6. Ejercicio sobre la experiencia obtenida en el juego ..... | 249 |

## Anexo B CASOS

|                                                    |     |
|----------------------------------------------------|-----|
| CASO CAUCHO LUNA .....                             | 251 |
| 1. Antecedentes .....                              | 251 |
| 2. Descripción .....                               | 252 |
| 2.1 Descripción del entorno .....                  | 252 |
| 2.2 Instalaciones .....                            | 252 |
| 3. Descripción del proceso .....                   | 252 |
| 3.1 Materias primas .....                          | 252 |
| 3.2 Etapas del proceso .....                       | 253 |
| 4. Costos .....                                    | 255 |
| CASO AMERICANDY LTDA. ....                         | 256 |
| 1. Antecedentes .....                              | 256 |
| 2. Descripción de la empresa .....                 | 256 |
| 2.1 Descripción del entorno .....                  | 256 |
| 2.2 Área física ocupada .....                      | 257 |
| 2.3 Organización .....                             | 257 |
| 2.4 Seguridad industrial y salud ocupacional ..... | 257 |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 3. El proceso .....                                        | 258 |
| 3.1 Descripción del proceso .....                          | 258 |
| 3.2 Descripción de tecnologías, equipos y maquinaria ..... | 259 |
| 3.3 Etapas del proceso .....                               | 259 |
| 4. Consumos.....                                           | 262 |
| 4.1 Materias primas .....                                  | 262 |
| 4.2 Consumo de energía eléctrica.....                      | 262 |
| 4.3 Consumos de agua .....                                 | 264 |
| 4.4 Consumos de gas .....                                  | 265 |
| 5. Aspectos ambientales .....                              | 265 |
| 5.1 Vertimientos .....                                     | 265 |
| 5.2 Emisiones .....                                        | 266 |
| 5.3 Residuos sólidos.....                                  | 266 |
| 5.4 Ruido .....                                            | 267 |
| 6. Preguntas sobre el caso .....                           | 267 |
| CASO CHACHITOS.....                                        | 267 |
| 1. Generalidades de la empresa .....                       | 267 |
| 2. Contexto de competitividad.....                         | 268 |
| 3. Gestión de la empresa .....                             | 268 |
| 4. Proceso productivo.....                                 | 270 |
| 5. Balances de materiales y energía.....                   | 272 |
| 6. Aspectos ambientales.....                               | 274 |
| 7. Puntos críticos.....                                    | 277 |

## Glosario

## Abreviaturas

# INTRODUCCIÓN

## ENFOQUE

Este libro busca contribuir a la difusión y la investigación de la Producción más Limpia (PML), como estrategia de gestión ambiental proactiva en empresas latinoamericanas. Mediante el desarrollo de sus diferentes capítulos se introducen los conceptos, estrategias, herramientas y casos que orientan la implementación de innovaciones preventivas en empresas.

Desde la década de 1990, la Producción más Limpia ha sido promovida a nivel mundial, como una visión novedosa para involucrar la actividad empresarial a los programas y proyectos relacionados con la conservación y protección ambiental. Por medio de su enfoque preventivo, distinto a los esquemas tradicionales de comando y control, la Producción más Limpia busca implementar proyectos que generen beneficios económicos, tangibles para las empresas y que a la vez lleven a beneficios ambientales. Este modelo “gana-gana” parte del concepto de que la contaminación ambiental generada por las actividades empresariales es el resultado de ineficiencias en sus procesos productivos. En la medida en que la empresa logre optimizar la eficiencia de sus procesos y productos, automáticamente reduce sus niveles de afectación al medio ambiente.

La Producción más Limpia, más allá de ser una estrategia enfocada simplemente a la disminución del impacto ambiental, es un concepto que ayuda a la competitividad de las empresas. Lo anterior se fundamenta al considerar la contaminación como una consecuencia de la ineficiencia de los procesos y las tecnologías utilizadas en el interior de la empresa, que a su vez dependen de su estructura y su capacidad económica. En la medida en que se actúe sobre las causas que ocasionan dichas ineficiencias, mediante alternativas preventivas apropiadas, se generarán ahorros en materia prima, insumos y energía, que ayudarán a mejorar la capacidad competitiva de la empresa y también su desempeño ambiental.

Aunque parece que la concepción de la Producción más Limpia sigue una lógica empresarial común, la práctica muestra que su adaptación por parte de las empresas no es automática y es aún incipiente. Existen diferentes barreras relacionadas con el cambio de paradigma, para integrar esta nueva concepción de gestión ambiental a las prácticas empresariales. El origen de estas barreras se basa en la falta de prioridad que asignan los empresarios a la gestión ambiental como un elemento integral del “corazón” de su negocio.

Durante décadas, para los empresarios de la región, la disponibilidad de recursos naturales parecía abundante; el desarrollo y el seguimiento a la implementación de la normatividad ambiental es débil, especialmente para las micro, pequeñas y medianas empresas (PYME). Además, los mercados locales y regionales no exigían criterios de calidad ambiental, y la disponibilidad de profesionales capacitados con esta nueva forma de gestión ambiental preventiva es incipiente.

Sin embargo, los procesos de globalización están cambiando rápidamente el contexto de las empresas latinoamericanas, también con relación a su gestión ambiental. Se destacan las nuevas exigencias de los mercados globales y de nuevos clientes, la aparición de nuevos inversionistas provenientes de otras regiones del mundo, la aparición de nuevos competidores, la innovación y homologación de las políticas ambientales

a nivel internacional, el conocimiento y alcance de otras partes interesadas, como comunidades, vecindarios, Organizaciones No Gubernamentales (ONG) y otros grupos de presión, entre otros.

Dentro de este contexto, el fortalecimiento de la investigación y la capacitación de profesionales y estudiantes involucrados en el desarrollo de los sectores empresarial y ambiental forma una estrategia fundamental y complementaria a otras, para avanzar en el desarrollo sostenible de la región y la innovación de prácticas empresariales, gubernamentales y académicas. Este libro busca contribuir a atender esta necesidad.

Dentro del desarrollo de este libro se consideran la Producción más Limpia, la ecoeficiencia y la prevención de la contaminación como conceptos similares.

## EL PÚBLICO OBJETIVO

Como se explicó en el párrafo anterior, los textos y ejercicios presentados en este libro son el resultado de la evolución de un material didáctico que ha servido para capacitar a estudiantes universitarios de diferentes carreras, autoridades ambientales, consultores y asesores empresariales, empresarios y profesionales de empresas.

La experiencia en la enseñanza de la Producción más Limpia, durante los años, nos ha mostrado la importancia del enfoque interdisciplinario del tema para que el cambio del nuevo paradigma se desarrolle. Así, los textos y ejercicios son desarrollados de manera amplia, a fin de que sirvan para un público diverso e interdisciplinario. Como público objetivo de este libro nos enfocamos en el mismo grupo inicialmente mencionado. En específico, distinguimos entre:

- ▶ Estudiantes universitarios de diferentes programas académicos, como ingenierías industrial, mecánica, química y ambiental; administración, biología, agronomía, minería en semestres avanzados de pregrado o posgrado.
- ▶ Profesores universitarios interesados en el campo de la gestión ambiental empresarial.
- ▶ Empresarios y profesionales de empresas (pequeñas, medianas y grandes) que quieren mejorar la eficiencia de sus procesos y productos.
- ▶ Consultores y asesores que facilitan el desarrollo de proyectos de innovación y optimización en empresas.
- ▶ Profesionales de autoridades ambientales involucrados en la gestión ambiental sectorial.

## LOS OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los objetivos de aprendizaje de este libro se desprenden de los cursos que han formado la base para el desarrollo de los textos y ejercicios. Dentro estos cursos, los textos y ejercicios han servido para alcanzar tres diferentes niveles de aprendizaje: (i) generar conciencia (“saber” qué existe”) sobre la estrategia y (ii) entendimiento (“saber cómo funciona”) sobre la aplicación de sus herramientas. Para la generación de competencias (“saber aplicarlo en la práctica”). Los cursos siempre incluyen el desarrollo de un proyecto práctico en una empresa. De esta manera, los participantes (iii) se apropiaron de las competencias (“saber multiplicarlo en forma independiente”), para la aplicación de la Producción más Limpia en casos reales.

Basándonos en lo anterior, los objetivos de aprendizaje de este libro buscan:

- Generar entendimiento sobre la importancia y la esencia de la Producción más Limpia, como estrategia que une el fomento de la competitividad empresarial a la prevención de la contaminación ambiental.
- Entender el funcionamiento de las diferentes herramientas que facilitan el desarrollo de proyectos de Producción más Limpia en empresas productivas.
- Incentivar el desarrollo de proyectos empresariales relacionados con la aplicación de alternativas preventivas en el interior de procesos y/o productos.
- Incentivar investigación en elementos relacionados con la aplicación de la Producción más Limpia, como son las buenas prácticas de manufactura, las tecnologías limpias y los instrumentos de promoción de la prevención de contaminación.

## ESTRUCTURA

Como se explicó antes, el libro introduce los conceptos y herramientas de la Producción más Limpia, como un nuevo paradigma de gestión ambiental que une el fomento de la competitividad empresarial a la prevención de la contaminación ambiental. En este sentido, es una estrategia de la gestión ambiental que parte del contexto integral de la competitividad de la empresa.

Este mismo contexto integral determina la estructura que sigue la jerarquía desde las fuerzas del entorno empresarial, las estrategias empresariales, los sistemas administrativos, las herramientas facilitadoras, hasta las aplicaciones prácticas. La figura A.1 muestra la estructura del libro esquemáticamente.

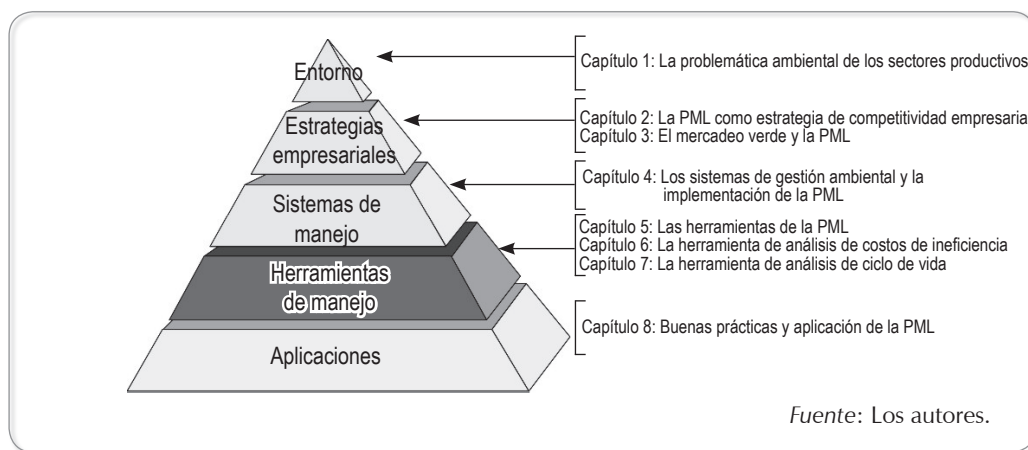


Figura 1

*La pirámide de la Producción más Limpia y la estructura del libro.*

De esta manera los diferentes capítulos están interrelacionados. El capítulo 1 describe los antecedentes de la Producción más Limpia, como una respuesta a la contaminación ambiental generada por los sectores productivos. El mismo capítulo plantea las sensibilidades de los diferentes sectores productivos en el contexto latinoamericano y la relación entre la contaminación generada y la problemática tecnológica, económica y comercial. A partir de la definición de la Producción más Limpia en el mismo capítulo 1, se desarrolla en el capítulo 2 la conceptualización de producción como estrategia de competitividad empresarial.

El capítulo 3 hace referencia a la estrategia de mercadeo verde que, complementaria a la Producción más Limpia, plantea una manera proactiva de integrar la gestión ambiental a la competitividad empresarial. El capítulo 4 muestra los diferentes sistemas de gestión ambiental en su relación con la implementación de la Producción más Limpia. Los sistemas de gestión facilitan la penetración de nuevos paradigmas como la Producción más Limpia en los diferentes procesos operativos de la empresa.

Los capítulos 5, 6 y 7 tratan las diferentes herramientas que facilitan el desarrollo de proyectos de Producción más Limpia en las empresas. El capítulo 5 plantea un rango de herramientas para la identificación, priorización y desarrollo de proyectos prácticos. El capítulo 6 hace énfasis en la herramienta de costos de ineficiencia como una de las herramientas principales que facilitan la apropiación del paradigma de Producción más Limpia. Adicionalmente, en el capítulo 7 se describe el funcionamiento de la herramienta de análisis de ciclo de vida como concepto principal para entender e interpretar alternativas preventivas e integrales. En el último capítulo, el 8, se presenta lo referente a aplicaciones de Producción más Limpia en empresas de América Latina que implementaron proyectos de buenas prácticas y tecnologías limpias.

Cada capítulo desarrolla los temas correspondientes a través de planteamientos teóricos, la ilustración con casos de la región latinoamericana. Al final de cada capítulo se presenta la lista de la literatura utilizada para el desarrollo de los textos, así como ejercicios que facilitan la discusión y el entendimiento de los temas tratados. Además, se presenta un listado de direcciones de páginas web que permiten profundizar sobre los temas centrales del capítulo.

## RECONOCIMIENTOS

Este libro es el resultado de un trabajo de integración y actualización de diferentes materiales docentes durante un período de ocho años. Son muchos los profesores, estudiantes, profesionales y asistentes que contribuyeron de una u otra manera al desarrollo de los textos y ejercicios. Queremos destacar algunos nombres en especial, y disculparnos de antemano con las personas que olvidamos mencionar.

Agradecemos al profesor Donald Huizingh, para nosotros el “padre” de la Producción más Limpia por su entusiasmo e impulso para la concepción de este material. También a Carl Eneroth por sus ideas sobre metodologías de aprendizaje y liderazgo en el diseño y desarrollo de programas de capacitación en Producción más Limpia que han sido fundamentales para el desarrollo del material. A Carlos Mario Tamayo por su aporte a la organización de numerosos programas de capacitación e ideas para el desarrollo de contenidos; a Juan Pablo Ramos por sus ideas y aportes en el desarrollo de las primeras versiones; a Arturo Rodríguez por sus revisiones y numerosos aportes en la actualización; a Carlos Pérez por sus contribuciones al desarrollo del capítulo sobre mercados verdes; a Danielle Arias por su contribución al desarrollo del caso sobre Cachitos; a Fulvio Mendosa por sus aportes a la actualización de los ejercicios sobre ecobalances; a Nubia Velasco y Luisa Vidal por su apoyo en la revisión del material. A la ONG Propel y a la Fundación ODES por facilitar material que permitió el desarrollo de casos y actualizaciones; a todos los estudiantes y profesores de las diferentes universidades, instituciones y empresas que junto con los autores ensayaron los textos y ejercicios y cuyas recomendaciones permitieron la evolución del material, David Schnars y Felipe Afanador, estudiantes de la facultad de administración de la Universidad de los Andes por su apoyo en la actualización de casos en los capítulos 1, 3 y 5.

# Capítulo 1



## ANTECEDENTES DE LA PRODUCCIÓN MÁS LIMPIA

### OBJETIVOS

- ❶ Entender cómo las actividades productivas de los diferentes sectores empresariales afectan la calidad del medio ambiente.
- ❷ Conocer las diferentes respuestas de las empresas al deterioro del medio ambiente.
- ❸ Entender la esencia de la Producción más Limpia (PML) como estrategia de gestión ambiental preventiva que busca el mejoramiento del desempeño ambiental y económico de los sectores productivos.

### INTRODUCCIÓN

Por su nivel de generación de impactos que afectan el ambiente, los sectores productivos se consideran como uno de los principales causantes de la contaminación ambiental. El grado de afectación depende principalmente de las características de las actividades, los productos y procesos que generan o emplean las empresas, de su ubicación geográfica y de la capacidad de controlar, mitigar o prevenir los impactos ambientales, reflejo de la gestión ambiental empresarial.

La adopción de esta gestión ambiental empresarial como respuesta a la problemática generada depende de un conjunto de fuerzas, dentro de las que se encuentran las tendencias del mercado y las políticas gubernamentales (que tienen origen en los convenios y acuerdos internacionales que diferentes países han adoptado durante las últimas décadas). Son estos mismo convenios los que han promovido

el desarrollo de un rango de instrumentos que buscan promover la gestión ambiental en el interior de las entidades productivas. Dentro de estos instrumentos se sitúa la Producción más Limpia como estrategia preventiva que conlleva tanto beneficios ambientales como económicos.

*La Producción más Limpia es una estrategia preventiva que conlleva tanto beneficios ambientales como económicos.*

Para contextualizar la PML como estrategia de gestión ambiental empresarial, en este capítulo se analizan sus antecedentes.

## 1.1 LA IMPORTANCIA DE LA CUESTIÓN AMBIENTAL EN EL CONTEXTO DEL DESARROLLO SOSTENIBLE

*El tema ambiental se convierte en interés público a nivel internacional hace escasos treinta años, como uno de los elementos fundamentales del bienestar y desarrollo universal. Su importancia, en la década de los sesenta en los países desarrollados, se da a raíz de los impactos negativos del crecimiento económico, que conllevaba graves consecuencias para la calidad de vida, el soporte de ecosistemas estratégicos y la disponibilidad de los recursos. (Rodríguez, 2004).*

*El tema ambiental se tornó importante a raíz de los impactos negativos del crecimiento económico.*

Este fenómeno fue el tema principal de la primera conferencia global en aspectos ambientales que las Naciones Unidas organizó en 1972 en Estocolmo: la *Conferencia para el Medio Ambiente Humano*. De ésta surgió la Declaración de Estocolmo, en la cual se construyeron los

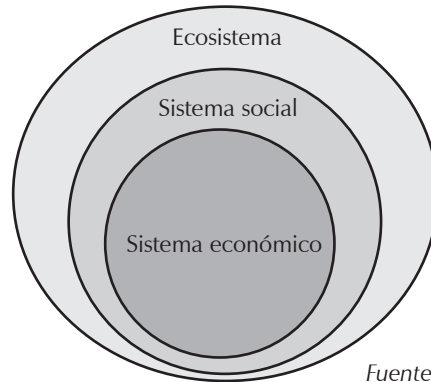
cimientos para la creación del Programa de las Naciones Unidas para el medio ambiente -PNUMA- (UNEP, 2000). En Diciembre de 1983, la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) crea la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y Desarrollo. El Secretario General de la ONU designa a Gro Brundtland, primera ministra de Noruega, en la dirección de la Comisión. El reporte de la Comisión Brundtland establece que el desarrollo económico de los países es importante para suplir las necesidades del hombre, pero que este desarrollo debe tener en consideración los límites ecológicos de nuestro planeta. Con base en esta concepción, el Congreso acoge el término desarrollo sostenible como un concepto universal para *satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades*. (UNEP, 2000).

Esta noción se materializa en el balance entre tres componentes básicos: el económico, el social y el ambiental. Los aspectos económicos del desarrollo sostenible comprenden, entre otros, el incremento en los ingresos monetarios, el rendimiento financiero, la remuneración de empleados y las contribuciones a la comunidad. Dentro de los aspectos sociales se encuentran las políticas de bienestar social que incluyen la satisfacción de las necesidades básicas, las normas de equidad laboral y el trato justo de empleados, entre otros. Por último, la calidad y disponibilidad del aire, agua, tierra, y el acceso a la biodiversidad, son elementos incluidos en el aspecto ambiental. La implementación del desarrollo sostenible se muestra en la integración de estos tres elementos, hacia un balance óptimo de los intereses que representan. El ecosistema forma en este sentido la base del desarrollo a través de los servicios que presta a la vida como el

*El desarrollo sostenible es un concepto universal que promueve satisfacer las necesidades de la generación presente sin afectar la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades...*

abastamiento de recursos, sus servicios de regulación y los servicios de apoyo. Con base en estos servicios se desarrollan los sistemas sociales y a su vez se generan los sistemas económicos (Daly, 2004).

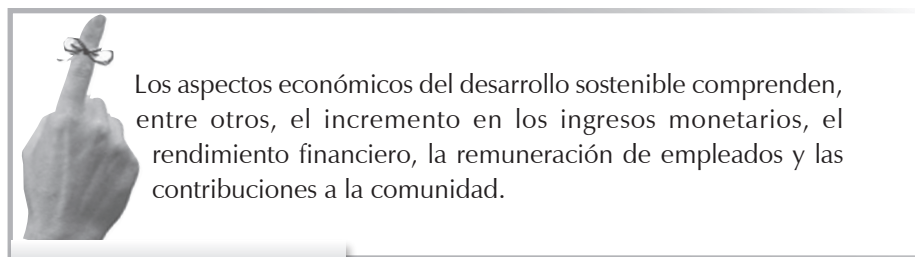
En la figura 1.1 se presenta una esquematización del desarrollo sostenible, que ilustra cómo este concepto depende de la integración y el equilibrio a largo plazo de tres variables: manejo adecuado de recursos naturales, equidad social y desarrollo económico.



Fuente: Los autores, con base en Daly, 2004.

Figura 1.1 El triángulo del desarrollo sostenible

Aunque es claro que el desarrollo sostenible nace de la integración de los tres aspectos mencionados, es más sencillo ejemplificarlo cuando se hace un análisis de necesidades y se identifican conflictos entre ellas. La clave del desarrollo sostenible es entonces minimizar, a través de políticas prácticas, los conflictos que surgen cuando se tratan de satisfacer dos o más necesidades.



Por ejemplo, si se está de acuerdo en que una necesidad básica de las personas es tener aire limpio, y de igual manera se identifica que otra necesidad es poder transportarse en automóvil, entonces es claro observar que éstas entran en conflicto. Así mismo, puede surgir cierto número de necesidades que están en conflicto una con otra, como, en los siguientes ejemplos:

- La necesidad de papel para fabricar los libros que se utilizan en la educación *vs.* la necesidad de conservación de los bosques primarios.

- La necesidad de una empresa de emplear mano de obra barata *vs.* la necesidad de los trabajadores de obtener la mayor remuneración posible.
- La necesidad de leña de una familia *vs.* la necesidad de evitar la erosión y de conservar la capa arable del suelo.

Cuando se hace la sumatoria de las necesidades de cada persona y se comparan con todas las necesidades de las otras personas, comunidades, o países de todo el mundo, surgen dilemas: ¿Cómo se decide qué necesidades van a satisfacerse: las de los pobres o las de los ricos?, ¿las de la gente que vive en las ciudades o en el campo?, ¿las de la población de un país o la de otro?, ¿las del medio ambiente o las de la industria?, ¿las de la actual generación o las de la próxima?; y cuando sea necesario hacer concesiones, ¿qué necesidades deberán satisfacerse primero?

Precisamente es en este momento cuando el concepto del desarrollo sostenible cobra importancia, ya que incentiva una metodología de decisión que tiene en cuenta las variables sociales y ambientales en el desarrollo económico; si se desea la movilización por medio del automóvil y a la vez tener aire limpio, pues se necesitarían nuevos mecanismos o tecnologías que minimicen o eliminen las emisiones atmosféricas de los vehículos. Así mismo, si se necesitan libros para la transmisión de conocimiento, habría que considerar formas más amigables con el ambiente (como cultivo de bosques) o, idear otras maneras de hacer posible esta transferencia (Internet).

El desarrollo sostenible invita a una nueva forma de pensar y analizar el desarrollo actual de las sociedades, en función de la problemática ambiental, social y económica, las cuales afectan las políticas gubernamentales, sus patrones de consumo y el contexto competitivo de los sectores productivos, haciendo énfasis en aquellos elementos que modelos de desarrollo tradicionales no han considerado. De esta manera, la cuestión ambiental debe ser un elemento básico a considerar en la toma de todo tipo de decisiones y gestiones.

## 1.2 LA PROBLEMÁTICA AMBIENTAL DE LOS SECTORES PRODUCTIVOS

La problemática ambiental se relaciona directamente con los impactos generados por los sectores productivos, siendo éstos una de sus principales causas. Especialmente después del advenimiento de la Revolución Industrial en el siglo XIX, su afectación se aceleró ostensiblemente. Pero no fue sino hasta la década de 1950 cuando los cambios en la naturaleza empezaron a ser de importancia a niveles mundial y regional, motivo por el cual se empezó un análisis y seguimiento continuo de éstos.

Dentro de las principales causas del aceleramiento de la problemática ambiental se encuentran el *aumento de la población*, los *niveles de pobreza*, el proceso de urbanización y el incremento en los patrones de consumo. Con relación a esta última, se puede entender por patrones de consumo la caracterización de todos aquellos productos y sus cantidades que una persona demanda. Esta caracterización no sólo está compuesta por los productos que son directamente consumidos (alimentos, vehículos, utensilios, entre otros), sino por los que son complemento de los anteriores (bolsas de plástico, papel de envoltura, combustible); y por servicios necesarios para entregar al consumidor final (transporte, almacenamiento, mercadeo, entre otros).

El incremento de los patrones de consumo genera un aumento de la producción industrial (la cual requiere insumos –recursos naturales–, y procesos de transformación que demandan energía y generan contaminantes), lo que a su vez contribuye a un nuevo aumento del consumo, creándose así una espiral negativa que influye en la creciente presión sobre los recursos naturales. En el recuadro 1.1 puede verse una ilustración de éste fenómeno.

**Recuadro 1.1** *La humanidad está consumiendo 120% de lo que la Tierra produce*

Mathis Wackernagel, de la Universidad de Berkeley en California, y otros 10 expertos en ecología y desarrollo sostenible de Estados Unidos, Inglaterra, Suiza, Austria y México, efectuaron estimaciones sobre seis actividades humanas que requieren algún tipo de espacio biológico productivo.

Midieron el impacto de la agricultura y los cultivos forestales, los pastos para animales, la pesca, las tierras transformadas para las ciudades y los servicios que las soportan y, finalmente, la extracción y quema de combustibles fósiles. Concedieron a cada uno de ellos valores que, según afirman, permiten “calcular cuál es la huella ecológica dejada por la humanidad”.

El objetivo del trabajo es “mantener la demanda humana dentro de lo que la naturaleza puede suministrar”, afirman los investigadores en el estudio divulgado. Además concluyen que “nuestros cálculos indican que la demanda humana bien podría haber excedido la capacidad regenerativa de la biosfera desde los años ochenta”.

Los cálculos efectuados indican que en 1961 la actividad humana consumía 70% de lo que la biosfera posee y produce cada año. Entre 1979 y 1983 se llegó a consumir 100% de la bioproductividad y en 1999 se alcanzó la cifra de 120%, lo que significa que la actividad humana consume o deteriora más de lo que el planeta genera o regenera.

*Fuente: El Tiempo, junio 26 de 2002.*

El crecimiento en el uso de la energía en procesos industriales ha traído como consecuencia problemas como el aumento en la *emisión de gases contaminantes*, especialmente aquellos que contribuyen al denominado *efecto invernadero* (CO<sub>2</sub>, metano, clorofluorocarbonados (CFCs), hidrofluorocarbonados (HFCs) y perfluorocarbonados (PFCs-), lo que genera efectos como el incremento del nivel del mar, y cambios de las condiciones climáticas locales y globales. Así mismo, existen otros efectos relacionados con la emisión de gases contaminantes causantes de la desaparición de la capa de ozono (por emisión de gases de tipo CFCs), la lluvia ácida (dióxido de azufre, SO<sub>2</sub>).

En los países existen problemas originados por rápidos procesos de industrialización, que afectan el recurso acuífero, como son la eutroficación, la acidificación, los metales pesados y los contaminantes orgánicos persistentes. Los océanos también han sido contaminados por las actividades productivas, por medio de descargas de aguas residuales industriales que llegan diariamente a los océanos sin ningún tipo de tratamiento.

Por último, de la misma manera que se incrementa el nivel de industrialización, la disposición de basuras se convierte en un inconveniente prácticamente en todas las sociedades. El problema está asociado a las sustancias no biodegradables o aquellas bioacumulativas, como los pesticidas, solventes, metales pesados y residuos químicos. Así mismo, el desarrollo y el uso intensivo de nuevas sustancias, como los plásticos y los productos con base en éste, han incrementado el nivel de vida de la población, pero también introducido nuevas amenazas al medio ambiente<sup>1</sup>.

La deficiente disposición de todo tipo de residuos sólidos ha originado a través de los años una afectación de los sistemas hidrobiológicos y una alteración de la calidad del agua y del suelo, que se han reflejado principalmente en una restricción paulatina de los usos del recurso hídrico, el deterioro de la fauna acuática, la contaminación de los suelos y la disponibilidad de los recursos como problemas ambientales. Esta problemática ambiental tiene igualmente grandes consecuencias económicas, como se afirma en el recuadro 1.2.

1 World Bank, Pollution Prevention and Abatement Handbook: Toward cleaner production, July 1998.

### Recuadro 1.2 *El deterioro ambiental le cuesta anualmente a México 11% de su PIB*

La problemática ambiental tiene grandes implicaciones económicas. “En cifras son cerca de 69.300 millones de dólares”, afirmó el ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), Víctor Lichtinger. También explicó que esa cantidad es similar a lo que le cuesta al país el rescate de los bancos a través del Fondo Bancario de Protección al Ahorro (Fobrapoa), creado por el gobierno en 1995 debido a la crisis financiera.

Lichtinger aseguró que es necesario empezar a revertir los problemas ambientales nacionales. Explicó que, por ejemplo, en los procesos de irrigación agrícola se desperdicia entre 40 y 60% del agua por la mala infraestructura hidráulica.

También agregó que factores como la “cultura del desperdicio”, el rápido y desordenado crecimiento de las poblaciones y la prolongada sequía que azota al centro y norte de México son algunas de las principales causas de la crisis de agua que sufre el país.

Recalcó que los asuntos ambientales ya forman parte de las políticas económicas y de seguridad de México, lo que “determina una medida histórica de sustentabilidad en el tratamiento del medio ambiente”.

“Es importante que empecemos a hacer las cosas de manera diferente, a comportarnos distinto, a separar la basura y a sumarnos al esfuerzo que se requiere para cambiar la situación actual”, afirmó.

*Fuente: El Tiempo, mayo 27 de 2002.*

Así, para el análisis de la problemática ambiental es necesario considerar que su concepción consta de un conjunto de categorías de impactos, afectaciones y problemas que se interrelacionan entre sí y que pueden considerarse a diferentes niveles tanto locales como regionales y globales. Sus prioridades son relativas y cambiantes en el tiempo según las opiniones políticas del momento y del lugar. Existen diferentes definiciones y concepciones sobre la misma problemática que generalmente se relacionan con afectaciones de tres categorías ambientales fundamentales, como son: la salud humana, la calidad de ecosistemas y la disponibilidad de recursos.

Los sectores productivos se consideran uno de los principales generadores de la problemática ambiental a través de los distintos procesos y actividades asociados a sus productos y servicios y, por ende, el grado de su afectación depende principalmente de estos factores, además de su ubicación geográfica y su capacidad de controlar, mitigar o prevenir los impactos ambientales, reflejada en la gestión ambiental empresarial. Para entender las diferencias entre los distintos sectores en la próxima sección se analiza la problemática ambiental relacionada con cada uno.

## 1.3 DIFERENCIAS SECTORIALES

El manejo de la problemática ambiental difiere entre los sectores productivos. Respecto a la problemática ambiental causada por estos sectores, se mencionan, para las actividades agrícolas, las afectaciones ambientales por el manejo de agroquímicos, consumo de agua para riego, y disposición inadecuada de residuos, entre otros. En el sector pecuario dichas afectaciones se asocian con el manejo de excretas, el uso inadecuado del suelo, y otros aspectos sanitarios, principalmente. Además, en el sector manufacturero la problemática ambiental se relaciona, entre otros, con el uso inadecuado de recursos naturales, la generación de residuos sólidos y líquidos, y la contaminación del aire.

*El grado de afectación depende principalmente de las características de las actividades, productos y procesos que emplean las empresas, de su ubicación geográfica y de la capacidad de controlar los impactos ambientales.*

Por último, la contaminación del sector minero está asociada al tipo de extracción y los métodos de beneficio.

En el siguiente aparte se analizará la problemática ambiental asociada a algunos sectores productivos representativos para América Latina, entre los que se encuentran el manufacturero (incluyendo diversos subsectores asociados a éste), el agroindustrial, el minero, y el sector de servicios.

### 1.3.1 Sector manufacturero

En general, los problemas ambientales asociados al sector manufacturero tienen su origen en una deficiencia de las tecnologías, procesos y procedimientos utilizados en la adquisición de la materia prima, transformación y distribución del producto final.

Así mismo, la utilización de la tecnología siempre va acompañada del uso del recurso energético, el cual se relaciona con las emisiones atmosféricas. Por otra parte, el procesamiento de la materia prima en la mayoría de los casos no es óptimo (lo que significa que 100% no se convierte en producto), por lo que se generan subproductos y desperdicios de carácter líquido y sólido.

Aunque suelen ser causas similares, dados los diferentes procesos asociados y las diferentes materias primas utilizadas, entre otros factores, la problemática del sector manufacturero difiere un poco de acuerdo con sus diversos subsectores: a) alimentos, b) fabricación de textiles, c) metalurgia y metalmecánica, d) manufacturas de cuero, e) industria maderera, f) industria del papel, g) industria química, e h) industria cerámica. A continuación se hará una breve reseña de cada uno:

*a) Subsector alimentos:* El sector de los alimentos se caracteriza por generar residuos sólidos y líquidos de carácter convencional (no tóxico) producto del procesamiento y de la limpieza de equipos. Así mismo, es común un manejo inadecuado del agua y la presencia de derrames de materia prima.

El impacto negativo de esta industria radica tanto en el uso de tecnologías obsoletas como en prácticas de proceso descuidadas, en el desperdicio y la falta de instalación y mantenimiento apropiado de sistemas de pretratamiento de los vertimientos industriales, como trampas de grasas.

Además este sector tiene un alto porcentaje de subproductos, para los cuales no existe un mercado definido ni seguro, situación que, unida a los controles de las autoridades para su disposición final y transporte, lleva a que las empresas se deshagan de los mismos de la manera más fácil, vertiéndolos al sistema de alcantarillado. En el recuadro 1.3 se ilustra un ejemplo de esta problemática.

#### Recuadro 1.3

*Autoridad ambiental en Cundinamarca, Colombia, anuncia el inicio del cierre de 42 mataderos en 26 municipios*

Contaminan aguas, sobre todo del río Bogotá y serán cerrados. Así lo anunció Gloria Álvarez, directora de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), en una rueda de prensa en la que señaló que los cierres se harán en tres fases progresivas. “Esas plantas de sacrificio están vertiendo sus desechos líquidos y sólidos en los sistemas de alcantarillado y no les dan ningún tipo de tratamiento antes de arrojarlos”, aseguró Álvarez.

La CAR había anunciado su intención de cerrar 146 mataderos que vienen contaminando las fuentes de agua, particularmente el río Bogotá, desde hace dos décadas y con quienes no ha valido ningún tipo de amenaza ni acuerdo para que corrijan sus prácticas de producción.

*Fuente: El Tiempo, abril 30 de 2004.*

*b) Subsector textiles:* El sector de fabricación de textiles genera residuos sólidos representados por material sobrante, como retazos, hilos, así como aceites de lubricación por el uso de maquinaria. La generación de residuos líquidos con cargas orgánicas provienen de las secciones de tintorería, estampado y acabados (representados por vertimientos de detergentes, solventes, colorantes, soda, ácidos, entre otros). En cuanto a emisiones atmosféricas, éstas están representadas por gases producidos por la maquinaria empleada y los gases de combustión. La tecnología empleada en actividades como tejeduría es automática, mientras que los telares manuales se emplean para la fabricación de telas burdas, cobijas, costales, etc., utilizada en el sector.

Como principal problemática ambiental del subsector de textiles se halla la generación de efluentes, como solventes, ácidos y soda. En menor medida se encuentra la generación de residuos sólidos (retazos, hilos, etc.).

*c) Metalurgia y metalmecánica:* Como principales procesos dentro de este sector se identifican la fundición de metales y la galvanotecnia. La fundición es el proceso de fabricación por el cual se somete el metal a temperaturas superiores a su punto específico de fusión (licuefacción), para luego vaciarlo en moldes. Dentro de los principales problemas ambientales de la fundición se identifican las emisiones atmosféricas y la generación de residuos sólidos.

Por otra parte, la galvanotecnia consta de una serie de técnicas que buscan prolongar la vida útil de materiales ferrosos y no ferrosos de uso cotidiano. Como problemas propios de la galvanotecnia se identifica la generación de residuos sólidos y líquidos (generalmente tóxicos), al igual que emisiones atmosféricas.

Los impactos están influidos por el grado de avance tecnológico de sus procesos. Se identifica un sector que a pesar de contar con la tecnología (hornos eléctricos) y los conocimientos técnicos propios de su ramo, no tiene conciencia del impacto ambiental generado. Por otra parte, se encuentran pequeñas empresas que adelantan procesos de carácter empírico y que, al no contar con la tecnología idónea y un adecuado diseño de las operaciones y procesos de producción, presentan pérdidas de material (por ejemplo, a través de goteos) y mayores niveles de contaminación.

*d) Industria maderera:* El sector de la madera se caracteriza por ser un área en donde las opciones de recuperación y reciclaje de insumos y desechos son interesantes. Como principales problemas ambientales se registra la generación de residuos sólidos, como la viruta producida por los diferentes procesos. En menor medida se sitúa la disposición de efluentes por residuos líquidos, representados por goteos al piso en las etapas de barnizado, entintado y pintado. Aunque las cantidades producidas no son muy grandes, el problema radica en el uso de disolventes, como el *thinner*. Otros problemas son la generación de emisiones atmosféricas (vapores y olores de pintura) y el ruido.

Las pequeñas y medianas empresas (PYME) del sector se caracterizan por contar con tecnologías artesanales, con algunos casos de automatización y programación electrónica, lo que favorece el no aprovechamiento óptimo de la madera y, como consecuencia, una mayor generación de residuos sólidos.

En las primeras etapas de la cadena (materia prima), la tala de especies nativas de bosques primarios y, por ende, maderas prohibidas para su uso comercial no provenientes de cultivos, fomenta la pérdida de biodiversidad.

**Recuadro 1.4** *La industria de curtiembres contamina el sistema hídrico de León, México<sup>2</sup>*

Un estudio realizado por la Asociación de Grupos Ecologistas de León (Ángel), con el apoyo de la Universidad de Guanajuato, permitió establecer que el 100% de los afluentes que componen el sistema hídrico del municipio de León se encuentran completamente contaminados por causa de la industria de las curtiembres.

Los ríos Muerto y Turbio, que forman parte de la cuenca Lerma-Chapala-Santiago, son los más afectados por la contaminación. Los grupos ecologistas que conforman la asociación han dicho que además de la contaminación de los afluentes existe un grave deterioro en la localidad como consecuencia de los procesos químicos que se emplean en la curtiembre, ya que se utilizan sales de amoníaco, ácidos abrasivos, colorantes y emulsiones.

“Son agentes químicos agresivos y, según los estudios de laboratorio que hemos realizado para comprobar la contaminación en los arroyos, también hemos encontrado arsénico y plomo, que son verdaderamente peligrosos para la salud humana y para la naturaleza”, advirtió el presidente de Ángel, Carlos Chacón.

Fuente: *La Jornada*, México, 13 de julio de 2005.

*E) Manufacturas de cuero:* En el caso de las curtidurías, debido a su localización (generalmente a la orilla de los ríos), se presentan problemas ambientales, como el taponamiento de las redes de alcantarillado por descargas con sólidos y grasas, la contaminación del recurso hídrico por vertimientos con altas cargas orgánicas y sustancias tóxicas (procedentes de los procesos de remojo, encalado, pelambre, descarnado y desencalado), así como la producción de residuos sólidos y olores. Esta actividad ha generado muchos problemas de tipo ambiental.

Para la fabricación de los productos de cuero, los impactos al medio ambiente están relacionados con la generación de residuos sólidos producto de los cortes de la materia prima, principalmente.

*f) Industria del papel:* La fabricación del papel es uno de los procesos productivos que más generan impactos para el medio ambiente. La mayoría de éstos se dan en la etapa de blanqueamiento de la pulpa. Así mismo, en otros procesos los componentes de sulfuro y óxidos de nitrógeno son emitidos al aire, y algunos compuestos orgánicos y metales son descargados al agua.

En el subsector de artes gráficas la problemática ambiental consiste en la generación de efluentes líquidos que contienen hidrocarburos y tintas. Los residuos sólidos se componen principalmente de papel, sobrantes de película, planchas de aluminio y estopa. Sin embargo, el principal impacto ambiental está representado por la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en la impresión y secado de tintas.

*g) Industria química:* Su problemática consiste en la generación de emisiones a la atmósfera, como hidrógeno, CO<sub>2</sub>, vapores ácidos y partículas, así como efluentes alcalinos; residuos sólidos y lodos. Así mismo, es productor de emisiones potencialmente tóxicas, como compuestos cancerígenos y mutagénicos. Además, la emisión de compuestos como el sulfuro de hidrógeno genera olores desagradables en el medio.

Esta industria genera metales pesados que al depositarse sobre el suelo presentan toxicidad a bajas concentraciones por bioacumulación en los riñones y el hígado o en la sangre.

2 [www.jornada.unam.mx/2005/jul05/050713/035n1est.php ]

Las pequeñas industrias del sector cuentan con tecnologías artesanales (con procesos abiertos que facilitan la dispersión de las emisiones), y la ausencia de medidas que reduzcan o al menos traten los efluentes antes de verterlos directamente en los desagües.

*h) Industria cerámica:* Una característica importante de este sector es el alto consumo de energía térmica, especialmente debido a las elevadas temperaturas que se necesitan para la fundición de los minerales en hornos, al igual que la fusión del vidrio y la producción de cemento por decantación.

Esta industria se caracteriza por la generación de residuos sólidos inorgánicos (arcilla inerte cocida, y recortes no reutilizables), degradando el paisaje por la presencia de vertidos y acumulación de residuos en lugares no acondicionados, además del deterioro de la vegetación y la pérdida del valor del suelo. Así mismo, la industria se caracteriza por ser una de las mayores productoras de sólidos suspendidos en los efluentes y residuos sólidos representados por piezas imperfectas, que alcanzan hasta 5% de la producción.

El proceso de producción característico de la pequeña y mediana empresa presenta como problema ambiental la generación de cenizas y emisiones con contenido de partículas en suspensión y azufre, a raíz del uso de hornos de cocción, cuyas características varían de acuerdo con el tipo de combustible empleado.

### 1.3.2 Sector agropecuario

Las diferentes estrategias de producción (agricultura campesina, intensiva, extensiva, etc.) determinan el uso de recursos y por tanto el impacto generado por el sector. El sector pecuario se caracteriza por emplear gran cantidad de agua principalmente en el sostenimiento de pastos, siendo las especies bovina y caballar las de mayor consumo. En el subsector agrícola la mayor proporción de agua corresponde a los cultivos permanentes (como banano, café, caña de azúcar, palma africana, etc.). Así mismo, este sector también contribuye en la generación de cargas orgánicas contaminantes, generalmente por actividades de poscosecha para el lavado de los productos, maquinaria y recipientes.

#### Recuadro 1.5 *Ambientalistas uruguayos expresan su preocupación por el uso de agrotóxicos en Uruguay<sup>3</sup>*

Ambientalistas uruguayos manifestaron su preocupación por el uso excesivo de los agrotóxicos en el país y por el poco control que ejercen las autoridades sobre los mismos. El problema “que más preocupa es el mal uso y el mal almacenamiento de los agrotóxicos”, afirmó Luis Moresco, presidente de la Red Uruguaya de Organizaciones No Gubernamentales Ambientalistas, que agrupa a unos cuarenta grupos defensores del medio ambiente.

La Intendencia de Montevideo detectó agrotóxicos mal almacenados o usados en forma irracional en la zona rural del departamento y son frecuentes los casos de intoxicaciones, especialmente entre niños, agregó Moresco en declaraciones a la radio *El Espectador*.

La directora nacional de Medio Ambiente, Alicia Torres, admitió problemas con el uso de agrotóxicos y dijo que se trabaja con el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca para capacitar a los productores en el uso responsable de esos agentes.

“El uso está regulado por el Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Lo que es deseable es que se apliquen los agroquímicos específicamente con las instrucciones que tienen”, afirmó.

Torres agregó que las autoridades han notado en determinadas circunstancias que los productores se exceden en el uso de los agrotóxicos.

*Fuente: Terra – Actualidad.*

3 [http://actualidad.terra.es/ciencia/articulo/ambientalistas\\_uruguayos\\_expresan\\_preocupacion\\_uso\\_1623925.htm](http://actualidad.terra.es/ciencia/articulo/ambientalistas_uruguayos_expresan_preocupacion_uso_1623925.htm)

El sector agropecuario causa degradación física de los suelos (erosión), pérdida de la biodiversidad (por el aumento de la frontera agrícola), pérdida de calidad genética de los cultivos (por mala rotación), y la contaminación de los suelos por uso de agroquímicos.

El impacto más importante de este sector está relacionado con la generación de residuos sólidos, compuestos por el estiércol del ganado y la materia orgánica que se genera en los procesos de cosecha.

La problemática ambiental de las PYME del sector agropecuario está representada por el uso inadecuado de recursos como el suelo y el agua, lo que da lugar a la erosión, compactación y salinización de suelos, además de la contaminación de aguas y suelos por uso excesivo de agroquímicos.

### 1.3.3 Sector minero

Los problemas ambientales del sector minero pueden clasificarse en impactos en la naturaleza y el paisaje, pérdida de la capa protectora de recubrimiento de aguas subterráneas, pérdida de flora y fauna, cambios en el relieve geográfico e incluso, en algunos casos, cambios en el clima; impactos en el uso de tierras, e impactos en la calidad de vida (de las poblaciones cercanas a las canteras, a causa del ruido, el polvo, el aumento del tráfico y la existencia de vibraciones por explosiones). En el recuadro 1.6 puede verse una ilustración de la problemática ambiental causada por este subsector.

#### Recuadro 1.6 Minería de cobre como amenaza para un Páramo en el Perú<sup>4</sup>

Violentos choques entre campesinos y policías en el norte del Perú ocurrieron por trabajos de exploración minera en la línea de frontera con el Ecuador, comprendiendo 6.400 hectáreas del Cerro Chinguelas, entre las provincias de Ayavaca y Huancabamba. El proyecto, al cual los campesinos mostraron su oposición, propone extraer, con una inversión de 800 millones de dólares, una riqueza potencial de 1.300 millones de toneladas de cobre existentes en ocho concesiones mineras ubicadas en El Carmen de la Frontera y Ayavaca.

Las concesiones mineras se encuentran en la región ecológica denominada Páramo, donde hay muchas lagunas, una gran variedad de plantas y animales en peligro de extinción, así como gran variedad de plantas medicinales útiles para la medicina científica y tradicional que, de acuerdo al Convenio Mundial sobre Diversidad Biológica, el Estado peruano tiene la obligación de proteger.

El biólogo Paúl Viñas, de la asociación ecologista Pro-Aves, señaló que la minería es una amenaza para los bosques montanos porque implica su erradicación y la salida forzosa de cientos de especies que allí viven. Además, como estos bosques retienen humedad, se pone en riesgo la formación de acuíferos con los que se alimentan los ríos que bajan hacia la zona de la costa.

En las cumbres altoandinas de Ayavaca y Huancabamba, donde pretende operar la empresa, nacen las aguas de los ríos Quiroz, que abastece hasta el valle de Chira en Piura, y Río Blanco, que da origen al río Canchis y Chinchipe en la Provincia de San Ignacio, afluentes del gran Marañón y del Amazonas.

*Fuente: Ambiente, 10 de agosto de 2005.*

4 [http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/mineria\\_sin\\_licencia.htm](http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/mineria_sin_licencia.htm)

Como se analizó antes, respecto a la relación entre los aspectos económicos, tecnológicos y ambientales, gran parte de dichos impactos se deben a sistemas de explotación poco tecnificados y con escasa capacidad económica para abordarlos adecuadamente. Por ejemplo, existen minerías de cielo abierto que utilizan el método de monitor hidráulico (agua a presión) para el desprendimiento del material, lo que ocasiona un uso innecesario del recurso hídrico y un aumento de la carga de sedimentación en ríos y cuerpos de agua. Se produce también contaminación de las aguas superficiales (turbiedad por partículas sólidas, elementos tóxicos disueltos), derivada de las operaciones necesarias para la creación de la explotación minera y en el beneficio de los materiales (p. ej., mercurio en el caso del oro).

Así mismo, no se consideran aspectos geotécnicos en las explotaciones, causando inestabilidad en los taludes y, por ende, vulnerabilidad a la erosión y movimientos de masa.

### 1.3.4 Sector de servicios

Aunque no existen estudios que engloben el sector de servicios, analizando sus características económicas y tecnológicas y su relación con los impactos ambientales, existen diferentes actividades económicas asociadas a este sector que claramente influyen en la problemática ambiental en las ciudades, principalmente.

Tal es el caso de los subsectores hospitalario, hotelero y estaciones de servicio, entre otros, cuya problemática afecta el medio en el que se desarrollan. Por ejemplo, en el caso del sector hospitalario, la generación de residuos patógenos y su deficiente selección, separación y disposición, puede generar problemas asociados a la salud de las personas que entren en contacto con ellos.

En el sector hotelero, el agua constituye uno de los principales insumos. Por tanto, la generación de residuos líquidos se convierte en uno de los mayores problemas, al igual que el uso de energía. Así mismo, existen muchas sustancias que se pueden considerar peligrosas tanto para la salud como para el medio ambiente, que aparecen en la composición de los productos que se utilizan con frecuencia en los diferentes puestos de trabajo característicos de este sector (disolventes orgánicos, líquidos inflamables, sustancias corrosivas).

En el subsector de estaciones de servicio, el incorrecto manejo y disposición de los aceites usados puede originar impactos relacionados con la disposición de metales pesados presentes en este producto en las aguas de alcantarillado.

## Recuadro 1.7

*Unas 15 toneladas mensuales de desechos hospitalarios son echadas al servicio regular en Cochabamba, Bolivia<sup>5</sup>*

Por lo menos cuatro de cada 10 servicios de salud echan sus desechos hospitalarios a los mismos carros recolectores de basura que los vecinos de los barrios y los comerciantes. El comportamiento de los establecimientos pone en riesgo el bienestar de la comunidad y aumenta el riesgo de contaminación, aseveró la asesora del Proyecto SwissContact.

La precariedad con la que algunas organizaciones de salud, hospitales, consultorios, universidades y veterinarias tratan su basura ocupó la agenda del Proyecto y de la Unidad de Salud Ambiental del Sedes con motivo del Día Mundial del Medio Ambiente.

EMSA prevé para estos casos un sistema especial de recolección de basura que, sin embargo, según cálculos, sólo recoge unas 30 de las 45 toneladas mensuales que genera la ciudad.

El proyecto estima que la ciudad genera cada mes unas 45 toneladas de residuos hospitalarios. Sin embargo, el sistema de recojo especial sólo capta unas 30 toneladas. En promedio, una tonelada por día. El resto de los desperdicios llega al botadero de K"ara K"ara a través del sistema de recojo común o domiciliario.

Las 15 toneladas de desechos restantes son manipuladas como la basura común y se mezclan con desechos, como alimentos, productos, verduras y papeles hasta que va al basural. El manejo improvisado de estos desechos genera una mayor propagación de virus y con ello la aparición de enfermedades.

El riesgo de contraer una enfermedad es mayor para los recolectores de basura, quienes al estar en contacto con la basura agarran jeringas, algodones, gasas, frascos, papeles e insumos desechados en los hospitales, un consultorio o una veterinaria.

El proyecto también comentó que los servicios que utilizan el sistema especial tienen que mejorar la forma de almacenamiento y disposición final de los residuos.

*Fuente: Los Tiempos.*

En resumen, la problemática ambiental ocasionada por los sectores agroindustrial, manufacturero y de servicios, está relacionada con los procesos involucrados en cada uno de ellos y su capacidad empresarial para el manejo de dicha problemática. La tabla 1.1 muestra un resumen de los principales problemas ambientales relacionados con los distintos sectores y las respectivas causas de los mismos.

5 [www.lostiempos.com](http://www.lostiempos.com). Cochabamba, Bolivia, 6 de junio de 2006.

Tabla 1.1

*Principales problemas ambientales relacionados con los distintos sectores*

| Sector                                               | Contaminación específica                                                                                                                                          | Causas                                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Alimentos                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efluentes líquidos</li> <li>• Generación de residuos (lodos y subproductos)</li> <li>• Emisiones atmosféricas</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prácticas de proceso inadecuadas</li> <li>• Disposición inadecuada de residuos</li> <li>• Trampas de grasas ineficientes</li> <li>• Falta de exigencias del mercado</li> <li>• Falta de mercado para subproductos</li> </ul> |
| Textil                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición de desechos tóxicos</li> <li>• Contaminación de agua (tintorerías)</li> <li>• Residuos sólidos</li> </ul>    | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prácticas de manufactura</li> <li>• Tipo de combustible</li> <li>• Tipo de insumos (detergentes y tintas)</li> </ul>                                                                                                         |
| Curtiembres                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminación del agua</li> <li>• Disposición de lodos</li> </ul>                                                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cultura empresarial</li> <li>• Tecnología rudimentaria</li> <li>• Ubicación de establecimientos</li> </ul>                                                                                                                   |
| Madera y muebles                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedencia de la materia prima</li> <li>• Ruido</li> <li>• Residuos (aserrín)</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de exigencias del mercado</li> <li>• Falta de mercado para subproductos</li> <li>• Prácticas inadecuadas de producción</li> </ul>                                                                                      |
| Artes gráficas                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos peligrosos</li> <li>• Salud de los operarios (solventes)</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala disposición de residuos tóxicos</li> <li>• Tecnología obsoleta</li> <li>• Prácticas de manufactura inadecuadas</li> <li>• Materia prima contaminante</li> </ul>                                                         |
| Sustancias químicas                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos tóxicos peligrosos</li> <li>• Emisiones atmosféricas</li> <li>• Contaminación del agua</li> </ul>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Disposición inadecuada de residuos tóxicos</li> <li>• Tecnologías artesanales</li> <li>• Prácticas de manufactura inadecuadas</li> <li>• Falta de infraestructura</li> <li>• Baja capacidad profesional</li> </ul>           |
| Fabricación de productos cerámicos y otros minerales | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones atmosféricas</li> <li>• Residuos sólidos</li> <li>• Erosión</li> </ul>                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologías artesanales</li> <li>• Falta de exigencias del mercado</li> <li>• Baja capacitación profesional</li> </ul>                                                                                                       |
| Industria metalúrgica                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Emisiones atmosféricas</li> <li>• Contaminación del agua</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja capacitación profesional</li> <li>• Tecnología artesanal</li> <li>• Disposición inadecuada de residuos</li> </ul>                                                                                                       |